



RELATÓRIO DO INVENTÁRIO NACIONAL DAS EMISSÕES ANTRÓPICAS POR FONTES E DAS REMOÇÕES POR SUMIDOUROS DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO BRASIL

PRIMEIRO RELATÓRIO
BIENAL DE TRANSPARÊNCIA
À CONVENÇÃO-QUADRO
DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE
MUDANÇA DO CLIMA



RELATÓRIO DO INVENTÁRIO NACIONAL DAS EMISSÕES ANTRÓPICAS POR FONTES E DAS REMOÇÕES POR SUMIDOUROS DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO BRASIL

**PRIMEIRO RELATÓRIO BIENAL DE TRANSPARÊNCIA À
CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA
DO CLIMA**



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

**RELATÓRIO DO INVENTÁRIO NACIONAL DAS
EMISSIONES ANTRÓPICAS POR FONTES E DAS
REMOÇÕES POR SUMIDOUROS DE GASES DE
EFEITO ESTUFA DO BRASIL**

**PRIMEIRO RELATÓRIO BIENAL DE TRANSPARÊNCIA
À CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS
SOBRE MUDANÇA DO CLIMA**

BRASIL

2024

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

PRESIDENTE DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Luiz Inácio Lula da Silva

MINISTRA DE ESTADO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Luciana Barbosa de Oliveira Santos

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Luis Manuel Rebelo Fernandes

SECRETÁRIA DE POLÍTICAS E PROGRAMAS ESTRATÉGICOS

Andrea Brito Latgé

DIRETOR DO DEPARTAMENTO PARA O CLIMA E SUSTENTABILIDADE

Osvaldo Luiz Leal de Moraes

COORDENADOR-GERAL DE CIÊNCIA DO CLIMA

Márcio Rojas Da Cruz

COLABORAÇÃO DOS REPRESENTANTES DO COMITÊ INTERMINISTERIAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (CIM):

Casa Civil da Presidência da República; Advocacia-Geral da União; Ministério da Agricultura e Pecuária; Ministério das Cidades; Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar; Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome; Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços; Ministério da Educação; Ministério da Fazenda; Ministério da Igualdade Racial; Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima; Ministério de Minas e Energia; Ministério das Mulheres; Ministério do Planejamento e Orçamento; Ministério dos Povos Indígenas; Ministério das Relações Exteriores; Ministério da Saúde; Ministério do Trabalho e Emprego; Ministério dos Transportes; e Secretaria-Geral da Presidência da República e Secretaria de Relações Institucionais da Presidência da República.

ELABORAÇÃO, REVISÃO TÉCNICA E EDIÇÃO GERAL DO RELATÓRIO

Equipe da Coordenação Geral de Ciência Do Clima do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

Márcio Rojas Da Cruz

Ricardo Vieira Araújo

Sávio Túlio Oselieri Raeder

Equipe do Projeto da Quinta Comunicação Nacional e Relatórios Bienais de Transparência do Brasil à Convenção do Clima

Danielly Godiva Santana Molleta

Eliana Furlaneto de Macedo

George Vasconcelos Goes

Iris Roitman

Jussara Peccini

Mariana Gutierrez Arteiro da Paz

Natalia Torres D'Alessandro

Nayana Machado

Régis Rathmann

Renata Patricia Soares Grisoli

Juan Vicente Guadalupe Gallardo

SUMÁRIO

1	SUMÁRIO EXECUTIVO	23
1.1	Contextualização	23
1.2	Tendências agregadas de emissões e remoções.....	24
1.3	Tendências das emissões por setor e gases.....	25
1.4	Outras informações relevantes	28
2	CIRCUNSTÂNCIAS NACIONAIS, ARRANJOS INSTITUCIONAIS E INFORMAÇÕES TRANSVERSAIS.....	29
2.1	Contextualização sobre inventários de gases de efeito estufa e mudança do clima 29	
2.2	Descrição das circunstâncias nacionais e arranjos institucionais.....	30
2.2.1	Arranjos institucionais para elaboração do Inventário	30
2.2.2	Processo de preparação do Inventário.....	32
2.2.3	Arquivamento de informações	34
2.2.4	Processo de aprovação do relatório.....	34
2.3	Breve descrição geral das metodologias e fontes de dados utilizadas	34
2.3.1	Metodologias, parâmetros e dados	34
2.3.2	Consistência e recálculos das séries temporais	39
2.4	Breve descrição das categorias-chave	44
2.5	Descrição do plano e da implementação de garantia da qualidade e controle de qualidade (QA/QC)	44
2.6	Avaliação geral da incerteza.....	52
2.7	Avaliação geral da completude	53
2.8	Informações sobre as métricas utilizadas.....	61
2.9	Informações sobre as disposições de flexibilidade	64
3	TENDÊNCIAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE.....	67
3.1	Tendências agregadas de emissões e remoções de GEE	67
3.1.1	Evolução da série histórica com LULUCF	69
3.1.2	Evolução da série histórica excluindo LULUCF	70
3.2	Tendências das emissões e remoções de GEE por gases e setores.....	71
3.2.1	Evolução da série histórica por gases e setores.....	71
3.2.2	Último ano inventariado por gases e setores.....	76
3.3	Tendências das emissões de gases de efeito estufa precursores.....	78
4	ENERGIA (CRT 1).....	82
4.1	Visão geral do setor.....	82
4.2	Aspectos metodológicos	83
4.3	Comparação entre Abordagem de Referência e Abordagem Setorial	89

4.4	Combustíveis Internacionais (<i>bunkers</i>).....	90
4.5	Matérias-primas e usos não energéticos de combustíveis	92
4.6	Atividades de Queima de Combustíveis (CRT 1.A)	93
4.6.1	Aspectos metodológicos	94
4.6.2	Indústrias de Energia.....	95
4.6.3	Indústrias de Transformação e Construção	96
4.6.4	Transporte	96
4.6.5	Outros setores e Não Especificado.....	104
4.6.6	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	105
4.6.7	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	107
4.6.8	Plano de melhoria.....	108
4.7	Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis (CRT 1.B).....	109
4.7.1	Aspectos metodológicos	111
4.7.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	115
4.7.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	115
4.7.4	Plano de melhoria.....	116
5	PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS (CRT 2).....	117
5.1	Visão geral do setor.....	117
5.2	Aspectos metodológicos	118
5.3	Indústria Mineral (CRT 2.A).....	125
5.3.1	Aspectos metodológicos	126
5.3.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	148
5.3.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	148
5.3.4	Plano de melhoria.....	149
5.4	Indústria Química (CRT 2.B).....	150
5.4.1	Aspectos metodológicos	151
5.4.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	164
5.4.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	164
5.4.4	Plano de melhoria.....	165
5.5	Indústria Metalúrgica (CRT 2.C)	166
5.5.1	Aspectos metodológicos	166
5.5.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	197
5.5.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	197
5.5.4	Plano de melhoria.....	198
5.6	Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (CRT 2.D).....	199
5.6.1	Aspectos metodológicos	199
5.6.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	202

5.6.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	203
5.6.4	Plano de melhoria.....	203
5.7	Indústria Eletrônica (CRT 2.E).....	204
5.7.1	Aspectos metodológicos	204
5.7.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	207
5.7.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	207
5.7.4	Plano de melhoria.....	207
5.8	Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (CRT 2.F).....	208
5.8.1	Aspectos metodológicos	209
5.8.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	219
5.8.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	219
5.8.4	Plano de melhoria.....	220
5.9	Fabricação e Uso de Outros Produtos (CRT 2.G)	221
5.9.1	Aspectos metodológicos	221
5.9.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	223
5.9.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	223
5.9.4	Plano de melhoria.....	224
5.10	Outros (CRT 2.H).....	225
5.10.1	Aspectos metodológicos	225
5.10.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	228
5.10.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	228
5.10.4	Plano de melhoria.....	229
6	AGROPECUÁRIA (CRT 3)	230
6.1	Visão geral do setor.....	230
6.2	Aspectos metodológicos	231
6.3	Fermentação Entérica (CRT 3.A).....	239
6.3.1	Aspectos metodológicos	240
6.3.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	249
6.3.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	249
6.3.4	Plano de melhoria.....	250
6.4	Manejo de Dejetos (CRT 3.B).....	251
6.4.1	Aspectos metodológicos	252
6.4.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	263
6.4.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	263
6.4.4	Plano de melhoria.....	264
6.5	Cultivo de Arroz (CRT 3.C)	264
6.5.1	Aspectos metodológicos	265

6.5.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	270
6.5.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	271
6.5.4	Plano de melhoria.....	271
6.6	Solos Manejados (CRT 3.D)	272
6.6.1	Aspectos metodológicos	273
6.6.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	280
6.6.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	280
6.6.4	Plano de melhoria.....	281
6.7	Queima de Resíduos Agrícolas (CRT 3.F)	282
6.7.1	Aspectos metodológicos	283
6.7.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	287
6.7.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	287
6.7.4	Plano de melhoria.....	288
6.8	Calagem (CRT 3.G)	288
6.8.1	Aspectos metodológicos	289
6.8.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	290
6.8.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	291
6.8.4	Plano de melhoria.....	291
6.9	Aplicação de Ureia (CRT 3.H).....	292
6.9.1	Aspectos metodológicos	292
6.9.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	293
6.9.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	293
6.9.4	Plano de melhoria.....	294
7	USO DA TERRA, MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS (CRT 4)	295
7.1	Visão geral do setor.....	295
7.2	Aspectos metodológicos gerais do setor	296
7.2.1	Representação do uso e cobertura da terra.....	306
7.2.2	Estimativas entre 1995 e 2016 baseadas no mapeamento de uso e cobertura da terra	313
7.2.3	Estimativas de emissões para o período 1990-1994.....	319
7.2.4	Anualização das estimativas de emissão e remoção	320
7.2.5	Estimativas de emissões para o período 2017-2022.....	324
7.2.6	Estimativas de gases não-CO ₂	326
7.3	Floresta (CRT 4.A).....	329
7.3.1	Aspectos Metodológicos	330
7.4	Agricultura (CRT 4.B)	334
7.4.1	Aspectos metodológicos	335
7.5	Campo e Pastagem (CRT 4.C)	337

7.5.1	Aspectos metodológicos	340
7.6	Áreas Úmidas (CRT 4.D).....	340
7.6.1	Aspectos metodológicos	341
7.7	Assentamentos (CRT 4.E).....	342
7.7.1	Aspectos Metodológicos	342
7.8	Outras Terras (CRT 4.F).....	342
7.8.1	Aspectos metodológicos	344
7.9	Produtos Florestais Madeireiros (CRT 4.G).....	344
7.9.1	Aspectos Metodológicos	345
7.10	Garantia de qualidade e controle de qualidade.....	349
7.11	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	350
7.12	Plano de melhoria.....	354
8	RESÍDUOS (CRT 5).....	356
8.1	Visão geral do setor.....	356
8.2	Aspectos metodológicos	357
8.3	Disposição de Resíduos Sólidos (CRT 5.A).....	362
8.3.1	Aspectos metodológicos	363
8.3.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	375
8.3.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	376
8.3.4	Plano de melhoria.....	377
8.4	Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (CRT 5.B).....	378
8.4.1	Aspectos metodológicos	378
8.4.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	380
8.4.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	380
8.4.4	Plano de melhoria.....	381
8.5	Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (CRT 5.C).....	381
8.5.1	Aspectos metodológicos	382
8.5.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	385
8.5.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	385
8.5.4	Plano de melhoria.....	386
8.6	Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (CRT 5.D).....	387
8.6.1	Aspectos metodológicos	387
8.6.2	Garantia da qualidade e controle de qualidade.....	396
8.6.3	Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal.....	396
8.6.4	Plano de melhoria.....	397
	REFERÊNCIAS	398
	APÊNDICE I. ANÁLISE DE CATEGORIA-CHAVE	426

APÊNDICE II. AVALIAÇÃO DE INCERTEZA	435
APÊNDICE III. DESCRIÇÃO DA ABORDAGEM DE REFERÊNCIA E SUA COMPARAÇÃO COM A ABORDAGEM SETORIAL	444
APÊNDICE IV. DESCRIÇÕES ADICIONAIS PARA O SETOR ENERGIA	446
APÊNDICE V. DESCRIÇÕES ADICIONAIS PARA O SETOR PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS	454
APÊNDICE VI. DESCRIÇÕES ADICIONAIS PARA O SETOR AGROPECUÁRIA....	468
APÊNDICE VII. DESCRIÇÕES ADICIONAIS PARA O SETOR USO DA TERRA, MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS	481
APÊNDICE VIII. DESCRIÇÕES ADICIONAIS PARA O SETOR RESÍDUOS.....	618
APÊNDICE IX. SÉRIE HISTÓRICA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA	623
APÊNDICE X. SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS	624

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Arranjo institucional para elaboração do Inventário de GEE apresentado na Quarta Comunicação Nacional.	32
Figura 2.2. Ciclo para elaboração do Inventário de GEE do Brasil.	33
Figura 2.3. Comparação das emissões estimadas totais, em kt CO ₂ eq e percentualmente, entre os inventários.	39
Figura 2.4. Comparação das emissões estimadas totais do Setor Energia (CRT 1), em kt CO ₂ eq e percentualmente, entre os inventários.	40
Figura 2.5. Comparação das emissões estimadas totais do Setor Processos Industriais e Uso de Produtos (CRT 2), em kt CO ₂ eq e percentualmente, entre os inventários.	41
Figura 2.6. Comparação das emissões estimadas totais do Setor Agropecuária (CRT 3), em kt CO ₂ eq e percentualmente, entre os inventários.	42
Figura 2.7. Comparação das emissões estimadas totais do Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (CRT 4), em kt CO ₂ eq e percentualmente, entre os inventários.	43
Figura 2.8. Comparação das emissões estimadas totais do Setor Resíduos (CRT 5), em kt CO ₂ eq e percentualmente, entre os inventários.	44
Figura 2.9. Evolução das emissões em kt CO ₂ eq pelas métricas GWP-AR5, GWP-SAR e GTP-AR5, de 1990 a 2022.	63
Figura 2.10. Participação dos setores nas emissões das métricas GWP-AR5, GWP-SAR e GTP-AR5, em 2022.	64
Figura 3.1. Emissões líquidas totais anuais, Brasil, em kt CO ₂ eq.	68
Figura 3.2. Emissões líquidas por setor com LULUCF, em kt CO ₂ eq.	70
Figura 3.3. Emissões líquidas por setor, excluindo LULUCF, em kt CO ₂ eq.	71
Figura 3.4. Emissões e remoções de CO ₂ por setor, em kt.	72
Figura 3.5. Emissões líquidas de CO ₂ por setor, em kt.	72
Figura 3.6. Emissões de CH ₄ por setor, em kt.	74
Figura 3.7. Emissões de N ₂ O por setor, em kt.	75
Figura 3.8. Emissões de HFCs, PFCs e SF ₆ por setor, em kt CO ₂ eq.	76
Figura 3.9. Emissões líquidas brasileiras por GEE, em kt CO ₂ eq.	77
Figura 3.10. Participação de cada GEE inventariado nas emissões totais brasileiras.	77
Figura 3.11. Emissões de CO por setor.	79
Figura 3.12. Emissões de NO _x por setor.	80
Figura 3.13. Emissões de NMVOC por setor.	81
Figura 4.1. Emissões totais do Setor Energia, em kt CO ₂ eq, por subsetor, de 1990 a 2022.	82
Figura 4.2. Estimativas das emissões entre as abordagens Referência e Setorial, em kt CO ₂ , de 1990 a 2022.	90
Figura 4.3. Emissões de combustíveis internacionais (<i>bunkers</i>), em kt CO ₂ eq, de 1990 a 2022.	91
Figura 4.4. Emissões da aviação doméstica e internacional, em kt CO ₂ eq, de 1990 a 2022.	91
Figura 4.5. Emissões da navegação doméstica e internacional, em kt CO ₂ eq, de 1990 a 2022.	92
Figura 4.6. Emissões de Atividades de Queima de Combustíveis, em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.	93
Figura 4.7. Emissões da Indústria de Energia, em kt CO ₂ eq por subcategorias, de 1990 a 2022.	95
Figura 4.8. Emissões de Indústrias de Transformação e Construção, em kt CO ₂ eq por subcategorias, de 1990 a 2022.	96
Figura 4.9. Emissões de Transporte, em kt CO ₂ eq por subcategorias, de 1990 a 2022.	97
Figura 4.10. Emissões do Transporte Rodoviário, em kt CO ₂ eq por subcategorias de veículos, de 1990 a 2022.	98
Figura 4.11. Emissões de Outros Setores, em kt CO ₂ eq por subcategorias, de 1990 a 2022.	105

Figura 4.12. Emissões da categoria Não especificado, em kt CO ₂ eq, de 1990 a 2022.....	105
Figura 4.13. Intensidade energética por modo para o transporte de passageiros.	106
Figura 4.14. Intensidade energética por modo para o transporte de carga.	106
Figura 4.15. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Atividades de Queima de Combustíveis (1.A) entre os inventários.	108
Figura 4.16. Emissões do Subsetor Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis, em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.....	110
Figura 4.17. Emissões de Petróleo, Gás Natural e Outras Emissões de Produção de Energia, em kt CO ₂ eq, de 1990 a 2022.	111
Figura 4.18. Emissões de Petróleo, Gás Natural e Outras Emissões de Produção de Energia, em kt CO ₂ eq por subcategoria, de 1990 a 2022.	111
Figura 4.19. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Emissões Fugitivas (1.B) entre os inventários.	116
Figura 5.1. Emissões do Setor Processos Industriais e Uso de Produtos, em kt CO ₂ eq, por subsetor, de 1990 a 2022.	118
Figura 5.2. Emissões da Indústria Mineral (2.A), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.	126
Figura 5.3. Produções de cimento e de clínquer, e conteúdo de clínquer no cimento.....	131
Figura 5.4. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Indústria Mineral (2.A) entre os inventários.	149
Figura 5.5. Emissões da Indústria Química (2.B), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.	150
Figura 5.6. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Indústria Química (2.B) entre os inventários.	165
Figura 5.7. Emissões da Indústria Metalúrgica (2.C), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.....	166
Figura 5.8. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Indústria Metalúrgica (2.C) entre os Inventários.	198
Figura 5.9. Emissões de Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.	199
Figura 5.10. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D) entre os inventários.....	203
Figura 5.11. Emissões da Indústria Eletrônica (2.E), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.....	204
Figura 5.12. Emissões de Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F), em kt CO ₂ eq, por categoria, de 1990 a 2022.	208
Figura 5.13. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F) entre os inventários...	220
Figura 5.14. Emissões de SF ₆ na Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G), em kt CO ₂ eq, de 1990 a 2022.	221
Figura 5.15. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Fabricação de Outros Produtos (2.G) entre os inventários.	224
Figura 6.1. Emissões do Setor Agropecuária, em kt CO ₂ eq, por subsetor e gases, de 1990 a 2022.....	231
Figura 6.2. Emissões da Fermentação Entérica (3.A), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.....	240
Figura 6.3. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Fermentação Entérica (3.A) entre os inventários.	250
Figura 6.4. Emissões do Manejo de Dejetos (3.B), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.	251

Figura 6.5. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Manejo de Dejetos (3.B) entre os inventários.....	263
Figura 6.6. Emissões do Cultivo de Arroz (3.C), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.....	265
Figura 6.7. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Cultivo de Arroz (3.C) entre os inventários.....	271
Figura 6.8. Emissões do Solos Manejados (3.D), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.....	273
Figura 6.9. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Solos Manejados (3.D) entre os inventários.....	281
Figura 6.10. Emissões da Queima de Resíduos Agrícolas (3.F), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.....	283
Figura 6.11. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F) entre os inventários.....	288
Figura 6.12. Emissões da Calagem (3.G), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.....	289
Figura 6.13. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Calagem (3.G) entre os inventários.....	291
Figura 6.14. Emissões da Aplicação de Ureia (3.H), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.....	292
Figura 6.15. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Aplicação de Ureia (3.H) entre os inventários.....	294
Figura 7.1. Emissões do Setor LULUCF, em kt CO ₂ eq, por subsetor, de 1990 a 2022.....	296
Figura 7.2. Fluxograma da metodologia utilizada para elaboração do inventário do Setor LULUCF.....	298
Figura 7.3. Distribuição dos biomas brasileiros no território nacional.....	307
Figura 7.4. Mapa de vegetação natural pretérita do Brasil. As siglas estão descritas no Quadro 7.3 a seguir.....	308
Figura 7.5. Mapas de uso e cobertura da terra do Brasil para os anos de 1994, 2002, 2010 e 2016.....	314
Figura 7.6. Estoque de carbono nos solos do Brasil, adaptado de Bernoux et al. (2002).	317
Figura 7.7. Remoções líquidas das categorias do Subsetor Floresta (4.A), em kt CO ₂ eq, de 1990 a 2022.....	330
Figura 7.8. Emissões e remoções líquidas das subcategorias da Categoria Área convertida para Agricultura (4.B.2) do Subsetor Agricultura (4.B), em kt CO ₂ eq, de 1990 a 2022.....	335
Figura 7.9. Emissões e remoções líquidas de Categorias e Subcategorias do Subsetor Campo e Pastagem (4.C), em CO ₂ eq, de 1990 a 2022.....	340
Figura 7.10. Emissões líquidas de subcategorias da Categoria Área convertida para Áreas Úmidas (4.D.2) do Subsetor Áreas Úmidas (4.D) em CO ₂ eq, de 1990 a 2022.....	341
Figura 7.11. Emissões líquidas das subcategorias da Categoria Área convertida para Assentamento (4.E.2) do Subsetor Assentamento (4.E), em CO ₂ eq, de 1990 a 2022.....	342
Figura 7.12. Emissões líquidas das subcategorias da Categoria Área convertida para Outras Terras (4.F.2) do Subsetor Outras Terras (4.F), em kt CO ₂ eq, de 1990 a 2022.....	344
Figura 7.13. Emissões brutas, remoções e remoções líquidas de CO ₂ do Subsetor Produtos Florestais Madeireiros (4.G), de 1990 a 2022.....	345
Figura 7.14. Fronteira do Sistema da Abordagem de Fluxo Atmosférico.....	346
Figura 7.15. Comparação das emissões brutas de CO ₂ estimada dos Subsetores Floresta (4.A). Agricultura (4.B) Campo e Pastagem (4.C), Áreas Úmidas (4.D), Assentamento (4.E.) e Outras Terras (4.F) no Cerrado entre os inventários.....	351
Figura 7.16. Comparação das emissões brutas de CO ₂ estimada dos Subsetores Floresta (4.A). Agricultura (4.B) Campo e Pastagem (4.C), Áreas Úmidas (4.D), Assentamentos (4.E.) e Outras Terras (4.F) no Pantanal entre os inventários.....	351

Figura 7.17. Comparação das remoções líquidas de CO ₂ estimadas do Setor Produtos Florestais Madeireiros (4.G) entre os inventários.....	352
Figura 7.18. Comparação das emissões de CH ₄ estimadas dos Subsetores Floresta (4.A). Agricultura (4.B) Campo e Pastagem (4.C), Áreas Úmidas (4.D), Assentamentos (4.E.) e Outras Terras (4.F) entre os inventários.....	353
Figura 7.19. Comparação das emissões de N ₂ O estimadas dos Subsetores Floresta (4.A). Agricultura (4.B) Campo e Pastagem (4.C), Áreas Úmidas (4.D), Assentamento (4.E.) e Outras Terras (4.F) entre os inventários.....	353
Figura 7.20. Comparação das emissões líquidas de CO ₂ eq estimadas dos Subsetores Floresta (4.A). Agricultura (4.B) Campo e Pastagem (4.C), Áreas Úmidas (4.D), Assentamento (4.E.) e Outras Terras (4.F) entre os inventários.	354
Figura 8.1. Emissões do Setor Resíduos, em kt CO ₂ eq, por subsetor, de 1990 a 2022.....	356
Figura 8.2. Emissões da Disposição de Resíduos Sólidos (5.A), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.....	363
Figura 8.3. Comparação dos dados populacionais apresentados em inventários anteriores e no NIR 2024 após ajuste metodológico.	365
Figura 8.4. Emissões totais do Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A), considerando as emissões evitadas por metano recuperado em projetos MDL.	372
Figura 8.5. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A) entre os inventários.....	377
Figura 8.6. Emissões do Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.....	378
Figura 8.7. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B) entre os inventários.....	380
Figura 8.8. Emissões da Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.....	382
Figura 8.9. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C) entre os inventários.....	386
Figura 8.10. Emissões do Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D), em kt CO ₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.....	387
Figura 8.11. Grau de utilização do sistema de tratamento ou caminho de descarga para cada grupo (Tij) no Brasil, entre 1990 e 2022.	390
Figura 8.12. Material orgânico degradável (TOW) presente em águas residuárias industriais no Brasil, anualmente, entre 1990 e 2022.	393
Figura 8.13. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D) entre os inventários.	397

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Emissões líquidas por Setor com LULUCF, em kt CO ₂ eq, anos selecionados.....	26
Tabela 2.1. Fatores ou coeficientes por gás para GWP (100 anos) e GTP (100 anos).	61
Tabela 2.2. Resultados do NIR 2024, em kt CO ₂ eq, por setor e segundo as métricas GWP (AR5 e SAR) e GTP (AR5).....	62
Tabela 3.1. Emissões líquidas do Brasil por setor com LULUCF, em kt CO ₂ eq, anos selecionados.....	67
Tabela 3.2. Resultados das emissões líquidas de CO ₂ , por setor.....	73
Tabela 3.3. Resultados das emissões de CH ₄ , por setor.....	74
Tabela 3.4. Resultados das emissões de N ₂ O, por setor.	75
Tabela 3.5. Resultados das emissões de gases de efeito estufa em 2022, por setor, em kt CO ₂ eq....	78
Tabela 3.6. Resultados das emissões de CO, por setor.....	79
Tabela 3.7. Resultados das emissões de NO _x , por setor.	80
Tabela 3.8. Resultados das emissões de NMVOC, por setor.....	81
Tabela 4.1. Densidade energética em tep/m ³ por combustível consumido no transporte rodoviário.....	101
Tabela 4.2. Fator de emissão em toneladas de carbono por terajoule para o transporte rodoviário.....	102
Tabela 4.3. Fatores de emissão por tipo de mina e atividade na Subcategoria Mineração e manejo de carvão (I.B.1.a).....	113
Tabela 5.1. Produção nacional de cimento e clínquer e conteúdo de clínquer no cimento.....	130
Tabela 5.2. Massas moleculares das substâncias relacionadas ao processo de descarbonatação.	131
Tabela 5.3. Classificação da cal.....	132
Tabela 5.4. Relação entre o percentual total de CaO na cal e sua composição.	132
Tabela 5.5. Fatores de emissão segundo classificação das cales.....	132
Tabela 5.6. Produção de cal no Brasil.....	133
Tabela 5.7. Tipos de cales produzidas, sem água.....	134
Tabela 5.8. Variação percentual por tipologia em relação ao ano anterior.	136
Tabela 5.9. Variação percentual por tipologia em relação ao ano anterior.	137
Tabela 5.10. Produção e reciclagem da indústria do vidro, de 1990 a 2022.	137
Tabela 5.11. Uso de calcário, barrilha e dolomita na indústria do vidro, de 1990 a 2022.	138
Tabela 5.12. Pesos atômicos de cal e carbonatos.....	140
Tabela 5.13. Produção total de cerâmica por NCM, em toneladas, de 2005 a 2013.....	142
Tabela 5.14. Produção total de cerâmica por NCM, em toneladas, de 2014 a 2022.	143
Tabela 5.15. Produção total de cerâmica por tipo, em mil toneladas, de 1990 a 2022.....	144
Tabela 5.16. Fatores de emissão para carbonatos.....	145
Tabela 5.17. Produção, exportação, importação e consumo de barrilha, 1990 a 2022.....	146
Tabela 5.18. Produção, exportação, importação e consumo de magnesita beneficiada, 1990 a 2022.....	147
Tabela 5.19. Produção de amônia e ureia, 1990 a 2022.	152
Tabela 5.20. Produção de ácido nítrico, 1990 a 2022.....	154
Tabela 5.21. Produção de ácido adípico, 1990 a 2022.	155
Tabela 5.22. Produção de caprolactama, 1990 a 2022.....	156
Tabela 5.23. Produção de HCFC-22.....	161
Tabela 5.24. Fatores de emissão de NMVOC para outros produtos químicos.	162
Tabela 5.25. Dados de produção de outros produtos químicos.	162
Tabela 5.26. Conteúdo de carbono dos materiais.	168
Tabela 5.27. Densidade e poder calorífico dos gases da siderurgia.	169

Tabela 5.28. Entradas de carbono consideradas, relativamente às entradas de matéria-prima, de 2007 a 2022.	171
Tabela 5.29. Entradas de carbono consideradas, relativamente às entradas de matéria-prima, de 1990 a 2006.	173
Tabela 5.30. Entradas de carbono, de 1990 a 2006, com complementação das entradas faltantes.	174
Tabela 5.31. Saídas de carbono consideradas, de 2007 a 2022.	177
Tabela 5.32. Saídas de carbono consideradas, de 1990 a 2006, com complementação das saídas faltantes.	177
Tabela 5.33. Fatores de emissão para gases não-CO ₂ para a categoria da produção de ferro e aço.	179
Tabela 5.34. Densidades energéticas dos gases siderúrgicos.....	179
Tabela 5.35. Produção de aço bruto, consumo de gás de aciaria e de alto-forno e produção de sínter que usa antracito, 1990-2022.....	179
Tabela 5.36. Fatores de emissão para a produção de gusa usando carvão vegetal.	181
Tabela 5.37. Fatores de emissão de CO ₂ para os redutores usados na produção de ferroligas.	182
Tabela 5.38. Produção de ferroligas, 1990 a 2022.....	182
Tabela 5.39. Valores-padrão para parâmetros da tecnologia Prebaked Anode (Tier 2).	185
Tabela 5.40. Valores-padrão para parâmetros da tecnologia Soderberg (Tier 2).	186
Tabela 5.41. Fatores de emissão padrão para CF ₄ e C ₂ F ₆ na produção de alumínio primário..	186
Tabela 5.42. Coeficientes de inclinação para cálculo das emissões para CF ₄ e C ₂ F ₆	188
Tabela 5.43. Fatores de emissão para CO e NO _x na produção de alumínio primário.....	188
Tabela 5.44. Abordagens aplicadas nas estimativas de emissões de CO ₂ e PFCs por planta para o período 1990-2007.	189
Tabela 5.45. Produção nacional de alumínio primário, por tipo de tecnologia, 1990-2022.	191
Tabela 5.46. Produção de magnésio, 1990 a 2022.....	193
Tabela 5.47. Fatores de emissão de CO ₂ para os redutores usados na produção de não ferrosos.	195
Tabela 5.48. Energéticos usados como redutores para a produção de metais não ferrosos.	195
Tabela 5.49. Consumo de lubrificantes, fora uso da química, 1990 a 2022.	200
Tabela 5.50. Consumo de alcatrão, fora uso da química, 1990 a 2022.	201
Tabela 5.51. Densidade dos combustíveis para cálculo das emissões NMVOC.	202
Tabela 5.52. Dados de atividade de HFC-23 utilizados no cálculo de emissões.....	206
Tabela 5.53. Fatores de emissão aplicados às Equações 5.19 e 5.20.....	206
Tabela 5.54. Percentuais considerados de HFCs na produção de equipamentos, na fase de substituição dos CFCs, 1990 a 2022.	209
Tabela 5.55. Proporção de HFC-134a ou HC-600a na fabricação de refrigeradores domésticos.	210
Tabela 5.56. Proporção de ar-condicionado Split produzida com R-410A.	211
Tabela 5.57. Entrada por tipos de veículos no mercado nacional, 2008 a 2016.	212
Tabela 5.58. Porcentagens obtidas para a quantidade de caminhões produzidos com sistema de ar-condicionado.....	212
Tabela 5.59. Percentuais utilizados para a quantidade de caminhões produzidos com sistema de ar-condicionado.....	213
Tabela 5.60. Fatores de emissão para fabricação e manuseio (uso) para Refrigeração e Ar-Condicionado (2.F.1).....	214
Tabela 5.61. Porcentagem de HFC-365mfc/227ea no Brasil em 2017 e 2018.....	215
Tabela 5.62. Quantidades de HFC-365mfc/227ea no NCM, 2007 a 2022.....	215
Tabela 5.63. Porcentagem de HFC-227ea no Brasil em 2017 e 2018.	216
Tabela 5.64. Quantidades de HFC-227ea no produto, 2007 a 2022.....	216
Tabela 5.65. Importação, fração e total, de HFC-134a usada em MDIs.....	217

Tabela 5.66. Capacidade instalada de SF ₆ , 1990 a 2022.	222
Tabela 5.67. Produção de pastas de celulose, 1990 a 2022.	225
Tabela 5.68. Fatores de emissão para NMVOC para o processamento industrial de alimentos e bebidas.....	226
Tabela 5.69. Produção nacional de alimentos e bebidas emissoras de NMVOC, 1990 a 2022.	227
Tabela 6.1. Estatística descritiva do banco de dados contendo estudos nacionais com vacas em lactação de diferentes grupos genéticos.	247
Tabela 6.2. Fração de suínos reprodutores, por UF e período.	254
Tabela 6.3. Fração de suínos reprodutores que vivem em regime de criação industrial.	255
Tabela 6.4. Taxa anual de excreção de N (N _{ex}) e massa corporal de um animal (TAM) típico das categorias de espécies do rebanho nacional.	259
Tabela 6.5. Fator de perda de N por volatilização de amônia para cada manejo dos dejetos (FracGasMS), aplicado sobre as quantidades de N manejadas de cada categoria de animais do rebanho nacional.	261
Tabela 6.6. Fator de emissão direta de N ₂ O para estimativa das emissões de sistemas de manejo de dejetos.....	262
Tabela 6.7. Resumo dos dados de atividade utilizados no cálculo de emissões de CH ₄ do cultivo de arroz no Brasil.	268
Tabela 6.8. Evolução da área colhida de arroz nos sistemas de cultivo, no período de 2013 a 2022, no Brasil.	269
Tabela 6.9. Fatores de perda de N (FracLossMS) que incluem as perdas de N desde o local ocupado pelos animais até o local de manejo dos dejetos.....	276
Tabela 6.10. Parâmetros utilizados para estimar a quantidade de N na vinhaça e na torta de filtro.	277
Tabela 6.11. Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar no Brasil.	284
Tabela 6.12. Relação média palhito/colmo das UFs segundo o censo varietal do IAC e da Ridesa.	285
Tabela 6.13. Percentual de colheita manual e estimativa da área queimada em cultivos de cana-de-açúcar.	286
Tabela 6.14. Quantidades de calcário consumidas no país de 1990 a 2022.	290
Tabela 6.15. Quantidades de ureia consumidas no país de 1990 a 2022.	293
Tabela 7.1. Área das Unidades de Conservação e Terras Indígenas criadas até 1994 e nos períodos subsequentes (2002, 2010 e 2016).....	312
Tabela 7.2. Valores de desmatamento anual (DA) por bioma e índices de anualização (IA) utilizados para estimar a emissões anuais brutas de CO ₂ entre 1990 e 2016.	322
Tabela 7.3. Valores de desmatamento anual (DA) por bioma e índices de anualização (IA _e) utilizados para estimar a emissões anuais brutas de CO ₂ entre 2017 e 2022.	325
Tabela 7.4. Fatores de combustão e referências, por bioma e categoria da vegetação.	327
Tabela 7.5. Fatores de emissão dos gases não-CO ₂ por categoria.	329
Tabela 7.6. Área de reflorestamento com eucalipto e pinus no Brasil utilizada como base para os anos de 1994, 2002, 2005 e 2010.	331
Tabela 7.7. Área de reflorestamento para todas as Unidades Federativas (UF) em 2016.	331
Tabela 7.8. Área total de reflorestamento com outras culturas em 2016 no Brasil.	332
Tabela 7.9. Parâmetros utilizados para calcular o incremento anual médio em carbono das áreas de reflorestamento de eucalipto e pinus.	333
Tabela 7.10. Valores de incremento anual médio de carbono (ΔC _{GRef}) e estoque médio de carbono (C _{Ref}) de reflorestamentos de eucalipto, pinus e acácia-negra para os anos de 1994, 2002, 2005, 2010 e 2016.	334
Tabela 7.11. Estoque (C _{Ac}) e ganho (ΔC _{GAc}) proporcional de carbono de agricultura para os estados do bioma Amazônia.....	336

Tabela 7.12. Estoque (CAc) e ganho (ΔCGAc) proporcional de carbono de agricultura para as UFs dos biomas Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal e Pampa.	336
Tabela 8.1. Comparação dos dados populacionais apresentados em inventários anteriores e no NIR 2024 após ajuste metodológico.	365
Tabela 8.2. Dados de destinação de MSW das principais pesquisas brasileiras sobre saneamento.	366
Tabela 8.3. Dados populacionais do atendimento aos serviços de coleta e disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários no Brasil.	367
Tabela 8.4. População total ($\text{Pop}_{\text{total}}$), população atendida com coleta (Pop_{CW}), massa coletada e destinada (CW) e massa <i>per capita</i> ($\text{CW}_{\text{per capita}}$) de resíduos de serviços de saúde (CW) nas UF, nos anos 2000 e 2008.	368
Tabela 8.5. Quantidades anuais de resíduo da saúde coletado e incinerado no Brasil (1990-2022).	369
Tabela 8.6. Metano recuperado em projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) em aterros sanitários (2003-2022 ^a).	370
Tabela 8.7. Composição gravimétrica do MSW nas UFs brasileiras, para o período entre 1970 e 2016 - Média (mín-máx).	374
Tabela 8.8. Valores-padrão recomendados para a taxa de geração de metano (k).	375
Tabela 8.9. Carga orgânica de lodo (S) produzida em diferentes tecnologias de tratamento de águas residuárias.	391
Tabela 8.10. Produção industrial (P_i) anual no Brasil, entre 1990 e 2022.	391
Tabela 8.11. Carga orgânica (kg DBO/tonelada de produto) da água residuária dos setores industriais avaliados.	393
Tabela 8.12. Sistemas de tratamento de águas residuárias domésticas (DWW) e MCF associado.	394
Tabela 8.13. Fator de correção de metano (MCF) e fração de água residuária tratada por tipo de tecnologia empregada.	395

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1. Resumo dos níveis metodológicos e fatores de emissão (FE) aplicados no Inventário do Brasil.	36
Quadro 2.2. <i>Checklist</i> de QC/QA do inventário brasileiro de emissões de GEE.	47
Quadro 2.3. Emissões e remoções de GEE não estimadas (NE) no NIR 2024.	54
Quadro 2.4. Emissões e remoções de GEE com valores atribuídos em outras categorias (IE) no NIR 2024.	57
Quadro 2.5. Disposição de flexibilidade utilizada pelo Brasil para elaboração do Inventário Nacional.	65
Quadro 4.1. Níveis metodológicos aplicados por gás e referências do Setor Energia.	86
Quadro 4.2. Categorias com valores atribuídos em outras categorias (IE) no Setor Energia. ...	89
Quadro 4.3. Subcategorias não estimadas (NE) para o Setor Energia.	89
Quadro 4.4. Equações para estimar as emissões dos gases inventariados para categorias presentes no Subsetor Queima de Combustíveis.	94
Quadro 4.5. Categorias de veículos com emissões modeladas no NIR 2024.	98
Quadro 4.6. Equações para estimar as emissões dos gases inventariados do Transporte Rodoviário.	99
Quadro 4.7. Equações para estimar a frota circulante.	100
Quadro 4.8. Equação de conversão do fator de emissão de CO_2	101

Quadro 4.9. Equações para cálculo e ajuste do consumo energético.....	102
Quadro 4.10. Equações para estimar as emissões dos gases inventariados da Aviação Doméstica.....	104
Quadro 4.11. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Atividades de Queima de Combustíveis (1.A).	108
Quadro 4.12. Equações para cálculo a partir das atividades de mineração e pós-mineração. .	112
Quadro 4.13. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis (1.B).....	116
Quadro 5.1. Níveis metodológicos aplicados por gás e referências do Setor IPPU.....	120
Quadro 5.2. Categorias com valores atribuídos em outras categorias (IE) no Setor IPPU.	125
Quadro 5.3. Categorias não estimadas (NE) no Inventário para o Setor IPPU.....	125
Quadro 5.4. Equação para calcular as emissões da produção de cimento (metodologia Tier 3).	127
Quadro 5.5. Equações para estimar os fatores de emissão do clínquer, CaO e MgO pela metodologia CSI.	128
Quadro 5.6. Equação para estimar o fator de emissão do carbono orgânico no clínquer.....	129
Quadro 5.7. Fatores de emissão da cal virgem e cal dolomítica.	132
Quadro 5.8. Fatores de emissão do calcário, dolomita e barrilha.	135
Quadro 5.9. Equação para estimar emissões de CO ₂ do carbonato de cálcio.....	139
Quadro 5.10. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do subsetor Indústria Mineral (2.A).	149
Quadro 5.11. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do subsetor Indústria Química (2.B).	165
Quadro 5.12. Equação para estimar emissões de CO ₂ das usinas integradas e semi-integradas de ferro-gusa e aço.	167
Quadro 5.13. Equação para medir emissões de CO ₂ pela produção de ferroligas.	181
Quadro 5.14. Equação para estimar emissões de CO ₂ na produção de alumínio (Tier 1).....	183
Quadro 5.15. Equação para estimar emissões de CO ₂ a partir do consumo de anodo pré-cozido.	184
Quadro 5.16. Equação para estimar emissões de CO ₂ a partir da combustão de voláteis no piche.	184
Quadro 5.17. Equação para estimar emissões de CO ₂ a partir da combustão do material de empacotamento no forno de cozimento.....	185
Quadro 5.18. Equação para estimar emissões de CO ₂ do consumo de pasta.	185
Quadro 5.19. Equação para estimar emissões de CF ₄ pela produção de alumínio.....	187
Quadro 5.20. Equação para estimar emissões de C ₂ F ₆ a partir da produção de alumínio.....	187
Quadro 5.21. Equação para estimar emissões de CF ₄ a partir da produção de alumínio.	187
Quadro 5.22. Equação para estimar emissões de C ₂ F ₆ a partir da produção de alumínio.....	188
Quadro 5.23. Equação para estimar emissões de CO ₂ pela produção de não ferrosos.	195
Quadro 5.24. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Indústria Metalúrgica (2.C).	198
Quadro 5.25. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D).....	203
Quadro 5.26. Equação para estimar emissões de CF (Tier 2a).	205
Quadro 5.27. Equação para estimar emissões do coproduto de CF ₄	205
Quadro 5.28. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Indústria Eletrônica (2.E).	207
Quadro 5.29. Equação para estimar emissões do coproduto de CF ₄	209
Quadro 5.30. Equação para estimar emissões do coproduto de CF ₄	215
Quadro 5.31. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F).	220

Quadro 5.32. Equação para estimar emissões do coproduto de CF_4	221
Quadro 5.33. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G).....	224
Quadro 5.34. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Outros (2.H).	229
Quadro 6.1. Níveis metodológicos aplicados por gás e referências do Setor Agropecuária. ...	233
Quadro 6.2. Categoria com valores atribuídos em outra categoria (IE) no Setor Agropecuária.	239
Quadro 6.3. Subsetor não estimado (NE) no Inventário para o Setor Agropecuária.	239
Quadro 6.4. Equações para estimar as emissões do Subsetor Fermentação Entérica (3.A).	240
Quadro 6.5. Metodologia aplicada para obtenção do peso médio de cada categoria animal de bovinos de corte.	243
Quadro 6.6. Resumo dos parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissões para todas as categorias de bovino de corte.	245
Quadro 6.7. Parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissões de bovinos leiteiros.....	248
Quadro 6.8. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Fermentação Entérica (3.A).	250
Quadro 6.9. Equações para estimar as emissões do Subsetor Manejo de Dejetos (3.B).....	252
Quadro 6.10. Resumo dos parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissões para as categorias de bovino de corte no Subsetor Manejo de Dejetos.	256
Quadro 6.11. Resumo dos parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissões para as categorias de bovino de leite no Subsetor Manejo de Dejetos.	258
Quadro 6.12. Resumo dos parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissões para suínos no Subsetor Manejo de Dejetos.....	258
Quadro 6.13. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Manejo de Dejetos (3.B).	264
Quadro 6.14. Equações para estimar as emissões do Subsetor Cultivo de Arroz (3.C).....	265
Quadro 6.15. Resumo dos fatores de emissão e parâmetros utilizados no cálculo das emissões de CH_4 do cultivo de arroz.	269
Quadro 6.16. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Cultivo de Arroz (3.C).....	272
Quadro 6.17. Equações para estimar as emissões do Subsetor Solos Manejados (3.D).....	273
Quadro 6.18. Resumo dos fatores de emissão utilizados no cálculo das categorias de emissões diretas de N_2O	279
Quadro 6.19. Fatores de emissão indireta de N_2O para solos agrícolas manejados.	280
Quadro 6.20. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Solos Manejados (3.D).....	282
Quadro 6.21. Equações para estimar as emissões do Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F).	283
Quadro 6.22. Fatores de emissão para Queima de Resíduos Agrícolas (3.F).....	287
Quadro 6.23. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões da Queima de Resíduos Agrícolas (3.F).....	288
Quadro 6.24. Equações para estimar as emissões Subsetor Calagem (3.G).....	289
Quadro 6.25. Fatores utilizados no cálculo de emissão de CO_2 pela Calagem.....	290
Quadro 6.26. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Calagem (3.G).	291
Quadro 6.27. Equações para estimar as emissões do Subsetor Aplicação de Ureia (3.H).	292
Quadro 6.28. Fatores utilizados no cálculo de emissão de CO_2 pela Aplicação de Ureia.....	293
Quadro 6.29. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Aplicação de Ureia (3.H).....	294
Quadro 7.1. Níveis metodológicos aplicados por gás para as categorias do Setor LULUCF.	299

Quadro 7.2. Resumo metodológico e referências de dados de atividade, fatores de emissão, premissas e outros parâmetros para estimar as emissões e remoções do Setor LULUCF.	303
Quadro 7.3. Fitofisionomias do mapa de vegetação natural pretérita e sua correspondência com as classes do IPCC (2006).	309
Quadro 7.4. Categorias do Setor LULUCF segundo o IPCC (IPCC, 2006) e suas divisões conforme particularidades nacionais.	310
Quadro 7.5. Teor de carbono na biomassa seca utilizada para diferentes compartimentos e classes de estrutura da vegetação.	315
Quadro 7.6. Equações para estimar a emissão líquida em razão da variação no carbono do solo.	316
Quadro 7.7. Particularidades metodológicas do inventário da Comunicação Inicial do Brasil e procedimentos para calcular as estimativas 1990-1994.	319
Quadro 7.8. Equações para estimar a emissões brutas anuais de CO ₂ , a partir das emissões por período.	320
Quadro 7.9. Equações para estimar a emissões brutas anuais de CO ₂ de 2017 a 2022, a partir das taxas de desmatamento anual.	324
Quadro 7.10. Equação para estimar as emissões de gases não-CO ₂ pela queima de biomassa deixada no campo.	327
Quadro 7.11. Subdivisão Nacional do subsetor Floresta (4.A)	329
Quadro 7.12. Equações para estimar estoques e remoções de CO ₂ em áreas Reflorestamento.	332
Quadro 7.13. Subdivisão nacional do Subsetor Agricultura (4.B).	334
Quadro 7.14. Subdivisão nacional do Subsetor Campo e Pastagem.	339
Quadro 7.15. Subdivisão nacional do Subsetor Áreas Úmidas (4.D).	341
Quadro 7.16. Subdivisão nacional do Subsetor Outras Terras (4.F).	343
Quadro 7.17. Equações para estimar emissões líquidas de CO ₂ de Produtos Florestais Madeiros pela Abordagem de Fluxo Atmosférico.	346
Quadro 7.18. Variáveis de produtos florestais madeiros (PFM) utilizadas para estimar suas emissões e remoções anuais de CO ₂	347
Quadro 7.19. Definição das variáveis de produtos florestais madeiros (PFM) utilizadas para estimar suas emissões e remoções anuais de CO ₂	349
Quadro 7.20. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF).	355
Quadro 8.1. Níveis metodológicos aplicados por gás e referências do Setor Resíduos.	359
Quadro 8.2. Categorias com valores atribuídos em outras categorias (IE) no Setor Resíduos.	362
Quadro 8.3. Categorias não estimadas (NE) no Inventário para o Setor Resíduos.	362
Quadro 8.4. Equações para estimar as emissões do Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A).	363
Quadro 8.5. Equação para estimar a fração de carbono orgânico degradável (DOC).	372
Quadro 8.6. Melhorias potencialmente aplicáveis a futuras edições do Inventário de Emissões do Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A).	377
Quadro 8.7. Equações para estimar as emissões do Subsetor Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B).	379
Quadro 8.8. Fatores de emissão do tratamento biológico de resíduos sólidos.	379
Quadro 8.9. Melhorias potencialmente aplicáveis a futuras edições do Inventário de Emissões do Subsetor Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B).	381
Quadro 8.10. Equações para estimar as emissões do Subsetor Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C).	382
Quadro 8.11. Fatores de emissão da Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos.	385
Quadro 8.12. Melhorias potencialmente aplicáveis a futuras edições do Inventário de Emissões do Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.C).	386

Quadro 8.13. Equações para estimar as emissões do Subsetor Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D).....	388
Quadro 8.14. Melhorias potencialmente aplicáveis a futuras edições do Inventário de Emissões do Subsetor Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D).....	397

1 SUMÁRIO EXECUTIVO

1.1 Contextualização

A adesão ao Acordo de Paris representa um compromisso global crucial para enfrentar as mudanças climáticas e limitar o aquecimento global. A participação ativa dos países nesse acordo é fundamental para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a promoção de ações conjuntas em prol de um futuro mais sustentável. Nesse contexto, o Brasil reafirma seu compromisso ao elaborar e apresentar, conforme suas capacidades nacionais, o Inventário Nacional das Emissões Antrópicas por Fontes e das Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa (GEE) não controlados pelo Protocolo de Montreal. Este esforço integra o Primeiro Relatório Bienal de Transparência (BTR1), cobrindo a série histórica de 1990 a 2022, de acordo com os requisitos da Estrutura de Transparência Aprimorada (em inglês *Enhanced Transparency Framework* – ETF), reforçando o papel do país na transparência e responsabilidade global diante das mudanças climáticas.

O Inventário Nacional das Emissões e das Remoções de GEE, apresentado neste documento, foi elaborado em conformidade com o Anexo da Decisão 18/CMA.1 Modalidades, procedimentos e diretrizes para a estrutura de transparência para a ação e o apoio referida no Artigo 13 do Acordo de Paris (conhecida como MPGs) e com o Anexo V da Decisão 5/CMA.3 Orientações para a operacionalização das modalidades, procedimentos e diretrizes para a ETF referida no Artigo 13 do Acordo de Paris.

Como metodologia, foram utilizadas as “Diretrizes de 2006 do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, sigla em inglês) para Inventários Nacionais de Emissões de Gases de Efeito Estufa” (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – IPCC 2006) (IPCC, 2006).

Os GEE estimados foram o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorcarbonos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF₆). Outros GEE precursores, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e outros compostos orgânicos voláteis não metano (NMVOC) foram incluídos sempre que possível.

Em virtude das diversas fontes de emissões antrópicas de GEE, o Inventário está organizado segundo as atividades contempladas nos Setores: Energia (CRT 1); Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU, sigla em inglês) (CRT 2); Agropecuária (CRT 3); Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF, sigla em inglês) (CRT 4); e Resíduos (CRT 5). Já as remoções de GEE são contabilizadas apenas no Setor LULUCF, como resultado do aumento do estoque de carbono, por meio, por exemplo, do crescimento de vegetação.

As estimativas realizadas consideraram a mesma abordagem metodológica do Inventário apresentado na Quarta Comunicação Nacional do Brasil (1990-2016) (Brasil, 2021) e as atualizações ao Inventário do país com resultados de 1990 a 2020, publicado em documento nacional, 6ª edição das Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa Nacional do Brasil (Brasil, 2022).

Para atualização dos dados de atividades foram consultadas, principalmente, referências públicas e oficiais. Os dados que não estavam divulgados em publicações ou em outros meios de comunicação foram solicitados às instituições responsáveis ou foram obtidos por especialistas. Todo o detalhamento técnico, tais como dados de atividades, metodologias, equações, parâmetros e fatores de emissão utilizados, pode ser encontrado neste **Relatório de Inventário Nacional (NIR 2024)**.

As categorias-chave foram identificadas utilizando as avaliações de nível e tendência *Tier 1*,

conforme recomendado nas Diretrizes do IPCC (2006)¹ e adotado pelas MPGs. Esta abordagem identificou as fontes que, juntas, contribuem para 95% das emissões totais ou 95% da tendência do inventário em termos absolutos.

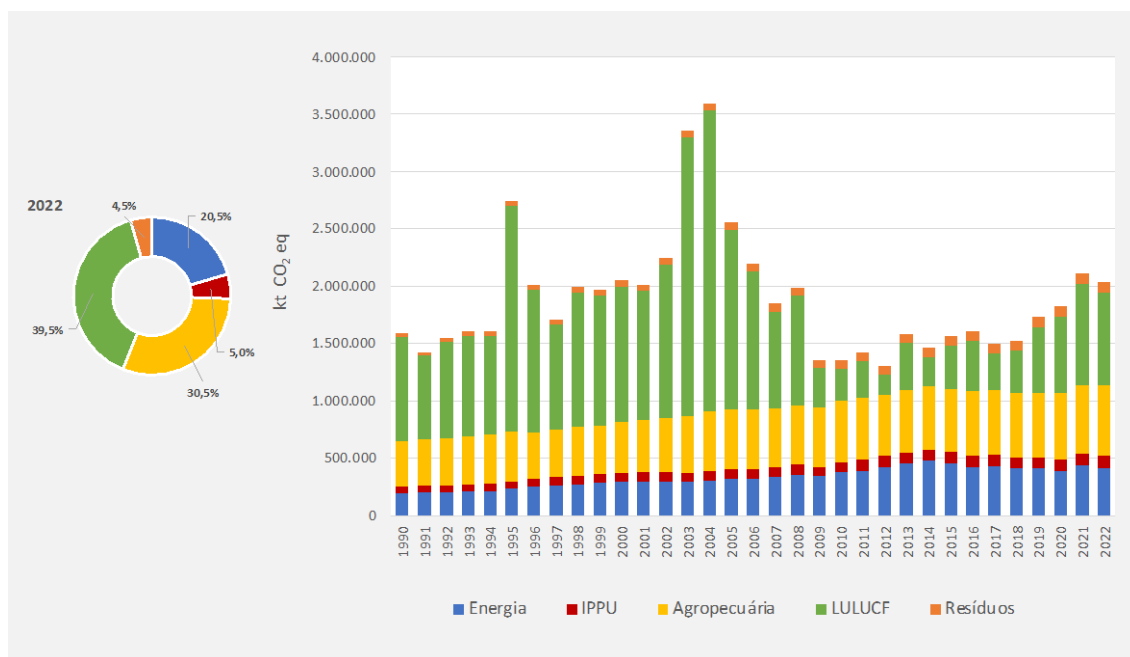
Utilizou-se, para o cálculo das incertezas de dados de atividade e fatores de emissão, o método de propagação de erro (Abordagem 1) em âmbito nacional para todos os setores, com exceção do Setor Resíduos, que utilizou o método de Monte Carlo (Abordagem 2), dada a possibilidade do detalhamento dos diversos parâmetros envolvidos nesta estimativa.

Destaca-se que, em conformidade com a Decisão 18/CMA.1, todas as análises e os resultados do Inventário são apresentados em kt CO₂ eq, utilizando a métrica do Potencial de Aquecimento Global (GWP, sigla em inglês) para um horizonte temporal de 100 anos constantes do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (GWP AR5) (IPCC, 2014).

1.2 Tendências agregadas de emissões e remoções

As emissões líquidas totais brasileiras foram de 2.039.236 kt CO₂ eq em 2022. Essas emissões totais diminuíram 20,4% (ou -522.009 kt CO₂ eq) em relação ao teto de 2005 (Tabela 1.1). Em relação aos níveis verificados naquele ano, houve redução significativa das emissões do Setor LULUCF, relacionada principalmente à diminuição do desmatamento, o que decorreu da adoção de Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas, implementados junto ao Setor LULUCF, a partir de 2005.

Apesar do aumento verificado nas emissões em 2022 relativamente a 2020, observou-se uma queda em relação ao nível verificado no ano anterior (2021). Ademais, verifica-se um perfil diferenciado com relação a países desenvolvidos, com 70% do valor estimado em 2022 ocorrendo nos Setores LULUCF e Agropecuária; 25,5% em Energia e IPPU; e 4,5% em Resíduos (Figura 1.1).



¹ IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Preparado pelo National Greenhouse Gas Inventories Programme. General Guidance and Reporting, v.1, Chapter 4. Methodological Choice and Identification of Key Categories, 2006.

Figura 1.1. Emissões líquidas por Setor com LULUCF, em kt CO₂ eq.

1.3 Tendências das emissões por setor e gases

Com relação à participação setorial, ao longo da série histórica, observou-se um consistente aumento da participação do Setor Energia, que respondia por 12% em 1990 e em 2005, passando a 20% em 2022. O aumento nos Setores IPPU e Resíduos foi mínimo no período, com participações de 4% e 2% em 1990; de 3% para os ambos os setores em 2005; e de 5% e 4% em 2022, respectivamente. LULUCF, por sua vez, apresentou um relevante decréscimo entre 1990 e 2022 (57% para 40%), contudo com comportamento que pode ser separado em fases, estando estas relacionadas com a Política Nacional de Mudança do Clima e os Planos de Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas: i) aumento consistente nas emissões entre 1990 e 2004; ii) tendência de queda diante do controle do desmatamento de 2005 a 2017; e iii) aumento a partir de 2018, com exceção de 2022, diante do crescimento no desmatamento, sobretudo nos biomas Amazônia e Cerrado. A Agropecuária apresentou um crescimento na participação de 25% para 30% entre 1990 e 2022, no entanto devendo-se destacar que o aumento do rebanho ocorreu a taxas superiores ao comportamento de emissões, o que é corroborado por indicadores de eficiência produtiva, conforme será descrito a seguir.

Ainda em termos setoriais, as emissões de Energia atingiram 418.451 kt CO₂ eq em 2022. O Subsetor Queima de Combustíveis (1.A) foi responsável por 94,5% dessas emissões, enquanto o Subsetor Emissões Fugitivas (1.B) representou os 5,5% restantes. A categoria Transporte foi a mais representativa, correspondendo a 52% das emissões totais do Setor Energia, seguida de Indústrias de Transformação e Construção e Indústrias de Energia com 17% e 14%, respectivamente.

As estimativas de emissões do Setor IPPU totalizaram 102.317 kt CO₂ eq em 2022. A Indústria Metalúrgica contribuiu com a maior parte das emissões, representando 51% das emissões em kt CO₂ eq do setor em 2022. E o Subsetor Indústria Mineral foi o segundo mais representativo, com 32%.

As emissões da Agropecuária totalizaram 622.014 kt CO₂ eq em 2022. É possível identificar, analisando a contribuição por subsectores, que o Subsetor Fermentação Entérica foi o mais representativo do setor com 65% do total das emissões no ano de 2022, seguido em ordem de magnitude pelo Subsetor Solos Manejados com 23%. Por outro lado, os Subsectores Manejo de Dejetos e Calagem contribuíram juntos com, aproximadamente 9% das emissões, enquanto os Subsectores Cultivo de Arroz, Aplicação de Ureia e Queima de Resíduos Agrícolas acumularam juntos uma parcela menor a 3% do total de emissões do setor para esse ano.

Entre 1990 e 2022, houve redução de 11% na emissão de metano entérico por cabeça de gado. No particular, dessa categoria-chave, destacam-se avanços obtidos em termos de eficiência e sustentabilidade de seus sistemas produtivos, que se refletiram em ganhos de eficiência produtiva, podendo-se exemplificar a ampliação dos sistemas de gado leiteiro de alta produção e o confinamento bovino.

As emissões líquidas do Setor LULUCF totalizaram 805.694 kt CO₂ eq em 2022. As emissões líquidas mais representativas do setor foram advindas do Subsetor Campo e Pastagem (959.862 kt CO₂ eq), refletindo principalmente as conversões de Floresta para Campo e Pastagem (949.958 kt CO₂ eq). As maiores remoções líquidas foram oriundas do Subsetor Floresta, que contribuiu com -312.125 kt CO₂ eq, resultantes, principalmente, da vegetação protegida dentro de Unidades de Conservação e Terras Indígenas.

Diante da adoção efetiva dos Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas (Brasil, 2023a; 2023b), a emissão do Setor LULUCF em 2022 foi 69% inferior ao pico verificado em 2004, havendo uma diminuição de 56,5 para 22,3 mil km² na área desmatada nos biomas Amazônia e Cerrado.

As emissões do Setor Resíduos totalizaram 90.761 kt CO₂ eq em 2022. O Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos foi o que mais contribuiu com as emissões do setor em 2022, com 53.421 kt CO₂ eq ou, aproximadamente, 59% do total. O Tratamento e Despejo de Águas Residuárias emitiu 36.056 kt CO₂ eq naquele ano e foi responsável por cerca de 40% do total do setor. Os outros subsectores contribuíram com uma parcela menor de emissão.

Em termos gerais, o aumento da coleta e a destinação adequada de resíduos têm expandido a emissão do setor. Por sua vez, as emissões em Locais Não Categorizados apresentaram uma redução de 24% em comparação com 2020, que se deve ao aumento da disposição em aterros sanitários, o que, conseqüentemente, reduziu a proporção de resíduo destinado a locais não gerenciados ou vazadouros.

Tabela 1.1. Emissões líquidas por Setor com LULUCF, em kt CO₂ eq, anos selecionados.

SETOR/CATEGORIAS	1990	2005	2016	2020	2022
	EMISSIONES LÍQUIDAS (kt CO ₂ eq)				
TOTAL	1.588.395	2.561.246	1.603.968	1.824.760	2.039.236
1. ENERGIA	196.119	318.363	424.610	390.210	418.451
1.A. Queima de combustíveis	187.161	299.732	403.235	369.462	395.626
1.A.1. Indústrias de energia	25.308	48.620	78.925	68.134	56.565
1.A.2. Indústria de transformação e construção	37.633	65.396	71.952	62.697	69.116
1.A.3. Transporte	85.195	139.226	204.239	187.220	217.378
1.A.4. e 1.A.5. Outros setores e não especificado	39.025	46.489	48.119	51.411	52.567
1.B. Emissões fugitivas	8.959	18.630	21.375	20.748	22.824
2. IPPU	56.870	83.335	93.931	96.992	102.317
2.A. Indústria mineral	15.170	20.444	29.715	32.070	32.993
2.B. Indústria química	8.379	13.195	8.470	7.155	7.021
2.C. Indústria metalúrgica	32.673	47.614	48.925	48.739	52.226
2.D. Produtos não energéticos de combustíveis e solventes	520	661	763	820	843
2.E. Indústria eletrônica	0	0	0	3	1
2.F. Uso de produtos como substitutos de SDO ¹	0	1.234	5.768	7.879	8.891
2.G. Fabricação e uso de outros produtos	128	187	290	325	343
3. AGROPECUÁRIA	394.743	520.260	567.146	583.740	622.014
3.A. Fermentação entérica	284.981	370.824	376.932	376.720	404.062
3.B. Manejo de dejetos animais	17.801	21.951	27.716	27.713	29.012

3.C. Cultivo de arroz	9.271	10.796	11.159	11.779	11.901
3.D. Solos manejados	71.071	104.417	131.056	141.045	145.078
3.F. Queima de resíduos agrícolas	1.848	2.296	551	473	477
3.G. Calagem	9.141	8.097	15.844	21.593	27.087
3.H. Aplicação de ureia	631	1.878	3.888	4.417	4.397
4. LULUCF	908.066	1.573.714	436.546	665.084	805.694
4.A. Floresta	-43.666	-269.055	-345.479	-326.825	-312.125
4.B. Agricultura	79.305	196.422	138.607	157.403	184.499
4.C. Campo/Pastagem	876.829	1.673.983	658.720	855.213	959.862
4.D. Áreas úmidas	6.412	12.326	8.745	10.601	11.675
4.E. Assentamentos	6.896	7.067	5.154	5.008	5.670
4.F. Outras terras	1.275	5.021	8.998	11.740	12.620
4.G. Produtos florestais madeireiros	-18.984	-52.050	-38.198	-48.056	-56.507
5. RESÍDUOS	32.596	65.574	81.735	88.735	90.761
5.A. Disposição de resíduos sólidos	13.186	35.658	45.798	49.824	53.421
5.B. Tratamento biológico de resíduos	18	49	56	63	61
5.C. Incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos	1.151	2.014	1.272	1.326	1.224
5.D. Tratamento e despejo de águas residuárias	18.241	27.854	34.608	37.522	36.056

Notas: SDO – Substâncias destruidoras da camada de ozônio.

O CO₂ foi o gás predominante nas emissões brasileiras, com 62% de participação em 2022. Ainda em 2022, os gases CH₄ e N₂O representaram 29% e 8,5%, respectivamente, enquanto SF₆, HFCs e PFCs foram responsáveis em conjunto por 0,47% do total (Figura 1.2).

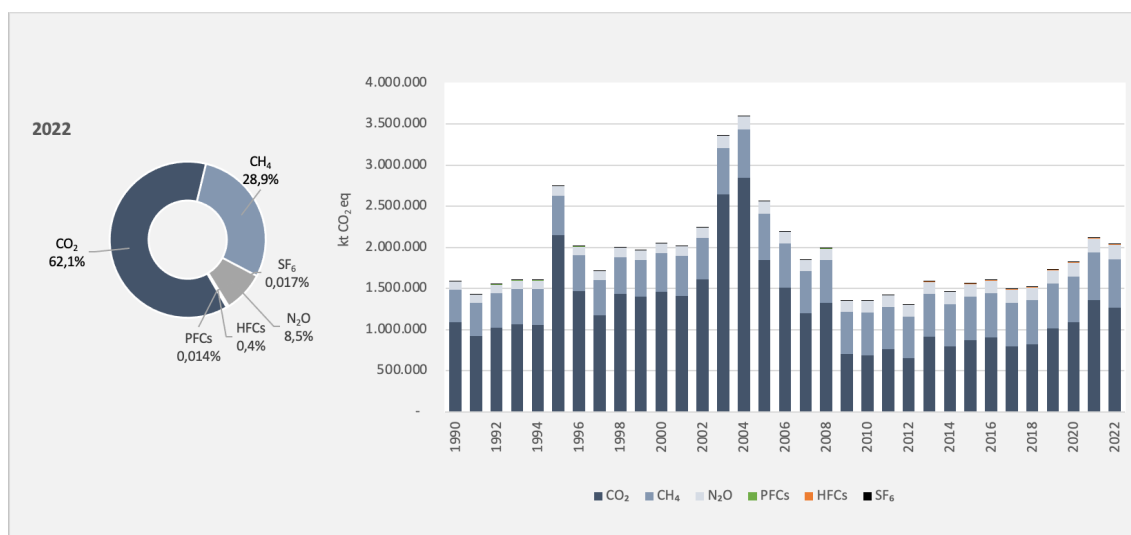


Figura 1.2. Emissões líquidas brasileiras por GEE, em kt CO₂ eq.

As emissões de CO₂ resultaram de atividades relacionadas, principalmente, com o uso energético de combustíveis fósseis e as mudanças do uso e cobertura da terra. Outras fontes que compõem as emissões de CO₂ são os processos industriais de produção de ferro-gusa e aço, cimento, cal,

barrilha, amônia e alumínio, bem como a utilização de fertilizantes na agricultura e na incineração ou na queima de resíduos sólidos.

Em termos totais, as emissões brasileiras em 2022 atingiram 1.266.131 kt CO₂. O Setor LULUCF respondeu por 59,4% das emissões totais de CO₂ (751.467 kt CO₂). Em seguida, o Setor Energia contabilizou 30,9% das emissões (391.193 kt CO₂).

As emissões nacionais de CH₄ são oriundas de atividades agropecuárias, da mudança do uso e cobertura da terra, do tratamento de resíduos, de alguns processos industriais, além da extração e refino de petróleo e gás natural.

O Setor Agropecuária respondeu pela maior parcela das emissões totais de CH₄ (74,8% em 2022 ou 15.754 kt CH₄). Em seguida, o Setor Resíduos contabilizou 14,9% das emissões de CH₄ (3.134 kt CH₄).

As emissões nacionais de N₂O resultaram da aplicação de fertilizantes sintéticos e orgânicos no solo, bem como do tratamento de efluentes domésticos, queima de combustíveis fósseis e de biomassa, processos industriais e mudança do uso e cobertura da terra. O Setor Agropecuária respondeu com 85,9% (564 kt N₂O) das emissões totais de N₂O. LULUCF correspondeu a 7,1% (47 kt N₂O) e o Setor Energia contabilizou 5,3% do total (35 kt N₂O).

Com relação aos gases fluorados, a principal emissão no Brasil refere-se aos HFCs, com 8.892 kt CO₂ eq. A principal contribuição dessa família de gases foi proveniente do uso de HFC-134a na categoria ar-condicionado e refrigeração.

1.4 Outras informações relevantes

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) é responsável por coordenar a elaboração das Comunicações Nacionais, dos Relatórios de Atualização Bienal e os Relatórios de Transparência Bienais do Brasil, o que inclui a coordenação da elaboração do Inventário e desempenha papel relevante na articulação dos diferentes grupos de trabalho, que contribuem para o levantamento das informações setoriais.

Uma vez que grande parte da abordagem metodológica desse NIR 2024 é resultado do Inventário apresentado na Quarta Comunicação Nacional do Brasil, é importante destacar o esforço coletivo e multidisciplinar, que envolveu mais de 150 instituições e mais de 300 especialistas de todas as regiões do país. Por sua abrangência e especificidade, o Relatório contou com a participação de importante parcela da comunidade científica e empresarial brasileira, além de diversas instituições governamentais, associações de classe, organizações do terceiro setor, universidades e centros de pesquisas, representados, em grande parte, pela Coordenação Técnico-Científica da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima).

A Rede Clima desempenha papel fundamental no apoio às atividades de Pesquisa e Desenvolvimento, com o objetivo de atender às necessidades nacionais de conhecimento sobre mudanças do clima e fornecer informações para a formulação de políticas públicas. Com abrangência nacional, a Rede Clima envolve dezenas de grupos de pesquisa em universidades e institutos, estando dividida em sub-redes temáticas. Essa estrutura descentralizada proporciona capilaridade e potencializa a transferência e difusão das informações geradas.

Diversas entidades públicas e privadas contribuem com a disponibilização de dados de atividades ou com o desenvolvimento de parâmetros e de fatores de emissão nacionais, atualizados e pertinentes ao exercício da metodologia a ser aplicada na elaboração das estimativas de emissões e de remoções de GEE para o país.

Em síntese, o processo de elaboração do Inventário reflete um esforço robusto e colaborativo, envolvendo uma vasta gama de atores e instituições de diferentes setores do Brasil. O avanço contínuo na atualização das estimativas de GEE, com base nas melhores evidências científicas disponíveis, demonstra o compromisso do país com a transparência e o aprimoramento metodológico. Esse engajamento não apenas fortalece a capacidade nacional de monitoramento, como também posiciona o Brasil como um importante ator no cenário global, ao fornecer dados climáticos confiáveis, que são essenciais para a formulação de políticas públicas e para a promoção da cooperação internacional no combate às mudanças climáticas.

2 CIRCUNSTÂNCIAS NACIONAIS, ARRANJOS INSTITUCIONAIS E INFORMAÇÕES TRANSVERSAIS

2.1 Contextualização sobre inventários de gases de efeito estufa e mudança do clima

O Brasil apresenta periodicamente seu Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções Antrópicas por Sumidouros de GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal (doravante referenciado como Inventário), na medida em que permitem as suas capacidades, conforme seu compromisso de atualização dessas estimativas e relato junto à UNFCCC.

O Acordo de Paris estabeleceu em 2015 ETF, que aumenta a ambição de transparência sobre a mudança do clima e os requisitos de relatórios para todas as Partes do Acordo. Em 2018, os países assumiram o compromisso de submeter os BTRs.

O presente Documento de Inventário Nacional das Emissões Antrópicas por Fontes e das Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa do Brasil em 2024 e as Tabelas Comuns de Reporte (CRT, sigla em inglês) (referenciados como NIR 2024) são parte do Primeiro Relatório Bienal de Transparência BTR do país e apresentam estimativas de emissões líquidas de gases com efeito estufa para a série histórica de 1990 a 2022.

O presente Relatório de Inventário Nacional² foi elaborado em conformidade com o Anexo da Decisão 18/CMA.1 Modalidades, procedimentos e diretrizes para a estrutura de transparência para a ação e o apoio referida no Artigo 13 do Acordo de Paris (conhecida como MPGs) e com o Anexo V da Decisão 5/CMA.3 Orientações para a operacionalização das modalidades, procedimentos e diretrizes para a ETF referida no Artigo 13 do Acordo de Paris.

As estimativas de GEE realizadas são consistentes com as “Diretrizes de 2006 do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, sigla em inglês) para Inventários Nacionais de Emissões de Gases de Efeito Estufa” (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – IPCC 2006) (IPCC, 2006).

A mesma abordagem metodológica do Inventário apresentado na Quarta Comunicação Nacional do Brasil (1990-2016) (Brasil, 2021) foi utilizada neste NIR 2024. Além disso, em 2022, o Brasil atualizou o Inventário do país, que foi publicado em documento nacional, a 6ª edição das Estimativas Anuais do Brasil, com resultados de 1990 a 2020 (Brasil, 2022), tomando a iniciativa de avançar nas estimativas de emissões, para além dos últimos dados submetidos à UNFCCC.

Em virtude das diversas fontes de emissões antrópicas de GEE, o Inventário está organizado segundo as atividades contempladas nos Setores: Energia (CRT 1); Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU, sigla em inglês) (CRT 2); Agropecuária (CRT 3); Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF, sigla em inglês) (CRT 4); e Resíduos (CRT 5). Já as remoções

² Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/sirene/publicacoes/relatorios-bienais-de-transparencia-btrs>.

de GEE são contabilizadas apenas no Setor LULUCF, como resultado do aumento do estoque de carbono, por meio, por exemplo, do crescimento de vegetação.

Os GEE estimados foram o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorcarbonos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF₆). Outros GEE precursores, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e outros compostos orgânicos voláteis não metano (NMVOC) foram incluídos sempre que possível.

2.2 Descrição das circunstâncias nacionais e arranjos institucionais

2.2.1 Arranjos institucionais para elaboração do Inventário

Entre os marcos regulatórios e instrumentos de gestão voltados à implementação da UNFCCC no país, destaca-se a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC),³ que estabeleceu a estrutura legal para a ação de enfrentamento à mudança do clima no Brasil.

O Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM)⁴ possui caráter permanente e tem a finalidade de monitorar e promover a implementação das ações e das políticas públicas no âmbito do Poder Executivo federal relativas à PNMC.

O CIM é composto pelos seguintes Ministros de Estado: I – Casa Civil da Presidência da República, que o presidirá; II – Advocacia-Geral da União; III – Ministério da Agricultura e Pecuária; IV – Ministério das Cidades; V – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; VI – Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar; VII – Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome; VIII – Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços; IX – Ministério da Educação; X – Ministério da Fazenda; XI – Ministério da Igualdade Racial; XII – Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional; XIII – Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima; XIV – Ministério de Minas e Energia; XV – Ministério das Mulheres; XVI – Ministério do Planejamento e Orçamento; XVII – Ministério de Povos Indígenas; XVIII – Ministério das Relações Exteriores; XIX – Ministério da Saúde; XX – Ministério do Trabalho e Emprego; XXI – Ministério dos Transportes; XXII – Secretaria-Geral da Presidência da República; e XXIII – Secretaria de Relações Institucionais da Presidência da República.

Além dos Ministros, são membros do CIM, sem direito a voto, representantes indicados pela Câmara de Participação Social, sendo um deles o Coordenador-Executivo do Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC), pela Câmara de Articulação Interfederativa e pela Câmara de Assessoramento Científico, sendo um deles o Coordenador-Científico da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima).

O Ministério das Relações Exteriores (MRE) atua como Ponto Focal Nacional, com a missão de promover a articulação do Governo Brasileiro com a UNFCCC.

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), por meio da Coordenação-Geral de Ciência do Clima (CGCL), parte da estrutura da Secretaria de Políticas e Programas Estratégicos (SEPPE), é responsável por coordenar a elaboração das Comunicações Nacionais, dos Relatórios de Atualização Bienal e os Relatórios de Transparência Bienais do Brasil, o que inclui a coordenação da elaboração do Inventário e desempenha papel relevante na articulação dos diferentes grupos de trabalho, que contribuem para o levantamento das informações setoriais.

³ Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009.

⁴ Decreto nº 12.040, de 5 de junho de 2024.

Esses relatórios de transparência são financiados por meio de recursos internacionais do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF, na sigla em inglês), contam com o apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), por meio de sua atuação como agência implementadora e têm a anuência da Agência Brasileira de Cooperação (ABC).

A CGCL também é responsável pelo Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE),⁵ que se constitui instrumento oficial do governo no processo de Mensuração, Relato e Verificação (MRV) das emissões antrópicas de GEE, e é a entidade executora do projeto financiado pela *Capacity Building Initiative for Transparency* (CBIT), “Fortalecimento do sistema nacional de transparência no Brasil no âmbito do Acordo de Paris (DataClima+)”, que tem, em última instância, o objetivo de implementar o sistema de transparência climática centralizado e integrado do Brasil, com vistas à preparação de relatórios no âmbito do ETF e apoiar o planejamento nacional.

O Brasil instituiu, por meio do Decreto nº 9.172/2017, o SIRENE, com o objetivo de disponibilizar os resultados do Inventário Nacional de GEE, bem como de outras iniciativas de contabilização de emissões, tais como as Estimativas Anuais de Emissões de GEE no Brasil.

O SIRENE tem por objetivo conferir perenidade, acessibilidade, segurança e transparência ao processo de elaboração do Inventário e servir de insumo à tomada de decisão nas ações governamentais relativas à mudança do clima, no que tange à geração de conhecimento científico e à adoção de medidas de mitigação.

Esse sistema garante a publicidade dos resultados oficiais nacionais, a partir da apresentação de gráficos e tabelas, que podem ser exportadas em diferentes formatos, conforme interesse de seleção dos filtros definida pelo usuário. Ademais, todas as publicações oficiais e relatórios de transparência são disponibilizados nessa plataforma para consulta do público em geral.

Uma vez que grande parte da abordagem metodológica desse NIR 2024 é resultado do Inventário apresentado na Quarta Comunicação Nacional do Brasil (1990-2016) (Brasil, 2021), é importante destacar o esforço implementado. A elaboração do Inventário publicado na Quarta Comunicação Nacional representou um esforço coletivo e multidisciplinar, que envolveu mais de 150 instituições e mais de 300 especialistas de todas as regiões do país. Por sua abrangência e especificidade envolveu importante parcela da comunidade científica e empresarial brasileira, além de diversas instituições governamentais, associações de classe, organizações do terceiro setor, universidades e centros de pesquisas, representados, em grande parte, pela Coordenação Técnico-Científica da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima).

A Rede Clima desempenha um papel fundamental no apoio às atividades de Pesquisa e Desenvolvimento, com o objetivo de atender às necessidades nacionais de conhecimento sobre mudanças do clima e fornecer informações para a formulação de políticas públicas. Com abrangência nacional, envolve dezenas de grupos de pesquisa em universidades e institutos, estando dividida em sub-redes temáticas. Essa estrutura descentralizada proporciona capilaridade e potencializa a transferência e difusão das informações geradas.

O organograma da Figura 2.1 apresenta o arranjo institucional e a articulação entre os diferentes atores envolvidos no processo de elaboração do Inventário.

⁵ Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/sirene>.

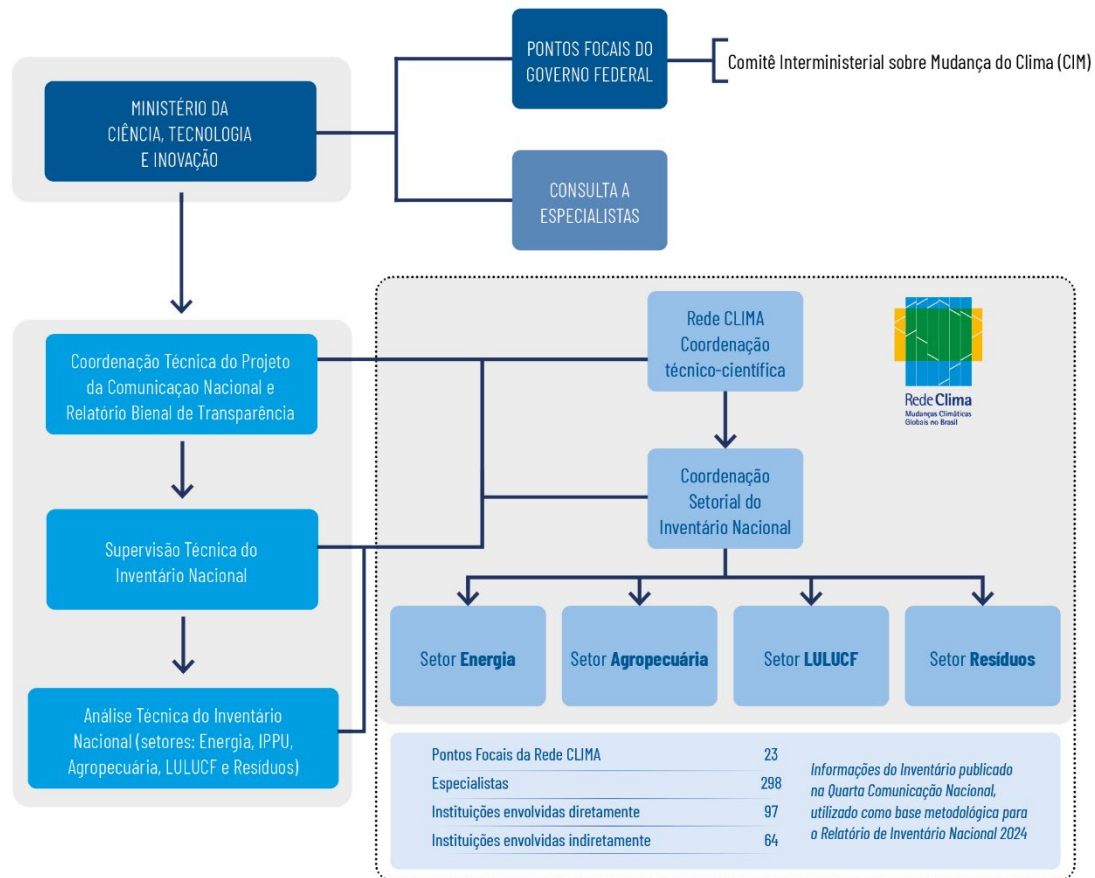


Figura 2.1. Arranjo institucional para elaboração do Inventário de GEE apresentado na Quarta Comunicação Nacional.

2.2.2 Processo de preparação do Inventário

O ciclo do Inventário é iniciado com o planejamento com base nas melhorias identificadas no Inventário anterior e com o estabelecimento de parcerias para geração e coleta de dados, desenvolvimento e levantamento de parâmetros, atualização das estimativas e compilação dos resultados.

Diversas entidades públicas e privadas contribuem com a disponibilização de dados de atividades, ou com o desenvolvimento de parâmetros e de fatores de emissão nacionais, atualizados e pertinentes ao exercício da metodologia a ser aplicada na elaboração das estimativas de emissões e de remoções de GEE para o país.

O ciclo segue os passos descritos na Figura 2.2 e termina com o planejamento de melhorias para o próximo ciclo.

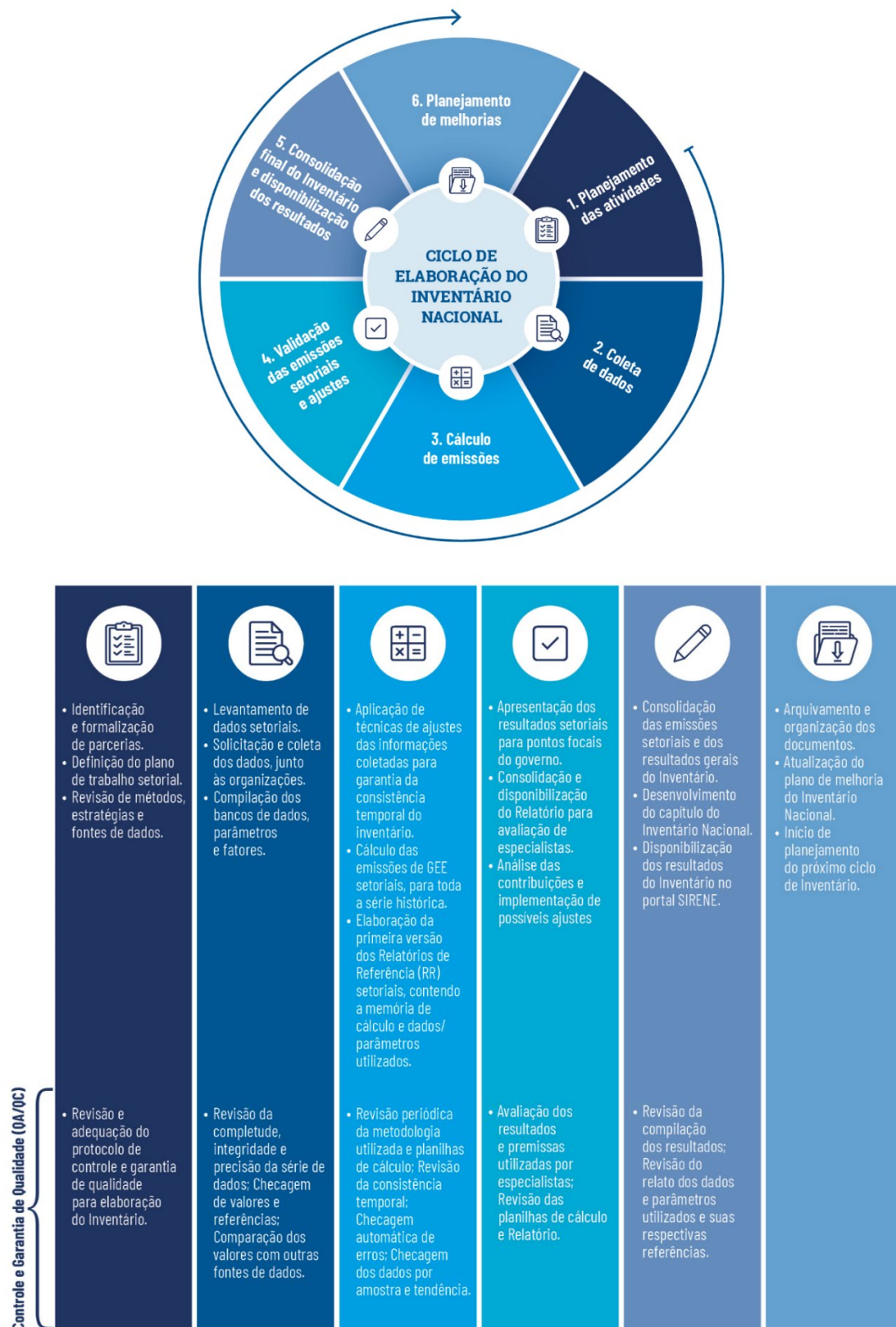


Figura 2.2. Ciclo para elaboração do Inventário de GEE do Brasil.

2.2.3 Arquivamento de informações

As informações relacionadas ao Inventário Nacional de GEE do Brasil são arquivadas na rede institucional do MCTI. Todos os dados, incluindo os fatores de emissão desagregados e os dados de atividade; toda a documentação sobre a geração e a agregação de dados, incluindo a garantia de qualidade/control de qualidade (QA/QC, sigla em inglês); e os resultados da revisão, além de metadados utilizados ao longo do processo, desde artigos científicos até o banco de dados espaciais utilizados no Setor LULUCF, são armazenados.

Os relatórios setoriais, elaborados na Quarta Comunicação Nacional, que descrevem de forma transparente o detalhamento metodológico, com indicação de fontes de dados e premissas adotadas, também são arquivados pelo MCTI. Esses relatórios (em português) são disponibilizados publicamente na página eletrônica do SIRENE,⁶ com os resultados das emissões e remoções de todos os GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal.

Nesta rede institucional, serão arquivados os dados do Inventário, assim como os Relatórios NIR 2024 e o BTR,⁷ nas versões em português e em inglês.

2.2.4 Processo de aprovação do relatório

O processo de aprovação do Relatório de Inventário Nacional, parte do Primeiro Relatório Bienal de Transparência do Brasil, apesar de ser a primeira submissão do país nesse formato, seguiu trâmites semelhantes aos adotados em outras publicações enviadas à UNFCCC. Inicialmente, depois de concluído, o Relatório passou por uma etapa de garantia de qualidade (QA, na sigla em inglês), que incluiu a consulta a especialistas setoriais, conforme descrito na Seção 2.5.

Após a realização das análises e ajustes necessários, o relatório consolidado foi compartilhado com os ministérios integrantes do CIM. Uma vez aprovado por esse comitê, o relatório foi encaminhado para submissão pelo MRE, que atua como Ponto Focal Nacional e tem a função de coordenar a articulação do Governo Brasileiro com a UNFCCC.

2.3 Breve descrição geral das metodologias e fontes de dados utilizadas

2.3.1 Metodologias, parâmetros e dados

O presente Inventário Nacional de GEE foi elaborado em conformidade com o Anexo da Decisão 18/CMA.1 e com o Anexo V da Decisão 5/CMA.3. Desde o Inventário publicado na Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2021), o Brasil utilizou as “Diretrizes de 2006 do IPCC para Inventários Nacionais de Emissões de Gases de Efeito Estufa” (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories – IPCC 2006), demonstrando seu comprometimento em aprimorar suas estimativas, o que possibilita a melhoria do planejamento e dos subsídios para a tomada de decisões.

As metodologias do IPCC para a quantificação das emissões são divididas em três níveis (ou *Tiers*) que correspondem à complexidade metodológica e à representação das particularidades de cada país. O *Tier 1* é considerado o método básico, com uso de fatores de emissão-padrão indicados pela própria metodologia do IPCC; o *Tier 2*, intermediário; e o *Tier 3*, mais exigente em termos de requisitos de dados obtidos nacionalmente. Os *Tiers 2* e *3* são considerados métodos de estimativas mais precisos.

Para este Inventário, foram usados os diferentes *Tiers*, cuja aplicação para as diversas categorias pode ser compreendida no detalhamento setorial apresentado nos Quadros com informações sobre

⁶ Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>.

⁷ Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/sirene/publicacoes/relatorios-bienais-de-transparencia-btrs>.

os “níveis metodológicos aplicados por gás” (Quadros 4.1, 5.1, 6.1, 7.1 e 8.1 nos Capítulos 4, 5, 6, 7 e 8 deste documento, respectivamente).

Os GEE estimados foram o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorcarbonos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6). Outros GEE precursores, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e outros compostos orgânicos voláteis não metano foram incluídos sempre que possível.

Para atualização dos dados de atividades foram consultadas, principalmente, referências públicas e oficiais. Os dados que não estavam divulgados em publicações ou outros meios de comunicação foram solicitados às instituições responsáveis ou consultados especialistas. Todo o detalhamento técnico, tais como dados de atividades, premissas metodológicas, equações, parâmetros e fatores de emissão utilizados são apresentados setorialmente neste NIR 2024. Um resumo dos métodos e fatores de emissão por Setor e GEE pode ser observado no Quadro 2.1.

Quadro 2.1. Resumo dos níveis metodológicos e fatores de emissão (FE) aplicados no Inventário do Brasil.⁸

SETOR/SUBSETOR/CATEGORIAS	GASES, MÉTODOS E FATORES DE EMISSÃO											
	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		HFCs		PFCs		SF ₆	
	Método	FE	Método	FE	Método	FE	Método	FE	Método	FE	Método	FE
1. Energia	T2, T3, T3a, NO	CS, D	T1, T2, T3, T3a, NO	CS, D, OTH	T1, T2, T3, T3a, NO, NA	CS, D, OTH						
1.A. Atividades de Queima de Combustíveis	T2, T3, T3a	CS, D	T1, T2, T3, T3a, NO	CS, D, OTH	T1, T2, T3, T3a	CS, D, OTH						
1.A.1 Indústrias de energia	T2	CS	T2	OTH, D	T2	OTH, D						
1.A.2 Indústrias de transformação e construção	T2	CS	T2	OTH, D	T2	OTH, D						
1.A.3 Transporte	T2, T3a	CS	T1, T2, T3, T3a	CS, D	T1, T2, T3, T3a	CS, D						
1.A.4 Outros setores	T2	CS	T2	OTH	T2	OTH						
1.A.5 Não especificado	T2, NO	CS	T2, NO	D	T2, NO	D						
1.B. Emissões fugitivas	T2, T3, NO	CS	T1, T2, T3, NO	CS, D	T2, T3, NO	CS						
1.B.1 Combustíveis sólidos	NO	NA	T1, NO	D	NA, NO	NA						
1.B.2 Petróleo e gás natural e outras emissões da produção de energia	T2, T3	CS	T2, T3	CS	T2, T3	CS						
1.C. Transporte e armazenamento de CO₂	NO	NA										
2. Processos industriais e uso de produtos (IPPU)	T1, T2, T3, IE, NO, NA	D, CS	T1, NO, NA	D	T1, T3, NO, NA	D, CS	IE, NE, NO, NA, T2a	CS	IE, NE, NO, NA, T2a	CS	T1, NO, NA	D
2.A. Indústria Mineral	T2, T3	CS										
2.B. Indústria Química	T1, T3, NO, NA	D, CS	T1, NO, NA	D	T1, T3, NO, NA	D, CS	NA	NA	NA	NA	NA	NA

⁸ A estrutura de reporte apresentada neste quadro é consistente com as Tabelas Comuns de Reporte (CRT, sigla em inglês): *Summary3_Summary Report for Methods and Emission Factors Used*.

	GASES, MÉTODOS E FATORES DE EMISSÃO											
SETOR/SUBSETOR/CATEGORIAS	CO2		CH4		N2O		HFCs		PFCs		SF6	
	Método	FE	Método	FE	Método	FE	Método	FE	Método	FE	Método	FE
2.C. Indústria Metalúrgica	T1, T2, T3, IE, NA	D, CS	T1, NA	D	T1, NA	D	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.D. Produtos não energéticos de combustíveis e solventes	T1, IE	D	NA	NA	NA	NA						
2.E. Indústria eletrônica					NA	NA	IE,NE, T2a	CS	IE, NE, T2a	CS	NA	NA
2.F. Usos de produtos como substitutos para ODS							T2a, NE, NO	CS	NE, NO, NA	NA	NA	NA
2.G. Other product manufacture and use	NO	NA	NO	NA	NO, NE	NA	NO,NA	NA	NO, NA	NA	T1, NO, NA	D
2.H. Outros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3. Agropecuária	T1, NO	D	T1, T2, NO, NE	D, CS	T1, T2, NO, NE	D, CS						
3.A. Fermentação entérica			T1, T2	D, CS								
3.B. Manejo de dejetos			T1, T2	D, CS	T1, T2, NO	D, CS						
3.C. Cultivo de arroz			T1, T2, NO	D, CS	IE	D						
3.D. Solos manejados			NA	NA	T1, T2	D, CS						
3.E. Queimada prescrita de savanas			NE	NA	NE	NA						
3.F. Queima de resíduos agrícolas			T1, T2	D, CS	T1, T2	D, CS						
3.G. Calagem	T1	D										
3.H. Aplicação de ureia	T1	D										
3.I. Outros fertilizantes contendo carbono	NO	NA										
4. Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF)	T1, T2	CS	T1, T2	D	T1, T2	D						
4.A. Floresta	T1, T2, NO	CS	T1, T2	D	T1, T2	D						
4.B. Agricultura	T1, T2, NO	CS	T1, T2	D	T1, T2	D						

SETOR/SUBSETOR/CATEGORIAS	GASES, MÉTODOS E FATORES DE EMISSÃO											
	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		HFCs		PFCs		SF ₆	
	Método	FE	Método	FE	Método	FE	Método	FE	Método	FE	Método	FE
4.C. Campo/Pastagem	T1, T2, NO	CS	T1, T2	D	T1, T2	D						
4.D. Áreas Úmidas	T1, T2	CS	T1, T2	D	T1, T2	D						
4.E. Assentamentos	T1, T2	CS	T1, T2	D	T1, T2	D						
4.F. Outras Terras	T1, T2	CS	T1, T2	D	T1, T2	D						
4.G. Produtos Florestais Madeireiros	T1	D	IE	D	NA	NA						
5. Resíduos	T1, T2a	CS	T1, T2, NA, IE	CS, D	T1, NE, NA	D						
5.A. Disposição de resíduos sólidos			T2, IE	CS, D								
5.B. Tratamento biológico de resíduos sólidos			T1, IE	D	T1, NA	D						
5.C. Incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos	T1, T2a	D, CS	T1, NA	D	T1	D						
5.D. Tratamento e despejo de águas residuárias			T2	CS	T1, NE	D						

Nota: Níveis metodológicos (IPCC, 2006) – T1: *Tier 1*; T2: *Tier 2*; T3: *Tier 3*.

Notações: NA – atividade em uma determinada categoria de fonte/sumidouro que ocorre no país, mas não resultou em emissões ou remoções de um gás específico; IE – incluído em outro local/categoria de emissões ou remoções; NO – categorias e processos que não ocorrem no país; NE – dados de atividade e/ou emissões por fontes e remoções por sumidouros de GEE que não tenham sido estimados, mas para os quais uma atividade correspondente pode ocorrer no país

Siglas: CS – específico do país (*country-specific*); D – valor-padrão IPCC (*IPCC default*); OTH⁹ - outro (*other*).

⁹ A classificação OTH para as categorias Indústrias de energia (1.A.1), Indústrias de transformação e construção (1.A.2) e Outros setores (1.A.4) deriva da adoção dos fatores do *European Monitoring and Evaluation Programme* (Programa Europeu de Monitorização e Avaliação – EMEP) e *European Environment Agency* (Agência Europeia do Ambiente – EEA).

2.3.2 Consistência e recálculos das séries temporais

A fim de assegurar a consistência das séries temporais, foram seguidos os mesmos métodos, fontes de dados de atividades e fatores de emissão adotados nos Inventários de Emissões anteriores (Brasil, 2021; 2022). Diante disso, os recálculos geralmente decorreram da revisão de dados de atividades pelos provedores das informações, assim pouco impactando as emissões estimadas entre 1990 e 2020.

Em comparação com os resultados consolidados do Inventário anterior (série histórica de 1990 a 2020) (Brasil, 2022) e os resultados deste NIR 2024, a maior proporção de ajustes foi verificada em 2018, com 3% de diferença entre emissões estimadas. Em particular, decorre de ajustes em dados nos Subsetores da Indústria Metalúrgica (2.C), Fermentação Entérica (3.A) e Produtos Florestais Madeireiros (4.G), conforme motivos que serão descritos a seguir. Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de apenas 1,9%, e no período de 1990 a 2020, de 0,2%, assim demonstrando a consistência da série temporal deste Inventário (Figura 2.3).

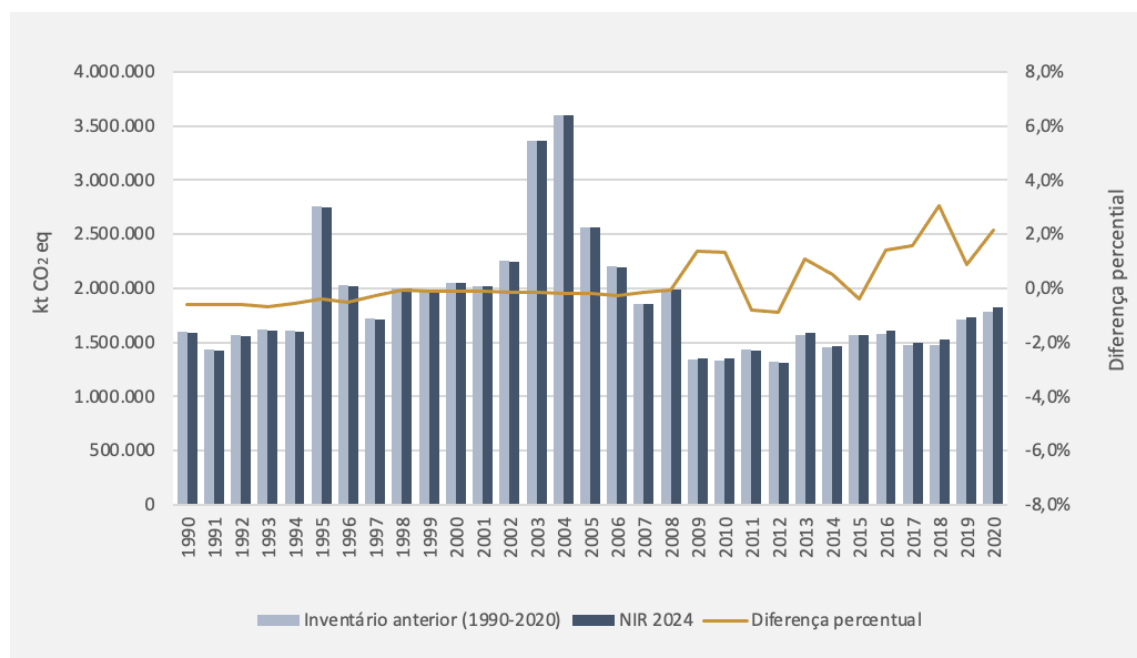


Figura 2.3. Comparação das emissões estimadas totais, em kt CO₂ eq e percentualmente, entre os inventários.

O Setor Energia teve alteração nas emissões diante da revisão pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), das matrizes abertas de energia do Balanço Energético Nacional (EPE, 2023). O ajuste destas informações teve maior impacto de revisão das emissões totais de 2016, com 0,7%. Contudo, na série histórica o ajuste médio foi de 0,1% (Figura 2.4).

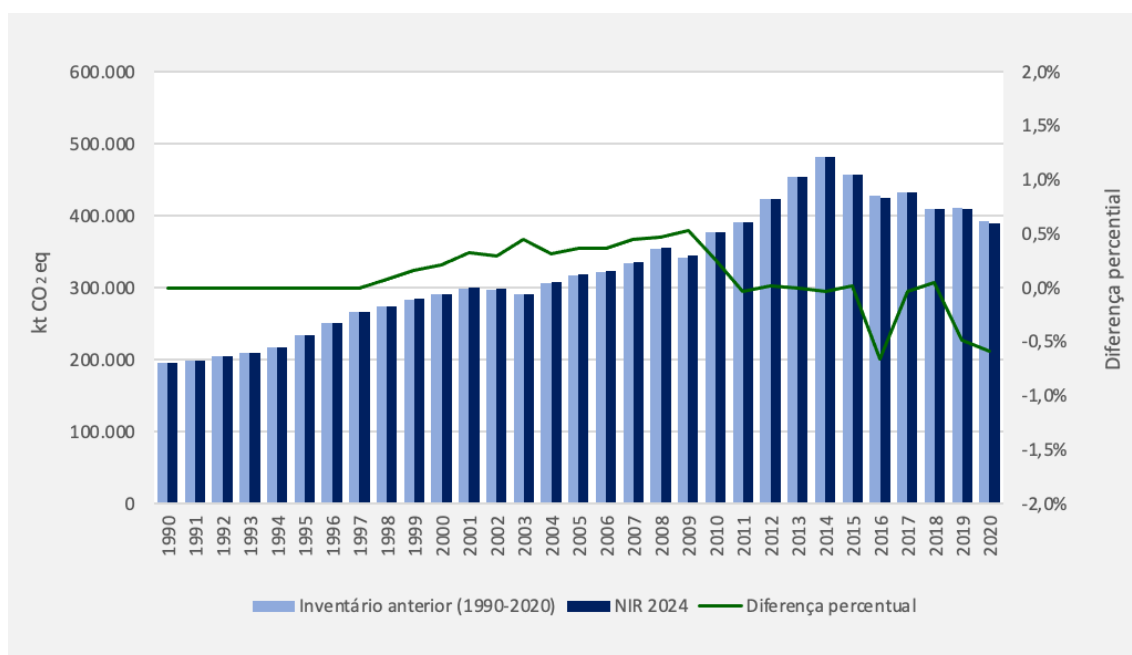


Figura 2.4. Comparação das emissões estimadas totais do Setor Energia (CRT 1), em kt CO₂ eq e percentualmente, entre os inventários.

O inventário de IPPU utiliza anuários elaborados por órgão de governo e por associações representativas dos setores como fontes de dados de atividades. Ocorre que a última revisão do inventário não havia informações atualizadas provenientes destas fontes, sendo necessário o emprego de extrapolação das séries temporais, particularmente de dados de produção, para os anos de 2019 e 2020, dos Subsetores da Indústria Mineral (2.A) e Indústria Metalúrgica (2.C). No NIR 2024 essas extrapolações foram substituídas por dados oriundos das fontes citadas no Quadro 5.1, consequentemente gerando um maior ajuste nas emissões naqueles anos, ocorrendo um pico de recálculo de 6,7% em 2019. Contudo, observando a série temporal de 1990 a 2020, o ajuste médio foi somente de 0,3% (Figura 2.5).

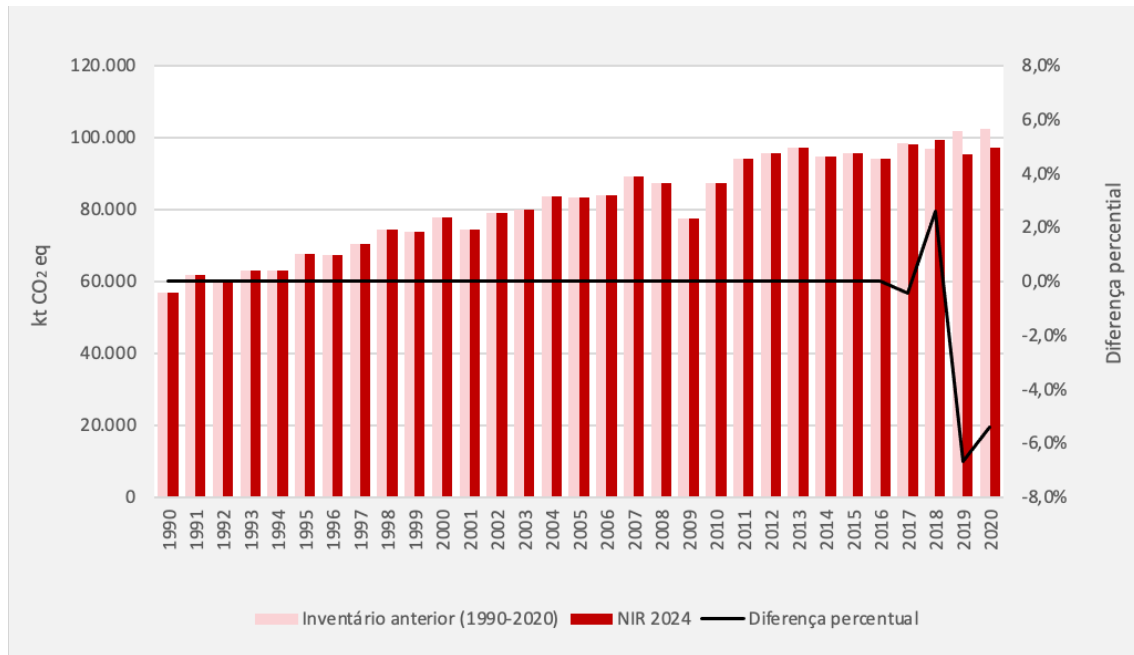


Figura 2.5. Comparação das emissões estimadas totais do Setor Processos Industriais e Uso de Produtos (CRT 2), em kt CO₂ eq e percentualmente, entre os inventários.

A fermentação entérica constitui-se na principal categoria emissora do Setor Agropecuária, e é, no contexto nacional, explicada pela representatividade da pecuária de corte e leiteira. Trata-se de atividade econômica de relevância nacional, e os principais parâmetros utilizados para estimativa de suas emissões referem-se à população, ao tipo de confinamento, à digestibilidade, ao peso e à produtividade animal. No particular do NIR 2024, comparativamente ao inventário anterior, houve a revisão dos dados de população bovina no período de 2017 e 2020, por parte do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2024a). Por conseguinte, as emissões foram revisadas neste período, ocorrendo um ajuste médio de 4,1% nas emissões do setor. Porém, não foram identificadas alterações nos dados de atividade dos demais anos, assim resultando em um ajuste médio total das emissões de somente 0,5% na série temporal (Figura 2.6).

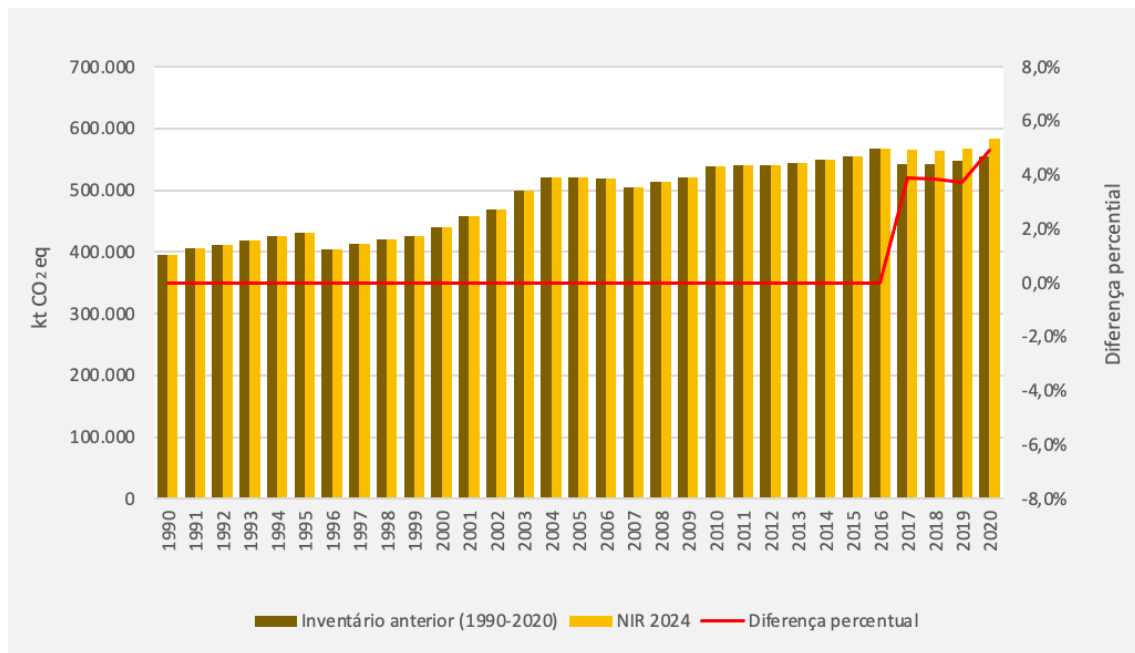


Figura 2.6. Comparação das emissões estimadas totais do Setor Agropecuária (CRT 3), em kt CO₂ eq e percentualmente, entre os inventários.

O Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas representa o principal setor em termos de emissões na série temporal, sendo as emissões estimadas por dados oriundos de fontes oficiais, com destaque para taxas de desmatamento informadas pelo INPE relativas aos biomas Amazônia e Cerrado (INPE, 2024). Ademais, a fim de melhor representar as variações de estoques de carbono de seu território, o país estima as emissões e remoções do setor utilizando diversas camadas de informação e fatores de emissão – Abordagem 3 do IPCC (2006).

Em termos de ajustes na série temporal, o INPE atualizou os dados da série histórica de desmatamento anual no Cerrado, em decorrência da nova delimitação de biomas oficial do Brasil, publicada pelo IBGE (IBGE, 2019). Uma parte dos ajustes nas emissões deriva desta revisão no dado de atividade, sendo a maior diferença percebida em 2016 (11,3%).

Adicionalmente, o Subsetor Produtos Florestais Madeireiros teve suas emissões revisitadas ao longo da série histórica, o que decorreu da revisão dos dados FAOSTAT relativos à importação, exportação e produção de madeira em toda a série temporal (FAO, 2024). As maiores diferenças em relação ao inventário anterior ocorreram entre 1990 e 1996, com aumento médio de 52% nas remoções de CO₂. A partir de 2003, as remoções passaram a ser menores, principalmente entre 2009 e 2022, quando a redução média das emissões foi de 11%.

Perante essas principais e outras pontuais modificações em dados citados no inventário de LULUCF, o ajuste médio na série temporal de emissões foi de 0,6% (Figura 2.7).

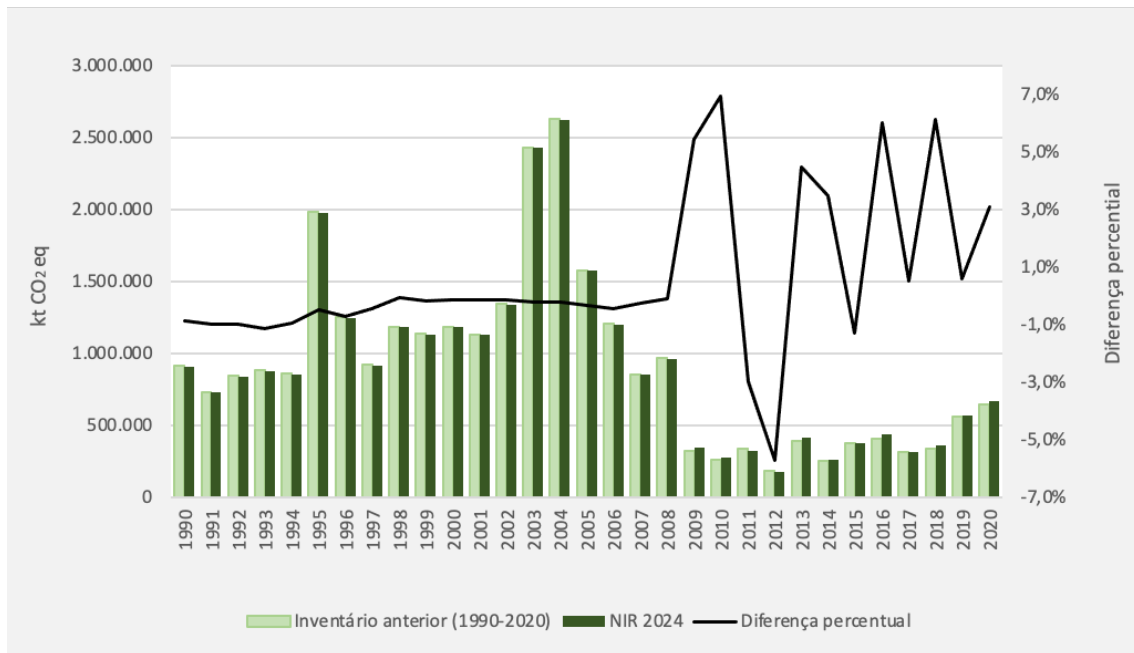


Figura 2.7. Comparação das emissões estimadas totais do Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (CRT 4), em kt CO₂ eq e percentualmente, entre os inventários.

No Setor Resíduos, a principal modificação que impactou emissões ocorreu por conta das estimativas populacionais pelo IBGE (IBGE, 2023; 2024b). No particular do Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A), também foram revistas estimativas de população atendida com coleta e valores de recuperação de metano em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) reportados à UNFCCC (UNFCCC, 2024). Outros ajustes em dados de atividade são citados nas Seções 8.3.3, 8.4.3, 8.5.3 e 8.6.3 deste documento.

Considerando os resultados consolidados do Inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, a maior proporção dos ajustes no Setor Resíduos é verificada em 2001, com 3,1% de diferença entre emissões estimadas. Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de 0,9%, e no período de 1990 a 2020, de 2,4% (Figura 2.8).

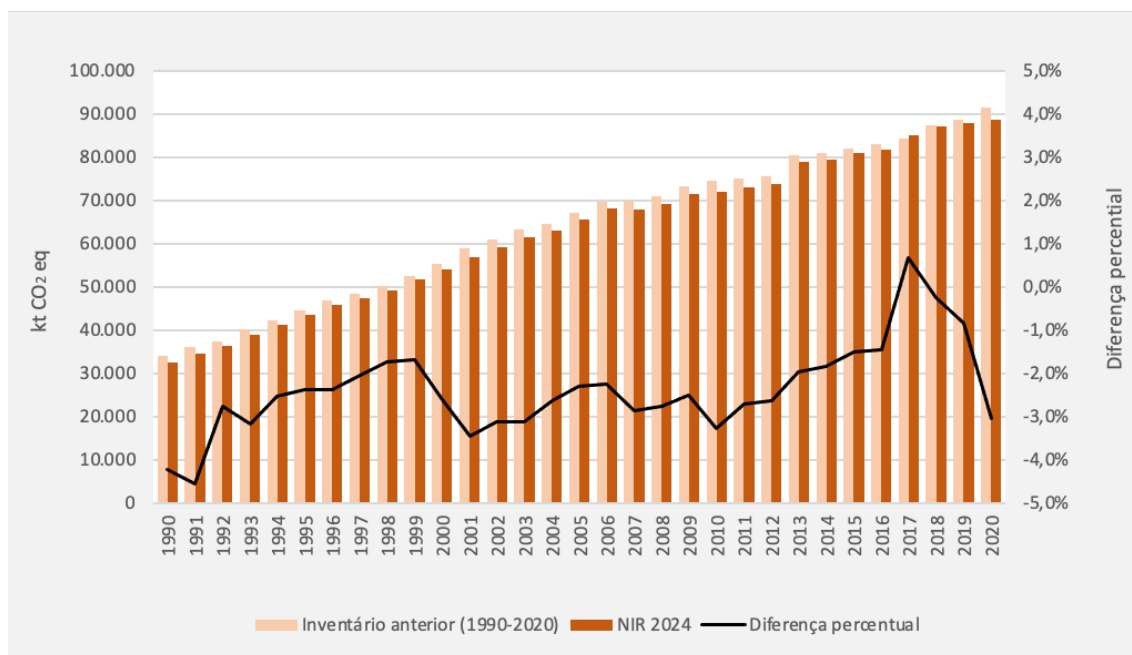


Figura 2.8. Comparação das emissões estimadas totais do Setor Resíduos (CRT 5), em kt CO₂ eq e percentualmente, entre os inventários.

2.4 Breve descrição das categorias-chave

Nesse NIR 2024 as categorias-chave foram identificadas utilizando as avaliações de nível e tendência *Tier 1*, conforme recomendado nas Diretrizes do IPCC (2006) (v. 1, cap. 4)¹⁰ e adotado pelas MPGs. Esta abordagem identificou as fontes que, juntas, contribuem para 95% das emissões totais ou 95% da tendência do inventário em termos absolutos.

No Brasil, quando o Setor LULUCF é considerado, as emissões de CO₂ de Área convertida para Campo/Pastagem (4.C.2), Floresta permanecendo Floresta (4.A.1) e Transporte Rodoviário (1.A.3.b) são as categorias-chave mais significativas. Quando o Setor LULUCF é excluído da análise, as categorias-chave mais significativas são emissões de CO₂ de Transporte Rodoviário (1.A.3.b), e emissões de CH₄ de Fermentação Entérica (fêmeas de corte com mais de 2 anos não confinadas) (3.A.1.a.iii) e Fermentação Entérica (bovinos entre 1 e 2 anos) (3.A.1.a.vi).

Os resultados completos da análise das categorias-chave são apresentados no Apêndice I deste documento.

2.5 Descrição do plano e da implementação de garantia da qualidade e controle de qualidade (QA/QC)

O principal objetivo do plano QA/QC é garantir que o Inventário siga os princípios das boas práticas, que orientam a preparação e divulgação de inventários, a saber: transparência, acurácia, comparabilidade, consistência e completude.

A Garantia de Qualidade (QA) é um sistema planejado de procedimentos de revisão, conduzido por atores não diretamente envolvidos no desenvolvimento e compilação do inventário. Por sua vez, o Controle de Qualidade (QC) é um sistema de atividades técnicas de rotina para avaliar e manter a qualidade do inventário enquanto ele está sendo compilado. Para atender aos critérios

¹⁰ Ver Methodological Choice and Identification of Key Categories (IPCC, 2006, v. 1, cap. 4).

de boas práticas de QC recomendados pelo IPCC, são realizadas verificações nos dados de atividade, parâmetros, fatores de emissão e cálculos.

Conforme citado na Seção 2.2 deste documento, o MCTI, por meio da atuação da Coordenação-Geral da Ciência do Clima, foi responsável pela elaboração do NIR 2024. A equipe técnica responsável pelo documento é composta pelos seguintes atores: Direção Nacional; Coordenação-Geral, Coordenação Técnica; Supervisão de Inventário; e Analistas Especialistas nos setores abrangidos pelo inventário.

Em termos de processos de validação, a Rede Clima apoia o processo na fase de QA, também realizada em âmbito governamental por pontos focais do Governo Federal. Estes últimos, por sua vez, complementam a etapa, validando o documento e remetendo-o à aprovação do CIM.

O plano de QA/QC desenvolvido para o Inventário Nacional de GEE é um exercício contínuo de adoção de ações de curto, médio e longo prazos que inicia com a identificação, ao fim de cada ciclo de elaboração das estimativas de emissões, de lições aprendidas que suscitam o planejamento de melhorias a serem adotadas na atualização desse Inventário, conforme exposto ao fim dos Capítulos 4 a 8 deste documento (Plano de Melhorias).

A seguir, são discriminados os procedimentos de QA/QC, incluindo o *checklist* de QC adotado no NIR 2024, assim como o plano de melhorias previstas para ser adotado nos inventários a serem elaborados em base bienal.

Procedimentos de QC

Os procedimentos de controle de qualidade consistem em verificações técnicas de rotina para medir e controlar a qualidade do inventário; garantir a consistência, a integridade, a correção e a integridade dos dados; e identificar e corrigir erros e omissões. Os procedimentos de QC usados durante o ciclo de desenvolvimento do inventário têm como alvo uma ampla gama de processos, inclusive a aquisição e o manuseio de dados, a aplicação de procedimentos e métodos aprovados e o cálculo de estimativas e documentação.

Uma série de verificações sistemáticas de controle de qualidade *Tier 1*, de acordo com o Volume 1, Seção 6.6, das Diretrizes do IPCC de 2006, é realizada anualmente pela equipe técnica de inventário nas principais categorias e em todos os setores. Antes do envio do documento à UNFCCC, são realizadas verificações de QC transversais nos documentos finais do NIR, assim como avaliações de qualidade nos dados inseridos na ferramenta *on-line* das Tabelas Comuns de Reporte (CRT, sigla em inglês).

Procedimentos de QC de *Tier 1* específicos da categoria complementam os procedimentos gerais de QC do inventário e são direcionados a tipos particulares de dados. Essas técnicas exigem conhecimento da categoria específica, incluindo metodologias, informações disponíveis e parâmetros associados a emissões ou remoções. Para facilitar essas verificações foi desenvolvida uma lista de verificação (*checklist*) para padronizar e documentar os procedimentos de qualidade. Esta lista (Quadro 2.2) abrange um registro de qualquer ação corretiva tomada e faz referência à documentação de apoio.

É necessária uma avaliação abrangente para garantir que a categoria permaneça atualizada e relevante por vários anos após o ano de análise. Essa investigação geralmente é ampla e usa uma variedade de abordagens específicas do setor, incluindo avaliações da aplicabilidade contínua de métodos, fatores de emissão, dados de atividade, incerteza e outros, e estabelece a base para atividades futuras ao desenvolver e priorizar recomendações de melhoria.

Entre as medidas operacionais adotadas para apoiar a execução do processo de QC do NIR 2024, podem ser citadas:

- Contratação de analistas setoriais dedicados à elaboração das estimativas de emissões e pelo mapeamento e proposição de ações de médio e longo prazos, visando à melhoria das

estimativas, ora listadas nos “Planos de melhorias” específicos dos subsetores deste NIR 2024 (Capítulos 4 a 8);

- Revisão pela Supervisão e Coordenação Técnica do Inventário da consistência metodológica de dados de atividade, fatores de emissão e procedimentos de cálculo adotados na contabilização das emissões por gases e setores na série temporal de 1990 a 2022;
- Reuniões semanais de acompanhamento das atividades técnicas desenvolvidas pela equipe do Inventário;
- Reuniões de validação do Inventário com a Direção Nacional e Coordenação do projeto da Quinta Comunicação Nacional e Relatórios Bienais de Transparência; e
- Participação da equipe técnica em cursos de capacitação acerca das metodologias de elaboração do inventário e ferramentas desenvolvidas no âmbito da ETF do Acordo de Paris.

Procedimentos de QA

O processo de garantia de qualidade (QA) ajuda a garantir que o inventário represente as melhores estimativas possíveis de emissões e remoções com base no estado-da-arte do conhecimento científico e da disponibilidade de dados, além de aumentar a eficácia do programa de QA. Os dados e métodos subjacentes selecionados são avaliados de forma independente por especialistas-revisores de inventários de GEE, pontos focais de governo, representantes de notório saber das universidades, entre outros.

Especificamente para o Setor LULUCF, cumpre ressaltar que preteritamente foi adotada uma estratégia complementar ao QA-padrão estabelecido, em decorrência do complexo processo de geração dos dados de atividade deste setor (i.e., matrizes de conversão de uso e cobertura da terra) e diante do tamanho e das particularidades regionais do território nacional. Nesse sentido, foi instituído um Comitê de Validação Científico, formado por especialistas de cada bioma. A atuação do comitê ocorreu desde a validação dos mapas de uso e cobertura da terra elaborados nos Inventários anteriores até a seleção de imagens de satélite, auxílio técnico durante a elaboração do mapa atualizado para 2016 e validação e análise de acurácia do mapa realizado no âmbito do Inventário elaborado na Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2020). O envolvimento de especialistas em mapeamento de cada bioma brasileiro contribuiu para melhor representar a dinâmica de uso e cobertura da terra nacional.

Uma vez concluído, o NIR 2024 foi submetido à revisão por especialistas setoriais, com experiência comprovada na revisão internacional de Inventários de emissões de GEE. Esta etapa foi realizada em agosto de 2024, em uma oficina que permitiu aprofundar a avaliação da documentação do inventário, a qual foi previamente disponibilizada como atividade preparatória da reunião de trabalho. Em uma etapa que antecedeu a oficina foram realizadas videoconferências para esclarecimento do processo e os especialistas também tiveram a oportunidade de enviar perguntas preliminares sobre o inventário à equipe técnica, bem como tecer considerações iniciais acerca da avaliação da documentação do NIR.

Durante a oficina de QA, os especialistas puderam se dedicar ao aprofundamento da avaliação da documentação, bem como avaliaram com a equipe do inventário suas metodologias, parâmetros e resultados. Ao fim, indicaram pontos de aprimoramentos ao NIR 2024 e aos inventários subsequentes, que puderam ser incorporados ao plano de melhorias.

As considerações recebidas nesse processo foram devidamente analisadas pela equipe técnica, com inclusão de melhorias sempre que oportuno. Por fim, a versão consolidada do NIR passou

por processo de validação e aprovação por pontos focais técnicos do Governo Federal, que por sua vez encaminharam o documento à aprovação pelo CIM.

Checklist de QA/QC

Como mencionado, o processo de QA/QC do NIR 2024 foi executado com o suporte de um *checklist*, o qual contempla diferentes etapas e metas, conforme Quadro 2.2. Esse documento apoiou a construção e aprovação do documento pelo governo brasileiro.

As etapas de definição das bases de cálculo, preparação dos dados, cálculo de emissões e preparação do NIR ocorreram com o envolvimento da equipe técnica do Inventário e especialistas consultados na etapa de QA. Por sua vez, a aprovação do documento, complementando a etapa de QA, primeiramente, ocorreu em nível de pontos focais técnicos do Governo Federal, e, por fim, o documento foi aprovado em alto nível junto ao CIM.

Diferentes etapas foram adotadas no processo de QA/QC. Inicialmente ocorreu a definição das bases de cálculo do inventário, para partindo disso serem coletados e preparados os dados de atividades e fatores de emissão, o que permitiu realizar o cálculo das emissões nas planilhas de inventário. Uma vez concluído o NIR 2024, este foi submetido ao processo de QA por especialista e ao processo de validação pelos pontos focais de governo.

Em termos dos processos, as metas de nível I contemplam o objetivo ou situação ideal a ser atendida, conforme metodologia IPCC (2006). Quaisquer desvios remetem às metas de nível II, que também se alinham ao guia de boas práticas de QA/QC do NIR. Neste particular, o documento pôde atender praticamente todas as metas de nível I, devendo-se destacar casos excepcionais de tratamento de dados (nível II) que precisaram ser adotados para garantir a completude da série histórica.

Quadro 2.2. *Checklist de QC/QA do inventário brasileiro de emissões de GEE.*

NÍVEL DE PROCESSO	NOME DO PROCESSO	META (NÍVEL I)	META (NÍVEL II)
1. DEFINIÇÃO DAS BASES DE CÁLCULO			
1.1	Revisão dos métodos	O método de cálculo está em conformidade com a análise de categorias-NA chave.	
1.1	Revisão dos métodos	O método de cálculo está em conformidade com a árvore de decisão do Guia de Boas Práticas do IPCC.	Os desvios da árvore de decisão foram devidamente explicados, de acordo com critérios especializados lógicos e pertinentes, e foram devidamente documentados.
1.1	Revisão dos métodos	O método de cálculo foi selecionado de acordo com os requisitos do plano de inventário.	Os desvios do plano de inventário foram devidamente explicados, de acordo com critérios lógicos e pertinentes, e foram devidamente documentados.

NÍVEL DE PROCESSO	NOME DO PROCESSO	META (NÍVEL I)	META (NÍVEL II)
1.1	Revisão dos métodos	O método de cálculo selecionado é aplicável a toda a série temporal do inventário ou já está sendo aplicado de forma consistente.	Em caso de mudanças da metodologia de cálculo aplicada à série temporal, recálculos seguiram IPCC (2006) e foram devidamente documentados.
1.1	Revisão dos métodos	Desvios das metas (nível I) previamente citadas seguiram critérios lógicos e pertinentes, e foram devidamente documentados.	NA
1.2	Revisão das fontes de dados	Novas fontes de dados utilizadas foram documentadas.	NA
1.2	Revisão das fontes de dados	A(s) fonte(s) de dados está/estão/estarão disponíveis para preparação do inventário em base bienal.	NA
1.2	Revisão das fontes de dados	A série temporal completa exigida pelo inventário está disponível na(s) fonte(s) de dados.	Lacunas na série de dados foram explicadas e devidamente documentadas.
1.2	Revisão das fontes de dados	A série temporal completa exigida pelo inventário está disponível na(s) fonte(s) de dados.	Um procedimento adequado (interpolação/extrapolação) foi escolhido para lidar com as lacunas de dados, em conformidade com o Guia de Boas Práticas do IPCC (cap. 7.3.2.2).
1.2	Revisão das fontes de dados	A série temporal completa exigida pelo inventário está disponível na(s) fonte(s) de dados.	Após a identificação das lacunas de dados, o recálculo da série temporal foi realizado conforme necessário, sendo devidamente documentado e fundamentado.
1.2	Revisão das fontes de dados	A fonte de dados abrange a categoria emissora completa.	A abrangência parcial foi solucionada com técnica de extrapolação e foi levada em conta no cálculo das incertezas. Todas as etapas foram documentadas e justificadas de forma clara e lógica.
1.2	Revisão das fontes de dados	Informações de incerteza dos dados acessados foram disponibilizadas pelo provedor da informação.	NA
1.2	Revisão das fontes de dados	O Dado de Atividade (DA) e o Fator de Emissão (FE) se alinham às especificidades da categoria emissora.	No caso de discrepâncias, outras fontes de dados puderam estabelecer a concordância entre os dois valores. Como alternativa, a falta de concordância foi levada em conta em uma extrapolação e no cálculo das incertezas, e todo o processo foi documentado de forma adequada e lógica.
1.2	Revisão das fontes de dados	Os procedimentos para calcular dados/parâmetros de entrada foram claramente descritos.	NA

NÍVEL DE PROCESSO	NOME DO PROCESSO	META (NÍVEL I)	META (NÍVEL II)
1.2	Revisão das fontes de dados	A(s) fonte(s) de dados foi(ram) selecionada(s) de acordo com os requisitos do plano de inventário.	Todas as discrepâncias foram justificadas e documentadas de forma clara e lógica.
1.2	Revisão das fontes de dados	As premissas e critérios considerados na seleção dos dados foram documentados de NA forma clara e lógica.	
1.2	Revisão das fontes de dados	O provedor de dados realizou controles de qualidade de rotina da(s) fonte(s) de dados, tendo documentado esse aspecto.	NA
1.2	Revisão das fontes de dados	Quando utilizado FE padrão do IPCC, a maneira pela qual o FE foi adotado se baseou nas circunstâncias nacionais do Brasil, tendo sido devidamente documentada no Inventário.	Para os valores-padrão de FE adotados que não se ajustam às circunstâncias nacionais, as discrepâncias foram levadas em conta no cálculo das incertezas e foram devidamente documentadas.
1.2	Revisão das fontes de dados	No caso de uso de FE diferente do valor-padrão do IPCC, a utilização foi justificada e fundamentada de forma clara e lógica.	NA
1.2	Revisão das fontes de dados	Dados de atividades utilizados foram comparados com outras fontes de dados e eventuais discrepâncias e critérios de seleção foram devidamente documentados.	NA
2. COLETA DE DADOS			
2.1	Definição de requisitos	Os requisitos relativos aos dados refletem as informações e indicações do plano de inventário e das avaliações anteriores de QA/QC do inventário, incluindo subsídios de consultas públicas.	NA
2.2	Solicitação de dados ao provedor da informação	Os requisitos de QC e os formatos de dados foram encaminhados aos provedores da informação ou parceiros contratados, e esse encaminhamento foi devidamente documentado.	O fornecedor de dados (por exemplo, uma associação) realiza seus próprios controles de qualidade, e os resultados foram devidamente documentados.
2.3	Recebimento de dados	O provedor de dados ou a entidade contratante executou os controles de qualidade exigidos e fez os devidos registros dessa ação.	O fornecedor de dados realiza seus próprios controles de qualidade, e os resultados foram devidamente documentados.

NÍVEL DE PROCESSO	NOME DO PROCESSO	META (NÍVEL I)	META (NÍVEL II)
2.3	Recebimento de dados	Os dados recebidos estão completos, ou seja, abrangem todos os parâmetros solicitados e não apresentam incompletudes.	Todas as lacunas de dados na série temporal foram preenchidas, de acordo com o Guia de Boas Práticas do IPCC, por meio de extrapolação/interpolação (cap. 7.3.2.2) que foram devidamente documentadas e justificadas.
2.3	Recebimento de dados	Os dados recebidos são consistentes com valores previamente adotados e foram descritos adequadamente.	Quaisquer discrepâncias em termos de dados foram equacionadas, tendo sido os procedimentos adotados documentados.
2.3	Recebimento de dados	A ordem de grandeza dos dados recebidos está compatível com outras fontes.	As razões para quaisquer discrepâncias de dados foram devidamente identificadas e documentadas.
2.3	Recebimento de dados	Os métodos e premissas em que se baseiam os níveis de incerteza dos dados foram documentados de forma clara e lógica.	Quando não foi possível adotar premissas, foi realizada uma avaliação com especialistas, e a quantificação do especialista relevante foi documentada de forma clara e lógica.
3. PREPARAÇÃO DOS DADOS, CÁLCULO DE EMISSÕES, PREPARAÇÃO E APROVAÇÃO DO NIR			
3.1	Entrada de dados	Todos os FEs foram claramente identificados nas planilhas de cálculo do Inventário.	NA
3.1	Entrada de dados	A documentação relativa às fontes de dados dos FEs está completa e em conformidade com o plano do Inventário.	NA
3.1	Entrada de dados	O desenvolvimento e a aplicação de FEs na série temporal foi explicado de forma plausível e, no caso de efeitos incomuns (como mudanças na ordem de magnitude), devidamente corrigidos. foi explicado e documentado de forma clara e lógica.	Efeitos não plausíveis de FEs foram devidamente corrigidos.
3.1	Entrada de dados	Todos os DAs foram claramente identificados nas planilhas de cálculo do Inventário.	NA
3.1	Entrada de dados	A documentação relativa às fontes de dados dos DAs está completa e em conformidade com o plano do Inventário.	NA
3.1	Entrada de dados	O desenvolvimento e a aplicação de DAs na série temporal foi explicado de forma plausível e, no caso de efeitos incomuns (como mudanças na ordem de magnitude), devidamente corrigidos. foi explicado e documentado de forma clara e lógica.	Efeitos não plausíveis de DAs foram devidamente corrigidos.

NÍVEL DE PROCESSO	NOME DO PROCESSO	META (NÍVEL I)	META (NÍVEL II)
3.1	Entrada de dados	Após a entrada de todos os dados nas planilhas do inventário, todos os valores, unidades e fatores de conversão inseridos foram verificados quanto à exatidão e confirmados.	NA
3.1	Entrada de dados	Todas as incertezas foram inseridas nas planilhas e documentadas de acordo com os requisitos do plano do Inventário.	NA
3.2	Preparação dos dados	A descrição do Inventário inclui uma explicação adequada dos modelos pertinentes, com relação à organização, estrutura, procedimentos de cálculo, equações, premissas, etc.	NA
3.3	Cálculo de emissões	Os cálculos do Inventário atual foram comparados com os cálculos de edições anteriores.	Quando ocorreram mudanças significativas ou desvios de uma tendência esperada, as equações e os dados usados no cálculo foram revisados, sendo que quaisquer discrepâncias foram explicadas de forma adequada, clara e lógica e devidamente documentadas.
3.3	Cálculo de emissões	Os resultados do cálculo de emissões para os relatórios atuais/anteriores foram verificados em relação a outras fontes de dados do Brasil, e foram considerados comparáveis.	Nos casos em que a comparabilidade não foi encontrada, ou em que nenhuma comparação foi realizada, os motivos pertinentes foram explicados de forma adequada, clara e lógica.
3.3	Cálculo de emissões	Os FEs implícitos nacionais são comparáveis com FEs de outros países em ordem de magnitude.	FEs implícitos foram explicados de forma adequada, clara e lógica, e devidamente documentados, ou foi feita referência a uma explicação existente.
3.4	Preparação do NIR	A descrição das categorias emissoras foi reportada de forma lógica no NIR, contemplando Aspectos gerais com Resultados, Metodologia, Dados de atividade, Fatores de emissão e Outros parâmetros.	NA
3.5	Revisão e aprovação do NIR por especialistas e pontos focais do Governo Federal	Os valores de DAs, FEs, estimativas de emissões e incertezas reportadas no NIR são compatíveis com os valores calculados nas planilhas do Inventário.	NA
3.5	Revisão e aprovação do NIR por especialistas e pontos focais do Governo Federal	A documentação das fontes de dados DAs e FEs no NIR é congruente com os valores adotados nas planilhas de cálculo do NIR.	A incompletude foi explicada de forma adequada, clara e lógica, sendo devidamente corrigida e documentada.

Planejamento e priorização de melhorias

As melhorias no Inventário podem vir de diversas fontes externas e internas. Ao fim da compilação dos dados de atividade e elaboração das estimativas preliminares de emissões e remoções de GEE, os analistas especialistas fornecem *feedback* e recomendações sobre quaisquer problemas metodológicos ou processuais encontrados. Essas recomendações geralmente referem-se a instâncias em que a adesão do Inventário aos princípios orientadores de transparência, consistência, comparabilidade, completude e acurácia poderia ser melhorada.

Além das melhorias identificadas, os membros da equipe técnica também são incentivados a usar seu conhecimento e experiência no desenvolvimento de estimativas de Inventário para identificar áreas de melhoria no futuro, com base na ciência em evolução, abordagens de modelagem inovadoras e novas fontes de dados de atividade. O Brasil identifica, acompanha, planeja e prioriza melhorias tanto nas estimativas de emissões (incluindo os dados de atividade subjacentes, FEs e metodologias) quanto nos componentes dos arranjos do Inventário Nacional (incluindo o plano de QA/QC, infraestrutura e gerenciamento de dados, processos de arquivamento, análise de incerteza e avaliação de categorias-chave).

As melhorias são priorizadas pelas respectivas equipes com base nos resultados das atividades de QA/QC e verificação (conforme descrito no plano de QA/QC), análises de categorias-chave e incerteza, disponibilidade de recursos e avaliação de possíveis impactos.

Informações adicionais sobre ações de melhorias propostas pela equipe técnica do NIR 2024 podem ser verificadas nas seções de “Plano de melhorias” ao fim do capítulo de cada setor inventariado (Capítulos 4 a 8).

2.6 Avaliação geral da incerteza

As estimativas de emissões e remoções antrópicas de GEE apresentadas neste Inventário estão sujeitas a incertezas em decorrência de diversas causas, desde a imprecisão de dados básicos até o conhecimento incompleto dos processos que originam as emissões ou remoções de GEE. De acordo com as “Diretrizes de Boas Práticas de 2000 do IPCC” (*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* – GPG 2000) (IPCC, 2000), é reconhecido que a incerteza das estimativas não pode ser totalmente eliminada, todavia o objetivo principal deve ser produzir estimativas acuradas, que não sejam nem subestimadas nem sobrestimadas e que sejam cada vez mais precisas, na medida do possível.

De acordo com o IPCC (2006),¹¹ a análise de incertezas deve ajudar na priorização dos esforços nacionais que possibilitarão reduzi-la em futuros inventários, além de guiar as decisões a respeito das escolhas metodológicas.

A incerteza do Inventário está associada a cada um dos dados de atividade e fatores de emissão e outros parâmetros utilizados nas estimativas. A quantificação da incerteza de cada dado é uma informação tão ou mais difícil de avaliar que a própria informação desejada.

Para este Inventário, a precisão das estimativas variou dependendo das características de cada setor, dos dados disponíveis e dos recursos aplicados na determinação de fatores de emissão mais adequados às circunstâncias brasileiras.

Utilizou-se, para o cálculo das incertezas de dados de atividade e fatores de emissão, o método de propagação de erro (Abordagem 1) em âmbito nacional para todos os setores, com exceção do Setor Resíduos, que usou o método de Monte Carlo (Abordagem 2), dada a possibilidade do detalhamento dos diversos parâmetros envolvidos nesta estimativa.

A incerteza total do Inventário foi obtida a partir das análises das incertezas de todos os gases estimados e não apenas os três mais importantes – CO₂, CH₄ e N₂O –, que perfazem 99,5% da emissão total em kt CO₂ eq em 2022. A incerteza das emissões líquidas totais em 2022 é de 20,3%,

¹¹ Uncertainties (IPCC, 2006, cap. 3).

e a incerteza introduzida na tendência das emissões líquidas totais foi avaliada em 9,8%. Para detalhes consultar o Apêndice II.

A incerteza em torno das estimativas de emissões é maior para Agropecuária e LULUCF, assim refletindo a incerteza inerentemente alta em razão da própria natureza dos processos biológicos envolvidos, que determinaram maiores valores deste parâmetro sobre dados de atividade e fatores de emissão. Contudo, as incertezas estimadas tendem a ser baixas para o dióxido de carbono proveniente do consumo de energia, bem como de algumas emissões de processos industriais. A incerteza em torno das estimativas dessas fontes geralmente se situa entre 1% e 3%. Os intervalos calculados são consistentes com os intervalos típicos de incerteza esperados para cada setor, conforme identificado no IPCC (2006).

2.7 Avaliação geral da completude

O NIR 2024 apresenta uma avaliação abrangente das emissões e remoções antropogênicas de GEE de 1990 a 2022 no Brasil. De modo geral, trata-se de um inventário completo dos GEE exigidos pelos MPGs, quais sejam: CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs e SF₆, além dos gases precursores CO, NO_x e NMVOC.

Entretanto, as emissões de algumas categorias e do NF₃ não foram estimadas ou foram incluídas em outras categorias pelos seguintes motivos:

- Emissões que não ocorrem no país;
- Indisponibilidade de dados, como ocorre para emissões de NF₃ ao nível da produção de painéis fotovoltaicos; e
- Questões metodológicas específicas das circunstâncias nacionais.

De modo geral, o NIR 2024 contempla uma avaliação abrangente das emissões e remoções antropogênicas de GEE no Brasil. Contudo, as emissões de algumas categorias não foram estimadas (NE) ou tiveram valores atribuídos em outras categorias (IE), segundo razões descritas no Quadro 2.3 e Quadro 2.4, respectivamente.

Como parte do processo de aprimoramento do Inventário, são feitos esforços contínuos para identificar fontes de dados e metodologias adequadas ou aprimoradas para fornecer estimativas para as categorias NE.

Mais detalhes sobre a integridade do Inventário podem ser encontrados nos capítulos setoriais individuais, especificamente Seções 4.2, 5.2, 6.2, 7.2 e 8.2 dos capítulos setoriais de Energia, IPPU, Agropecuária, LULUCF e Resíduos, respectivamente.

Quadro 2.3. Emissões e remoções de GEE não estimadas (NE) no NIR 2024.¹²

GEE	SETOR	SUBSETOR/CATEGORIA IPCC	JUSTIFICATIVA/MELHORIA PROPOSTA
C ₂ F ₆	Processos Industriais e Uso de Produtos	2.E. Indústria Eletrônica / 2.E.3. Painéis Fotovoltaicos	As emissões não foram estimadas adiante da inexistência de dados de atividade pela incipiência da atividade produtiva no país. Será avaliada a possibilidade de estabelecer parcerias para permitir o acesso a dados com vistas à contabilização dessas emissões em edições futuras do Inventário.
CF ₄	Processos Industriais e Uso de Produtos	2.E. Indústria Eletrônica / 2.E.3. Painéis Fotovoltaicos	As emissões não foram estimadas diante da inexistência de dados de atividade pela incipiência da atividade produtiva no país. Será avaliada a possibilidade de estabelecer parcerias para permitir o acesso a dados com vistas à contabilização dessas emissões em edições futuras do Inventário.
C ₆ F ₁₄	Processos Industriais e Uso de Produtos	2.E. Indústria Eletrônica / 2.E.4. Fluido de Transferência de Calor	As emissões não foram estimadas diante da inexistência de dados de atividade pela incipiência da atividade produtiva no país. Será avaliada a possibilidade de estabelecer parcerias para permitir o acesso a dados com vistas à contabilização dessas emissões em edições futuras do Inventário.
CH ₄	Energia	1.B. Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis / 1.B.1.a. Mineração e manejo de carvão (1.B.1.a.i.3. Minas subterrâneas abandonadas)	Não há informações suficientes para a caracterização das minas abandonadas no país, assim não permitindo estimar emissões após o encerramento de suas atividades. Será avaliada a possibilidade de estabelecer parcerias para incentivar a produção e o acesso aos dados com vistas à contabilização destas emissões em edições futuras do Inventário.
CH ₄	Energia	1.B. Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis / 1.B.2.a. Petróleo (1.B.2.a.i. Exploração)	Inexistem dados em âmbito nacional que permitam estimar as emissões dessa subcategoria. Será avaliada a possibilidade de estabelecer parcerias para incentivar a produção e o acesso aos dados com vistas à contabilização destas emissões em edições futuras do Inventário.
CH ₄	Energia	1.B. Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis / 1.B.2.b. Gás Natural (1.B.2.b.i. Exploração)	Inexistem dados em âmbito nacional que permitam estimar as emissões dessa subcategoria. Será avaliada a possibilidade de estabelecer parcerias para incentivar a produção e o acesso aos dados com vistas à contabilização dessas emissões em edições futuras do Inventário.

¹² A estrutura de reporte apresentada neste NIR é consistente com as CRT: *Table 9 Completeness - Information on Notation Keys*.

GEE	SETOR	SUBSETOR/CATEGORIA IPCC	JUSTIFICATIVA/MELHORIA PROPOSTA
CH ₄ , CO ₂ , N ₂ O	Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas	4.A. Florestas / 4.B. Agricultura / 4.C. Campo/Pastagem / 4.F. Outras Terras	As emissões por incêndios em que não ocorre a conversão de classe de uso e cobertura da terra ainda não foram contabilizadas nos Inventários Nacionais de GEE. O acompanhamento da dinâmica das queimadas e da regeneração vegetal ao longo dos anos inventariados não é simples, pois demanda o acesso a imagens de satélite com maior periodicidade, além de dados científicos específicos de taxas de crescimento da vegetação. Além disso, a diferenciação de incêndios naturais e de causas antrópicas não é trivial. Será avaliada a possibilidade de incentivar a realização de estudos e metodologias que permitam, futuramente, contabilizar estas emissões.
CO ₂	Energia	1.B. Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis / 1.B.2.a. Petróleo (1.B.2.a.v. Distribuição de produtos de petróleo)	Inexistem dados em âmbito nacional que permitam estimar as emissões dessa subcategoria. Será avaliada a possibilidade de estabelecer parcerias para incentivar a produção e o acesso aos dados com vistas à contabilização destas emissões em edições futuras do Inventário.
CO ₂	Energia	1.B. Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis / 1.B.2.b. Gás Natural (1.B.2.b.v. Distribuição)	Inexistem dados em âmbito nacional que permitam estimar as emissões dessa subcategoria. Será avaliada a possibilidade de estabelecer parcerias para incentivar a produção e o acesso aos dados com vistas à contabilização destas emissões em edições futuras do Inventário.
CO ₂	Agropecuária	3.E. Queima Prescrita de Savanas	As emissões não foram estimadas porque a diferenciação da queima de savana por causas antrópicas ou naturais, bem como o acompanhamento da dinâmica dessas queimadas ao longo dos anos no território nacional, demanda o desenvolvimento de metodologia que assegure a adequada associação das queimadas às respectivas causas. Será avaliada a possibilidade de incentivar a realização de estudos e metodologias que permitam, futuramente, diferenciar as causas das queimadas, assim contabilizando estas emissões.
CO ₂	Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas	4.B. Agricultura / 4.B.1. Agricultura permanecendo Agricultura	As emissões e remoções de CO ₂ da Agricultura permanecendo Agricultura (4.B.1) não foram contabilizadas por indisponibilidade de dados especializados por tipo de cultivo para os períodos anteriores a 2022. Será avaliada a possibilidade de estabelecer parcerias para incentivar a produção e o acesso aos dados com vistas à contabilização destas emissões em edições futuras do Inventário.
HFC/PFC	Processos Industriais e Uso de Produtos	2.F. Usos de produtos como substitutos para substâncias destruidoras da camada de ozônio / 2.F.5. Solventes	Não puderam ser obtidos dados em razão da grande quantidade de variações nessa área e outros usos para as mesmas substâncias. Serão avaliadas metodologias que tratem da desagregação de importações de HFCs e PFCs por tipologia de solvente, o que poderá permitir a contabilização das emissões.

GEE	SETOR	SUBSETOR/CATEGORIA IPCC	JUSTIFICATIVA/MELHORIA PROPOSTA
NF ₃	Processos Industriais e Uso de Produtos	2.E. Indústria Eletrônica / 2.E.3. Painéis Fotovoltaicos	As emissões não foram estimadas diante da inexistência de dados de atividade pela incipiência da atividade produtiva no país. Será avaliada a possibilidade de estabelecer parcerias para permitir o acesso a dados com vistas à contabilização destas emissões em edições futuras do Inventário.
N ₂ O	Processos Industriais e Uso de Produtos	2.G. Fabricação e Uso de Outros Produtos / 2.G.3. N ₂ O dos Usos de Produto	As emissões não foram estimadas diante da inexistência de dados de atividade no país. Em próximas edições do Inventário serão estabelecidas parcerias com instituições do setor visando à coleta destes dados.
N ₂ O	Resíduos	5.D. Tratamento e Despejo de Águas Residuárias / 5.D.2. Águas Residuárias Industriais	Não há no IPCC fatores de emissão específicos para estimar emissões de N ₂ O a partir do tratamento e disposição de efluentes industriais. Será avaliada a possibilidade de estabelecer Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias para produção de FEs específicas visando à contabilização futura do gás no Inventário.

Nota: Não estimado (NE) inclui fontes e sumidouros que são indicados nas Diretrizes do IPCC de 2006 (IPCC, 2006), mas não são considerados neste Inventário.

Quadro 2.4. Emissões e remoções de GEE com valores atribuídos em outras categorias (IE) no NIR 2024.¹³

GEE	SUBSETOR/CATEGORIA IPCC	ALOCÇÃO DO IPCC (2006)	ALOCÇÃO ADOTADA NO INVENTÁRIO	JUSTIFICATIVA
CF ₄	2.E. Indústria Eletrônica / 2.E.1. Circuito Integrado ou Semicondutor	2.E.1. Circuito Integrado ou Semicondutor	2.E.5. Outros	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).
CF ₄	2.E. Indústria Eletrônica / 2.E.2. <i>Display</i> de Tela Plana TFT	2.E.2. <i>Display</i> de Tela Plana TFT	2.E.5. Outros	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).
CH ₄	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.1. Indústrias de Energia	1.A.1.a.i. Geração de Eletricidade	1.A.1.a. Produção Pública de Eletricidade e Calor	Apenas dados agregados estavam disponíveis.
CH ₄	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.1. Indústrias de Energia	1.A.1.a.ii. Geração combinada de calor e energia (CHP)	1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção	Apenas dados agregados estavam disponíveis.
CH ₄	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.1. Indústrias de Energia	1.A.1.a.iii. Plantas Geradoras de Calor	1.A.1.a. Produção pública de eletricidade e calor	Apenas dados agregados estavam disponíveis.
CH ₄	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção	1.A.2.g.iv. Madeira e Produtos de Madeira	1.A.2.d. Celulose, Papel e Impressão	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).
CH ₄	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção	1.A.2.g.vii. Veículos <i>Off-road</i> e outros maquinários	1.A.2.g.ii. Fabricação de Equipamentos de Transporte	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).

¹³ A estrutura de reporte apresentada neste NIR é consistente com as CRT: *Table 9 Completeness - Information on Notation Keys*.

GEE	SUBSETOR/CATEGORIA IPCC	ALOCÇÃO DO IPCC (2006)	ALOCÇÃO ADOTADA NO INVENTÁRIO	JUSTIFICATIVA
CH ₄	1.B. Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis / 1.B.2. Petróleo e Gás Natural	1.B.2.b. Produção (Gás Natural)	1.B.2.b.ii. Produção e Coleta	Os dados disponíveis permitem maior desagregação das emissões do que a proposta em IPCC (2006).
CH ₄	4.B. Agricultura / 4.B.1. Agricultura permanecendo Agricultura	4.B.1. Agricultura permanecendo Agricultura	3.F. Queima de Resíduos Agrícolas / 3.F.1. Cana-de-açúcar	Fitofisionomia em que as emissões de gases não-CO ₂ estão relacionadas com a queima de resíduos agrícolas, como ocorre para a cana-de-açúcar.
CH ₄	5.B. Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos / 5.B.2. Digestão Anaeróbia	5.B.2. Digestão Anaeróbia	1.A.4.c. Agricultura, silvicultura, pesca e piscicultura	O biogás é produzido e consumido no Brasil nos setores agrícolas.
CO ₂	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção	1.A.2.g.v. Construção	1.A.2.g.ii. Fabricação de Equipamentos de Transporte	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).
CO ₂	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.1. Indústrias de Energia	1.A.1.a.i. Geração de Eletricidade	1.A.1.a. Produção Pública de Eletricidade e Calor	Apenas dados agregados estavam disponíveis.
CO ₂	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.1. Indústrias de Energia	1.A.1.a.ii. Geração combinada de calor e energia (CHP)	1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção	Apenas dados agregados estavam disponíveis.
CO ₂	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.1. Indústrias de Energia	1.A.1.a.iii. Plantas Geradoras de Calor	1.A.1.a. Produção pública de eletricidade e calor	Apenas dados agregados estavam disponíveis.
CO ₂	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção	1.A.2.g.i. Fabricação de Maquinário	1.A.2.g.ii. Fabricação de Equipamentos de Transporte	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).

GEE	SUBSETOR/CATEGORIA IPCC	ALOCÇÃO DO IPCC (2006)	ALOCÇÃO ADOTADA NO INVENTÁRIO	JUSTIFICATIVA
CO ₂	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção	1.A.2.g.iv. Madeira e Produtos de Madeira	1.A.2.d. Celulose, Papel e Impressão	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).
CO ₂	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção	1.A.2.g.v. Construção	1.A.2.g.ii. Fabricação de Equipamentos de Transporte	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).
CO ₂	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção	1.A.2.g.vii. Veículos <i>Off-road</i> e outros maquinários	1.A.2.g.ii. Fabricação de Equipamentos de Transporte	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).
CO ₂	1.B. Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis / 1.B.2. Petróleo e Gás Natural	1.B.2.b. Produção (Gás Natural)	1.B.2.b.ii. Produção e Coleta	Os dados disponíveis permitem uma maior desagregação das emissões do que a proposta em IPCC (2006).
CO ₂	2.C. Indústria Metalúrgica / 2.C.5. Produção de Chumbo	2.C.5. Produção de Chumbo	2.C.7. Outros (metais não ferrosos, fora alumínio e magnésio)	Os dados foram obtidos de forma agregada, assim não permitindo o reporte pela categoria IPCC (2006).
CO ₂	2.D. Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes / 2.D.2. Uso de Cera de Parafina	2.D.2. Uso de Cera de Parafina	2.D.3. Outros	Os dados foram obtidos de forma agregada, assim não permitindo o reporte pela categoria IPCC (2006).
HFC	2.E. Indústria Eletrônica / 2.E.1. Circuito Integrado ou Semicondutor	2.E.1. Circuito Integrado ou Semicondutor	2.E.5. Outros	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).
HFC	2.E. Indústria Eletrônica / 2.E.2. <i>Display</i> de Tela Plana TFT	2.E.2. <i>Display</i> de Tela Plana TFT	2.E.5. Outros	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).
N ₂ O	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.1. Indústrias de Energia	1.A.1.a.i. Geração de Eletricidade	1.A.1.a. Produção Pública de Eletricidade e Calor	Apenas dados agregados estavam disponíveis.

GEE	SUBSETOR/CATEGORIA IPCC	ALOCÇÃO DO IPCC (2006)	ALOCÇÃO ADOTADA NO INVENTÁRIO	JUSTIFICATIVA
N ₂ O	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.1. Indústrias de Energia	1.A.1.a.ii. Geração combinada de calor e energia (CHP)	1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção	Apenas dados agregados estavam disponíveis.
N ₂ O	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.1. Indústrias de Energia	1.A.1.a.iii. Plantas Geradoras de Calor	1.A.1.a. Produção pública de eletricidade e calor	Apenas dados agregados estavam disponíveis.
N ₂ O	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção	1.A.2.g.iv. Madeira e Produtos de Madeira	1.A.2.d. Celulose, Papel e Impressão	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).
N ₂ O	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção	1.A.2.g.v. Construção	1.A.2.g.ii. Fabricação de Equipamentos de Transporte	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).
N ₂ O	1.A. Atividades de Queima de Combustíveis (Abordagem setorial) / 1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção	1.A.2.g.vii. Veículos <i>Off-road</i> e outros maquinários	1.A.2.g.ii. Fabricação de Equipamentos de Transporte	Os dados de atividade disponíveis não permitem a desagregação pela categoria IPCC (2006).
N ₂ O	3.C. Cultivo de Arroz / 3.C.1. Irrigado	3.C.1. Irrigado	3.D.1. Emissões Diretas de N ₂ O de Solos Manejados	Conforme IPCC (2006), as emissões de N ₂ O geradas a partir da digestão anaeróbia do cultivo de arroz irrigado devem ser alocadas à categoria de Solos Manejados.
N ₂ O	4.B. Agricultura / 4.B.1. Agricultura permanecendo Agricultura	4.B.1. Agricultura permanecendo Agricultura	3.F. Queima de Resíduos Agrícolas / 3.F.1. Cana-de-açúcar	Fitofisionomia em que as emissões de gases não-CO ₂ estão relacionadas com a queima de resíduos agrícolas, como ocorre para a cana-de-açúcar.

Nota: Emissões com valores atribuídos a outras categorias “IE” incluem fontes e sumidouros neste Inventário que são alocados a um setor diferente daquele indicado pelas Diretrizes do IPCC de 2006 (IPCC, 2006).

2.8 Informações sobre as métricas utilizadas

Em conformidade com a Decisão 18/CMA.1, todas as análises e os resultados apresentados em kt CO₂ eq nesse NIR 2024 utilizaram a métrica do Potencial de Aquecimento Global (GWP, sigla em inglês) para um horizonte temporal de 100 anos constantes do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (GWP AR5) (IPCC, 2014).

O GWP é uma medida da capacidade de um gás de efeito estufa de reter calor na atmosfera, em relação a uma mesma quantidade de CO₂, em determinado horizonte de tempo. Ele é expresso como fator que, multiplicado pela massa do gás, resulta em uma massa equivalente de CO₂ (CO₂ eq).

Os resultados dos inventários anteriores do Brasil foram apresentados em unidades equivalentes de CO₂, considerando os valores do GWP para um horizonte de 100 anos, publicados no Segundo Relatório de Avaliação do IPCC (SAR, sigla em inglês) (IPCC, 1995), segundo a Decisão 17/CP.8.

A partir do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2014), foram apresentados os valores para o Potencial de Mudança de Temperatura Global (GTP, sigla em inglês), que o Brasil também considera relevante. Segundo o IPCC, o GTP caracteriza-se por ser uma métrica baseada na mudança de temperatura, ou seja, está relacionada com a variação da temperatura média da superfície global, em um horizonte temporal selecionado, em resposta a um pulso de emissão de GEE.

Segundo o IPCC (2014), “a métrica e o horizonte de tempo mais adequados dependerão de quais aspectos da mudança do clima são considerados mais importantes a um uso em particular. Nenhuma métrica é capaz de comparar, de maneira precisa, todas as consequências de diferentes emissões e todas têm limitações e incertezas”. O IPCC afirma ainda que a métrica de GTP é mais adequada para políticas com base em metas de contenção do aquecimento global, enquanto o GWP não está diretamente relacionado a um limite de temperatura. Diante disso, a métrica de GTP seria a mais consistente para monitoramento de medidas que visam conter o aumento da temperatura média global abaixo de 2 °C em relação aos níveis pré-industriais.

Na Tabela 2.1, são apresentados os valores dos coeficientes por gás associados às diferentes métricas. A título de informação complementar, na Tabela 2.2 são demonstrados os resultados do NIR 2024 segundo as métricas GWP (SAR e AR5) e GTP (AR5).

Tabela 2.1. Fatores ou coeficientes por gás para GWP (100 anos) e GTP (100 anos).

GÁS	GWP 100 anos (SAR-1995)	GWP 100 anos (AR5-2014)	GTP 100 anos (AR5-2014)
CO ₂	1	1	1
CH ₄	21	28	4
N ₂ O	310	265	234
HFC-23	11.700	12.400	12.700
HFC-32	650	677	94
HFC-125	2.800	3.170	967
HFC-134a	1.300	1.300	201
HFC-143a	3.800	4.800	2.500
HFC-152a	140	138	19
HFC-227ea	3.220	3.350	1.460
HFC-365mfc	794	804	114
CF ₄	6.500	6.630	8.040
C ₂ F ₆	9.200	11.100	13.500
SF ₆	23.900	23.500	28.200

Tabela 2.2. Resultados do NIR 2024, em kt CO₂ eq, por setor e segundo as métricas GWP (AR5 e SAR) e GTP (AR5).

GWP (AR5)	1990	2000	2010	2020	2022	Varição 2020-2022 %
	kt CO ₂ eq					
1. Energia	196.119	291.613	377.678	390.210	418.451	+7,2%
2. Processos Industriais e Uso de Produtos	56.870	77.809	87.353	96.992	102.317	+5,5%
3. Agropecuária	394.743	440.797	538.559	583.740	622.014	+6,6%
4. Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas	908.066	1.184.464	277.144	665.084	805.694	+21,1%
5. Resíduos	32.596	54.006	72.073	88.735	90.761	+2,3%
TOTAL	1.588.395	2.048.689	1.352.807	1.824.760	2.039.236	+11,8%
GWP (SAR)	1990	2000	2010	2020	2022	Varição 2020-2022 %
	kt CO ₂ eq					
1. Energia	192.811	288.791	374.531	387.257	415.301	+7,2%
2. Processos Industriais e Uso de Produtos	56.920	78.418	87.101	96.690	101.985	+5,5%
3. Agropecuária	329.613	370.335	458.343	505.318	537.110	+6,3%
4. Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas	899.560	1.172.613	271.319	657.591	797.319	+21,2%
5. Resíduos	25.159	41.523	55.325	67.790	69.252	+2,2%
TOTAL	1.504.063	1.951.680	1.246.619	1.714.646	1.920.966	+12,0%
GTP (AR5)	1990	2000	2010	2020	2022	Varição 2020-2022
	kt CO ₂ eq					
1. Energia	182.644	279.136	362.151	374.757	402.201	+7,3%
2. Processos Industriais e Uso de Produtos	56.060	76.070	84.057	89.684	94.201	+5,0%
3. Agropecuária	119.622	137.463	178.593	213.252	226.441	+6,2%
4. Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas	870.113	1.131.765	251.117	631.719	768.349	+21,6%
5. Resíduos	6.135	9.896	13.016	15.089	15.259	+1,1%
TOTAL	1.234.573	1.634.330	888.934	1.324.500	1.506.451	+13,7%

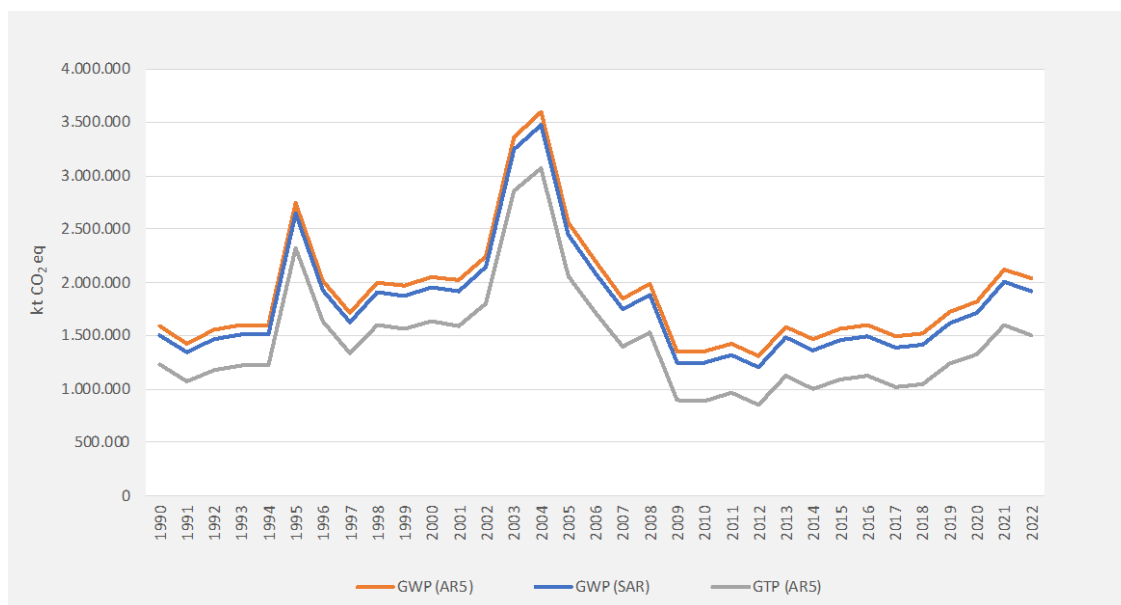


Figura 2.9. Evolução das emissões em kt CO₂ eq pelas métricas GWP-AR5, GWP-SAR e GTP-AR5, de 1990 a 2022.

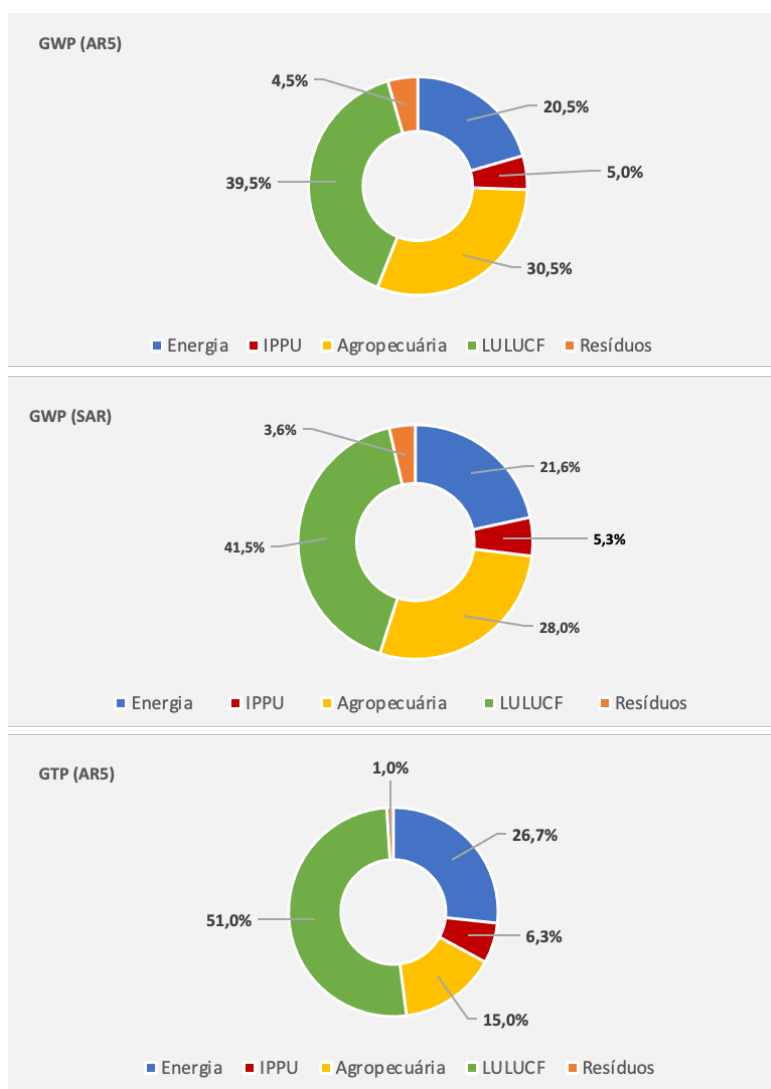


Figura 2.10. Participação dos setores nas emissões pelas métricas GWP-AR5, GWP-SAR e GTP-AR5, em 2022.

2.9 Informações sobre as disposições de flexibilidade

Com o objetivo de promover uma participação universal, o ETF e suas MPGs incluem uma flexibilidade inerente que leva em consideração as diferentes capacidades das Partes e se baseia na experiência coletiva dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. As MPGs especificam as disposições de flexibilidade disponíveis para as Partes que são países em desenvolvimento e que assim necessitem, à luz de suas capacidades, conforme disposto no Artigo 13, parágrafo 2.

A aplicação da flexibilidade prevista nas disposições das MPGs para as Partes que são países em desenvolvimento deve ser autodeterminada, ou seja, o país determinará quando a flexibilidade poderá ser aplicada à luz de sua(s) restrição(ões) de capacidade e sempre em relação a um requisito de relatório específico que tenha a possibilidade de aplicar tal flexibilidade.

Ao proceder dessa forma, os países em desenvolvimento devem indicar, claramente, a provisão à qual a flexibilidade é aplicada, esclarecer concisamente as restrições de capacidade, observando que algumas restrições podem ser relevantes para várias disposições, e fornecer prazos estimados e autodeterminados para melhorias em relação a essas restrições de capacidade.

O Quadro 2.5 apresenta uma visão geral das disposições de flexibilidade específicas do Brasil, considerando o NIR 2024.

Quadro 2.5. Disposição de flexibilidade utilizada pelo Brasil para elaboração do Inventário Nacional.

Referência MPG (Anexo da Decisão 18/ CMA.1)	Disposições nas MPGs	Indicação da disposição de flexibilidade utilizada pelo Brasil, à luz de suas capacidades
Parágrafo 25 <i>Análise de categoria-chave</i>	As Partes devem implementar a análise de categoria-chave consistente com as diretrizes do IPCC (ou seja, aplicar o limite de 95% definido nas Diretrizes do IPCC).	Flexibilidade não utilizada pelo país. Foi utilizado o limite de 95% para identificação das categorias, conforme Diretrizes do IPCC.
Parágrafo 29 <i>Avaliação de incerteza</i>	As Partes devem estimar quantitativamente e discutir qualitativamente a incerteza das estimativas de emissão e remoção para todas as categorias, incluindo totais de inventário, pelo menos para o ano inicial e o último ano de relatório da série temporal do inventário e, também, devem estimar a incerteza de tendência para essas mesmas categorias/totais de inventário para toda a série temporal.	Flexibilidade não utilizada pelo país. O Brasil estimou as incertezas do Inventário, para todas as categorias para o ano inicial (1990) e para o último ano da série histórica (2022).
Parágrafo 32 <i>Uso da sigla “NE” (não estimado)</i>	Uma categoria só deve ser considerada insignificante se o nível provável de emissões for inferior a 0,05% do total nacional de emissões de gases de efeito estufa, excluindo LULUCF, ou 500 kt de CO ₂ equivalentes, o que for menor. O total nacional agregado de emissões estimadas para todos os gases de categorias consideradas insignificantes deve permanecer abaixo de 0,1% do total nacional de emissões de GEE, excluindo o LULUCF.	Flexibilidade não utilizada pelo país. O país não utilizou a flexibilidade para não estimar categorias consideradas como insignificantes. Em todas as categorias para as quais existiam dados, as emissões foram estimadas e contabilizadas no Inventário, sem considerar seu grau de significância. Para todas as categorias levantadas pelo país como não estimadas, conforme Seção 2.7, o Brasil envidará esforços para aprimorar as estimativas nos inventários subsequentes.
Parágrafo 34 <i>Garantia de qualidade / Controle de qualidade</i>	As Partes devem elaborar um plano de garantia de qualidade e controle de qualidade de Inventário de acordo com as diretrizes do IPCC, incluindo informações sobre a agência de inventário responsável pela implementação desses controles.	Flexibilidade não utilizada pelo país. O Brasil possui um plano de garantia de qualidade e controle de qualidade do Inventário. O MCTI é responsável pela implementação deste plano.
Parágrafo 35 <i>Garantia de qualidade / Controle de qualidade</i>	As Partes devem implementar e fornecer informações sobre os procedimentos gerais de controle de qualidade de Inventário de acordo com o plano de garantia de qualidade / controle de qualidade e as Diretrizes do IPCC.	Flexibilidade não utilizada pelo país. O Brasil implementa o plano de garantia de qualidade e controle de qualidade do Inventário.

Referência MPG (Anexo da Decisão 18/ CMA.1)	Disposições nas MPGs	Indicação da disposição de flexibilidade utilizada pelo Brasil, à luz de suas capacidades
Parágrafo 48 <i>Gases</i>	As Partes devem reportar sete gases: CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs, PFCs, SF ₆ e NF ₃ .	Flexibilidade utilizada pelo país. Foram relatados todos os gases incluídos na NDC do Brasil, de acordo com o Artigo 4º do Acordo de Paris. Todavia, as emissões de NF ₃ não foram estimadas diante da inexistência de dados de atividade pela incipiência da atividade produtiva no país. Como plano de ação está prevista a articulação com as instituições responsáveis pelas fontes emissoras de NF ₃ , com o objetivo de realizar o levantamento dos dados necessários ao longo dos próximos dois anos. Esses dados serão posteriormente analisados e os resultados apresentados em 2028.
Parágrafo 57 <i>Séries temporais</i>	As Partes devem relatar uma série temporal anual consistente com início a partir de 1990.	Flexibilidade não utilizada pelo país. A série temporal anual inicia-se em 1990.
Parágrafo 58 <i>Ano de relatório</i>	O último ano de relatório não deve ser superior a dois anos antes da submissão do relatório do Inventário Nacional.	Flexibilidade não utilizada pelo país. O último ano de relatório (2022) não é superior a dois anos antes da apresentação do relatório (2024).

3 TENDÊNCIAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE

3.1 Tendências agregadas de emissões e remoções de GEE

As emissões líquidas totais brasileiras foram de 2.039.236 kt CO₂ eq em 2022, resultado 11,8% acima do estimado para 2020 (1.824.760 kt CO₂ eq). Essas emissões totais, apresentadas na Tabela 3.1, diminuíram 20,4% (ou -522.010 kt CO₂ eq) perante 2005. Em relação aos níveis verificados naquele ano, houve redução significativa das emissões do Setor LULUCF, relacionada, principalmente, à diminuição do desmatamento, o que decorreu, sobretudo, pela adoção de Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas.

Tabela 3.1. Emissões líquidas do Brasil por setor com LULUCF, em kt CO₂ eq, anos selecionados.

SETOR/CATEGORIAS	1990	2005	2016	2020	2022
	EMISSIONES LÍQUIDAS (kt CO ₂ eq)				
TOTAL	1.588.395	2.561.246	1.603.968	1.824.760	2.039.236
1. ENERGIA	196.119	318.363	424.610	390.210	418.451
1.A. Queima de combustíveis	187.161	299.732	403.235	369.462	395.626
1.A.1. Indústrias de energia	25.308	48.620	78.925	68.134	56.565
1.A.2. Indústria de transformação e construção	37.633	65.396	71.952	62.697	69.116
1.A.3. Transporte	85.195	139.226	204.239	187.220	217.378
1.A.4. e 1.A.5. Outros setores e não especificado	39.025	46.489	48.119	51.411	52.567
1.B. Emissões fugitivas	8.959	18.630	21.375	20.748	22.824
2. IPPU	56.870	83.335	93.931	96.992	102.317
2.A. Indústria mineral	15.170	20.444	29.715	32.070	32.993
2.B. Indústria química	8.379	13.195	8.470	7.155	7.021
2.C. Indústria metalúrgica	32.673	47.614	48.925	48.739	52.226
2.D. Produtos não energéticos de combustíveis e solventes	520	661	763	820	843
2.E. Indústria eletrônica	0	0	0	3	1
2.F. Uso de produtos como substitutos de SDO ¹	0	1.234	5.768	7.879	8.891
2.G. Fabricação e uso de outros produtos	128	187	290	325	343
3. AGROPECUÁRIA	394.743	520.260	567.146	583.740	622.014
3.A. Fermentação entérica	284.981	370.824	376.932	376.720	404.062
3.B. Manejo de dejetos animais	17.801	21.951	27.716	27.713	29.012
3.C. Cultivo de arroz	9.271	10.796	11.159	11.779	11.901
3.D. Solos manejados	71.071	104.417	131.056	141.045	145.078
3.F. Queima de resíduos agrícolas	1.848	2.296	551	473	477
3.G. Calagem	9.141	8.097	15.844	21.593	27.087
3.H. Aplicação de ureia	631	1.878	3.888	4.417	4.397
4. LULUCF	908.066	1.573.714	436.546	665.084	805.694
4.A. Floresta	-43.666	-269.055	-345.479	-326.825	-312.125
4.B. Agricultura	79.305	196.422	138.607	157.403	184.499
4.C. Campo/Pastagem	876.829	1.673.983	658.720	855.213	959.862
4.D. Áreas úmidas	6.412	12.326	8.745	10.601	11.675

SETOR/CATEGORIAS	1990	2005	2016	2020	2022
	EMISSIONES LÍQUIDAS (kt CO ₂ eq)				
4.E. Assentamentos	6.896	7.067	5.154	5.008	5.670
4.F. Outras terras	1.275	5.021	8.998	11.740	12.620
4.G. Produtos florestais madeireiros	-18.984	-52.050	-38.198	-48.056	-56.507
5. RESÍDUOS	32.596	65.574	81.735	88.735	90.761
5.A. Disposição de resíduos sólidos	13.186	35.658	45.798	49.824	53.421
5.B. Tratamento biológico de resíduos	18	49	56	63	61
5.C. Incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos	1.151	2.014	1.272	1.326	1.224
5.D. Tratamento e despejo de águas residuárias	18.241	27.854	34.608	37.522	36.056

Notas: SDO – Substâncias destruidoras da camada de ozônio.

As emissões líquidas do Brasil atingiram o pico de 3.596.053 kt CO₂ eq em 2004, reduzindo, progressivamente, o volume emitido até 2012 (1.305.805 kt CO₂ eq). Sobretudo a partir de 2018 as emissões crescem, atingindo o volume total de 2.039.236 kt CO₂ eq em 2022 (Figura 3.1), com destaque para o aumento 11,8% em 2022 relativamente a 2020.

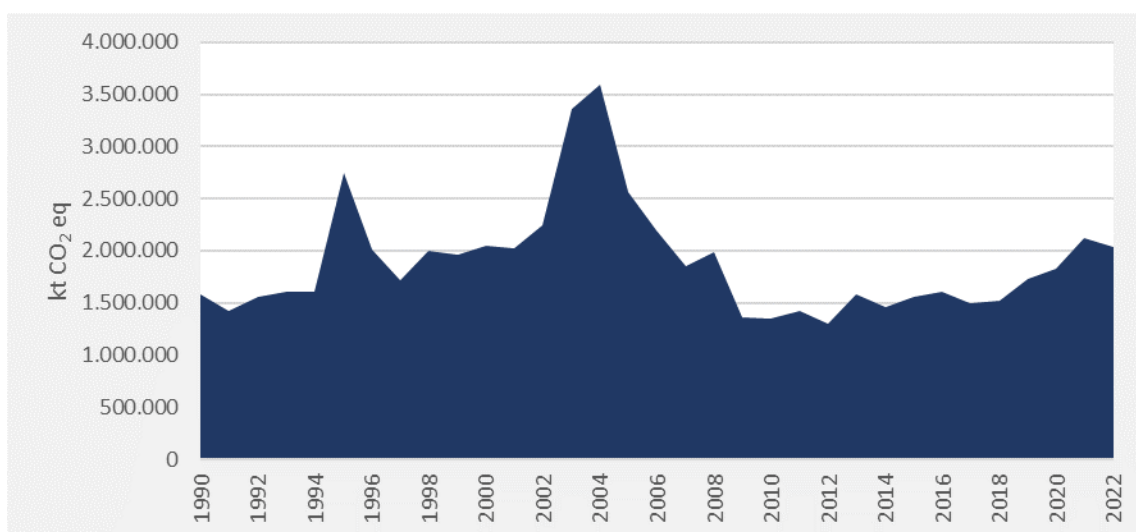


Figura 3.1. Emissões líquidas totais anuais, Brasil, em kt CO₂ eq.

Os principais elementos que explicam o aumento das emissões entre 2020 e 2022 são:

- Redução do consumo de biocombustíveis e aumento do uso de gasolina e diesel mineral no transporte em relação aos níveis pré-pandemia da COVID-19;
- Aumento do consumo de querosene na aviação doméstica após queda de 43% entre 2019-2020;
- Recuperação do nível de atividade produtiva pós-pandemia da COVID-19 nos Subsetores da Indústria Mineral e Indústria Metalúrgica, que representaram 83% das emissões de IPPU em 2022;

- Crescimento da população bovina e da produção agrícola, que impactam as emissões da fermentação entérica, manejo de dejetos, solos e aplicação de fertilizantes sintéticos e calagem;
- Área total desmatada na Amazônia e Cerrado aumentou de 18,8 mil km² para 22,3 mil km² entre 2020 e 2022; e
- Ampliação da destinação de resíduos sólidos para aterros sanitários e controlados diante do fechamento de lixões, assim como ampliação da população atendida com coleta de resíduos.

O maior aumento, segundo categorias emissoras ocorreu em Transporte, sendo impulsionado pelo crescimento da proporção do transporte individual motorizado (motocicletas e automóveis) na frota circulante em detrimento da redução do uso do transporte coletivo. Esse efeito foi mais intensivo no intervalo 2009-2014, arrefecendo, nos anos seguintes, pela perda de intensidade no consumo de diesel e gasolina mineral, em conjunto com os seguidos incrementos do consumo de biodiesel e etanol anidro¹⁴ e hidratado. Após o pico de emissões em 2012, a categoria Aviação Doméstica estabilizou suas emissões nos anos seguintes, parte em decorrência da estabilização da quantidade de passageiros domésticos transportados, com maior impacto em 2020, com a maior incidência das medidas restritivas frente à pandemia da COVID-19.

Apesar do aumento verificado nas emissões em 2022 relativamente a 2020, no particular das Indústrias de Energia, as emissões caíram 17%, puxadas pela subcategoria Produção de Eletricidade e Calor como Atividade Principal, com queda de 30%. Esse desempenho decorreu da expansão da geração eólica (43%) e solar (100%) no período. Nessa linha, a matriz elétrica brasileira atingiu 88% de renovabilidade em 2022, ante 85% em 2020 (EPE, 2023).

3.1.1 Evolução da série histórica com LULUCF

Ao analisar a série histórica das emissões nacionais, verifica-se um perfil diferenciado com relação a países desenvolvidos, com 70% do valor estimado em 2022 ocorrendo nos Setores LULUCF e Agropecuária; 25% em Energia e IPPU; e 5% em Resíduos.

¹⁴ Em mistura com a gasolina mineral.

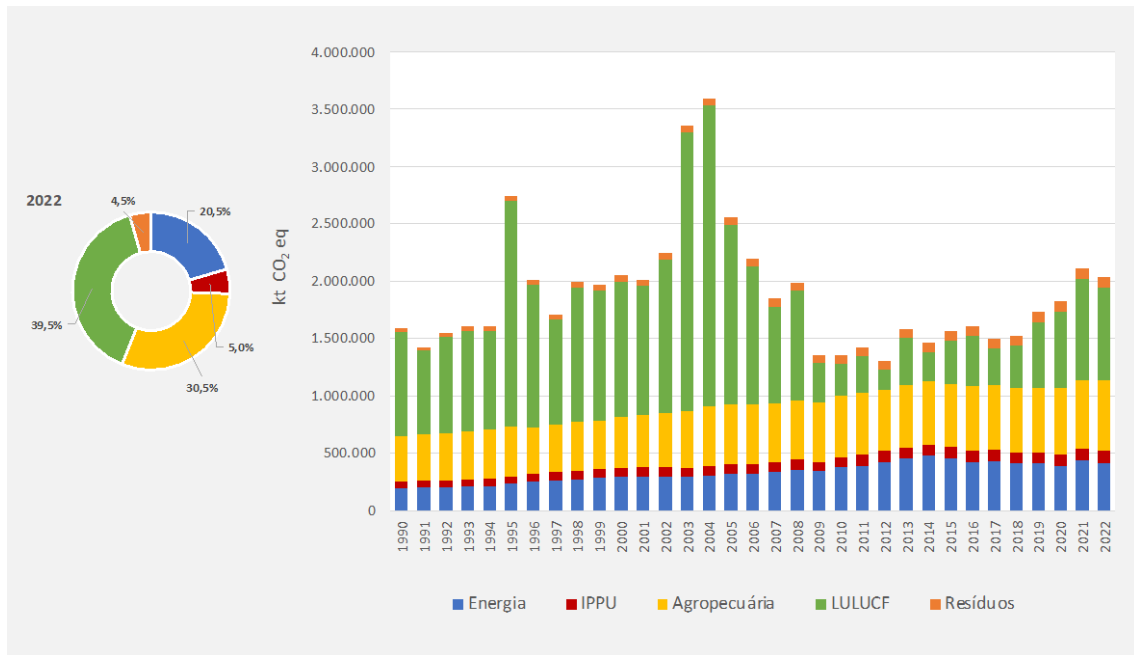


Figura 3.2. Emissões líquidas por setor com LULUCF, em kt CO₂ eq.

Após o pico verificado em 2004 (2.624.326 kt CO₂ eq), as emissões atmosféricas do Setor LULUCF (CRT 4) regrediram 93% até 2012 (172.897 kt CO₂ eq). A partir desse ano, as emissões do setor voltaram a crescer, atingindo 805.694 kt CO₂ eq em 2022. Os demais setores apresentaram tendências estáveis, com destaque para o Setor Agropecuária (CRT 3), apesar do crescimento da população bovina.

3.1.2 Evolução da série histórica excluindo LULUCF

Ao excluir o Setor LULUCF, nota-se um crescimento contínuo nas emissões setoriais até 2014 (1.205.750 kt CO₂ eq), com redução consistente até 2020 (1.159.677 kt CO₂ eq), ano impactado pelas medidas restritivas da pandemia de COVID-19.

A partir de 2020, as emissões dos setores selecionados tornaram a crescer, atingindo 1.233.542 kt CO₂ eq em 2022. Nesse recorte pós-pandemia, as maiores altas foram verificadas nos Setores Energia e Agropecuária, com 7,2% e 6,6%, respectivamente.

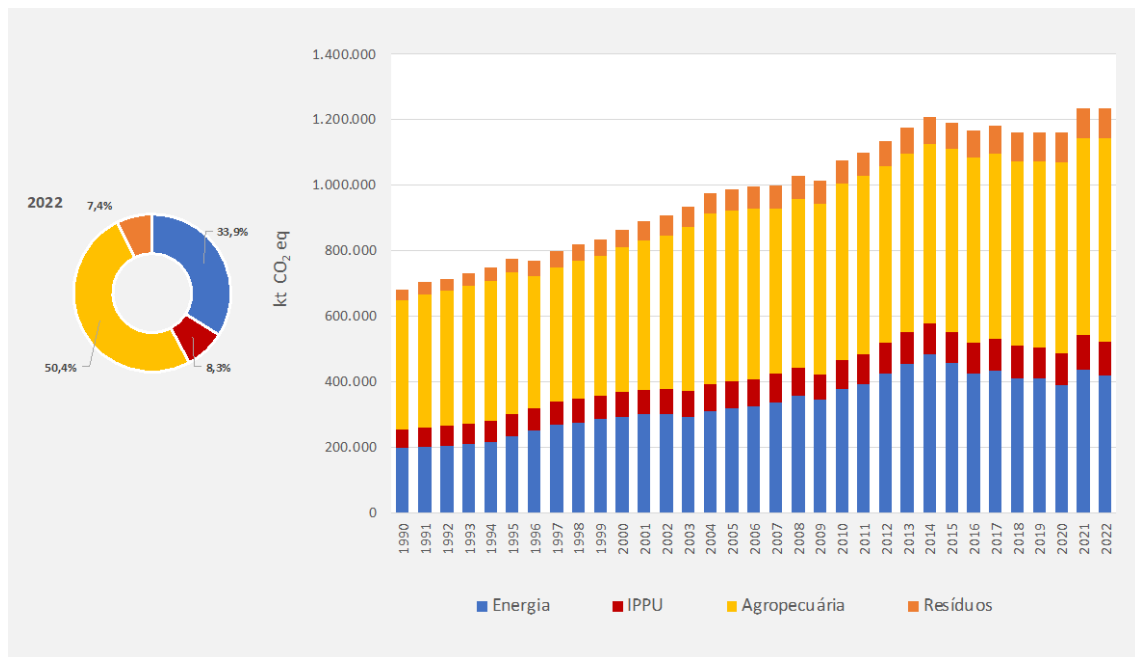


Figura 3.3. Emissões líquidas por setor, excluindo LULUCF, em kt CO₂ eq.

Ao desconsiderar o setor mais relevante em termos das emissões na série histórica (LULUCF), tem-se que a Agropecuária responde pela maior parcela das emissões totais brasileiras, com 50,4% (622.014 kt CO₂ eq) em 2022. Em seguida, o Setor Energia, atingindo 33,9% do total (418.451 kt CO₂ eq). Os Setores IPPU e Resíduos contabilizaram 8,3% (102.317 kt CO₂ eq) e 7,4% (90.761 kt CO₂ eq), respectivamente.

O subsetor de maior relevância para as emissões da Agropecuária é a Fermentação Entérica, responsável por 69% das emissões totais de CH₄ do Brasil em 2022. Em particular nessa categoria-chave, destacam-se avanços obtidos em termos de eficiência e sustentabilidade de seus sistemas produtivos, que se refletiram em ganhos de produtividade. Entre 1990 e 2022, houve redução de 11% na emissão de metano entérico por cabeça de gado.

3.2 Tendências das emissões e remoções de GEE por gases e setores

3.2.1 Evolução da série histórica por gases e setores

As emissões de CO₂ resultaram de atividades relacionadas, principalmente, com o uso energético de combustíveis fósseis e as mudanças do uso e cobertura da terra. Outras fontes que compõem as emissões de CO₂ são os processos industriais de produção de ferro-gusa e aço, cimento, cal, barrilha, amônia e alumínio, bem como a utilização de fertilizantes na agricultura e a incineração ou queima de resíduos sólidos. Por sua vez, as remoções por sumidouros são identificadas no setor LULUCF.

A Figura 3.4 mostra a evolução histórica das emissões brutas e remoções totais brasileiras de 1990 a 2022, considerando o gás CO₂. Por sua vez, a Figura 3.5 apresenta as emissões líquidas por setor no mesmo período.

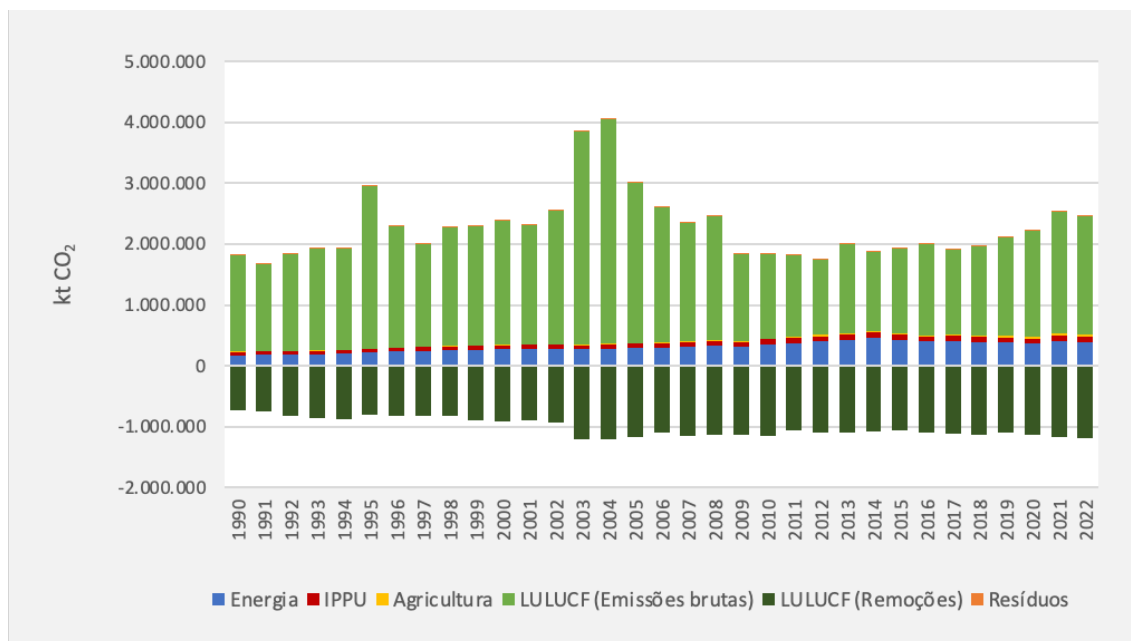


Figura 3.4. Emissões e remoções de CO₂ por setor, em kt.

Em termos totais, as emissões brutas e remoções totalizaram 2.453.845 kt CO₂ e 1.187.714 kt CO₂ em 2022, respectivamente, assim resultando em emissões líquidas que atingiram 1.266.131 kt CO₂, resultado 15,7% acima do estimado para 2020 (1.094.677 kt CO₂). No que trata das emissões líquidas, o Setor LULUCF respondeu por 59,4% das emissões totais de CO₂ (751.467 kt CO₂) em 2022. Em seguida, o Setor Energia contabilizou 30,9% das emissões (391.193 kt CO₂), enquanto IPPU respondeu por 7,2% (91.483 kt CO₂). O Setor Agropecuária, o segundo em termos de emissão de CO₂ equivalente (31%), correspondeu a somente 2,5% das emissões de CO₂. Resíduos, por sua vez, representou 0,04% do volume emitido de CO₂.

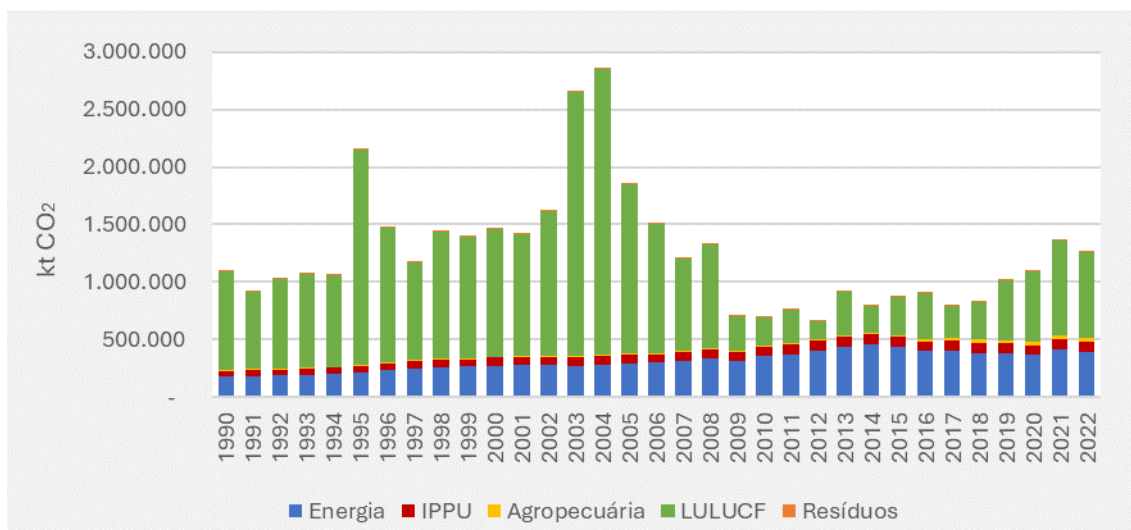


Figura 3.5. Emissões líquidas de CO₂ por setor, em kt.

A partir de 2005, houve redução significativa nas emissões do Setor LULUCF, relacionada principalmente à diminuição do desmatamento, o que contribuiu para o aumento da participação relativa do Setor Energia nas emissões totais de CO₂ até 2017. Entre 2018 e 2021, as emissões de

CO₂ em LULUCF aumentam sua participação, tendo em vista o crescimento nas taxas de desmatamento nos biomas Amazônia e Cerrado, tendência que é revertida a partir de 2022.

A Tabela 3.2 resume os resultados das emissões de CO₂, por setor.

Tabela 3.2. Resultados das emissões líquidas de CO₂, por setor.

Setor	1990	1995	2000	2005	2010	2016	2020	2022	2022 /2020
	kt CO ₂								%
Energia	177.047	216.612	272.800	293.505	352.767	399.958	364.226	391.193	7,4%
IPPU	48.558	57.189	69.165	72.795	82.049	86.285	87.215	91.483	4,9%
Agropecuária	9.771	6.765	10.645	9.975	13.698	19.732	26.010	31.484	21,0%
LULUCF	852.933	1.865.092	1.108.079	1.474.209	239.301	398.371	616.678	751.467	21,9%
Resíduos	535	587	926	1.108	1.154	507	548	504	-8,0%
Emissão líquida total	1.088.844	2.146.245	1.461.615	1.851.592	688.969	904.853	1.094.677	1.266.131	15,7%

As emissões nacionais de CH₄ são oriundas de atividades agropecuárias, da mudança do uso e cobertura da terra, do tratamento de resíduos, de alguns processos industriais, além da extração e refino de petróleo e gás natural.

No Setor Energia, as emissões de CH₄ ocorrem em decorrência da queima imperfeita de combustíveis e em razão da fuga de CH₄ durante os processos de produção e transporte de gás natural e mineração de carvão. No Setor IPPU, as emissões de CH₄ ocorrem durante a produção de petroquímicos. As emissões de CH₄ oriundas do Setor Agropecuária estão associadas à fermentação entérica (eructação) do rebanho nacional, bem como ao manejo de dejetos de animais e ao cultivo do arroz. No Setor LULUCF, as emissões de CH₄ ocorrem pela queima da biomassa associada à dinâmica de uso e cobertura da terra, enquanto no Setor Resíduos decorrem principalmente da disposição de resíduos sólidos.

As emissões totais brasileiras de CH₄ são apresentadas na Figura 3.6. Em termos totais, as emissões em 2022 atingiram 21.063 kt CH₄, resultado 6,6% acima do estimado para 2020 (19.758 kt CH₄). O Setor Agropecuária respondeu pela maior parcela das emissões totais de CH₄ (74,8% em 2022 ou 15.754 kt CH₄). Em seguida, o Setor Resíduos contabilizou 14,9% das emissões de CH₄ (3.134 kt CH₄). LULUCF contabilizou 7,1% (1.496 kt CH₄), enquanto Energia e IPPU corresponderam a 3% (643 kt CH₄) e 0,2% (36 kt CH₄), respectivamente.

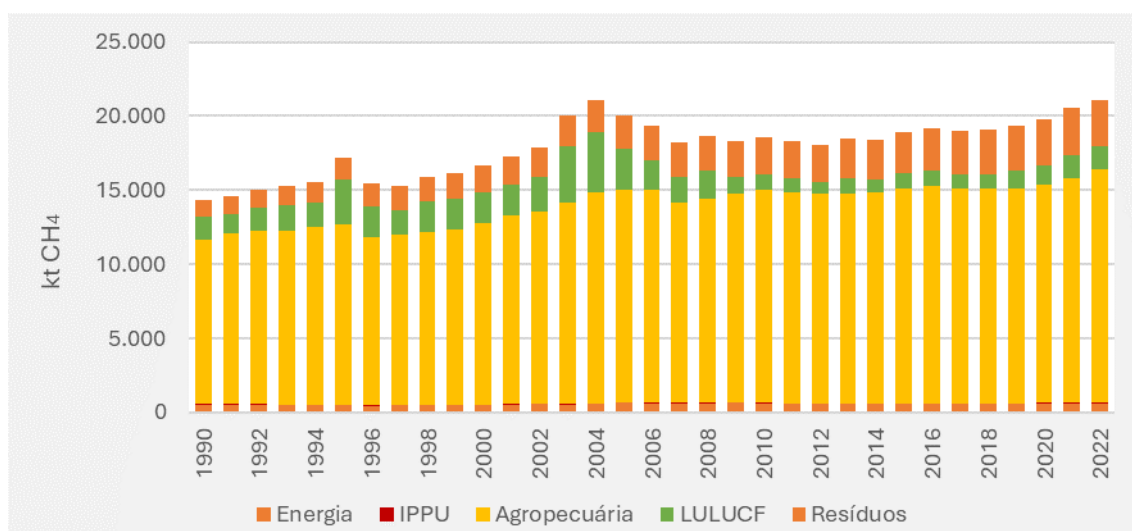


Figura 3.6. Emissões de CH₄ por setor, em kt.

Em termos de tendência das emissões de CH₄, observa-se crescimento da participação de LULUCF em relação aos demais setores até 2004, com queda de 2005 até 2017 em função da redução nas taxas de desmatamento. A Agropecuária é a principal emissora do gás, contudo, mantém participação relativamente constante na emissão total entre 2005 e 2022, apesar do crescimento de 15% na população bovina no período, o que reflete ganhos de eficiência produtiva, podendo-se exemplificar a ampliação dos sistemas de gado leiteiro de alta produção e do confinamento bovino.

A Tabela 3.3 resume os resultados das emissões de CH₄, por setor.

Tabela 3.3. Resultados das emissões de CH₄, por setor.

Setor	1990	1995	2000	2005	2010	2016	2020	2022	2022 /2020
	kt CH ₄								%
Energia	543	464	497	660	610	558	600	643	7,2%
IPPU	43	38	41	51	42	35	36	36	-0,2%
Agropecuária	11.102	12.180	12.208	14.353	14.407	14.712	14.729	15.754	7,0%
LULUCF	1.520	2.996	2.112	2.752	1.042	1.052	1.337	1.496	11,9%
Resíduos	1.096	1.474	1.829	2.227	2.449	2.812	3.056	3.134	2,5%
Emissão líquida total	14.304	17.151	16.687	20.043	18.550	19.168	19.758	21.063	6,6%

As emissões nacionais de N₂O resultaram da aplicação de fertilizantes sintéticos e orgânicos no solo, bem como do tratamento de efluentes domésticos, queima de combustíveis fósseis e de biomassa, processos industriais e mudança do uso e cobertura da terra.

O Setor Agropecuária respondeu com 85,9% (564 kt N₂O) das emissões totais de N₂O. LULUCF correspondeu a 7,1% (47 kt N₂O) e o Setor Energia contabilizou 5,3% do total (35 kt N₂O). Resíduos e IPPU responderam por 1,4% (9,5 kt N₂O) e 0,2% (1,2 kt N₂O), respectivamente.

No Setor Energia, as emissões totais do gás em 2022 decorreram, basicamente, da queima imperfeita de combustíveis.

No Setor IPPU, as emissões de N₂O ocorrem durante a produção de ácido nítrico e ácido adípico – muito reduzidas nesses dois casos em decorrência de projetos do Mecanismo de

Desenvolvimento Limpo (MDL), implementados a partir de 2007 para redução de emissões – e na produção de metais. Em conjunto, essas atividades representaram 1,4% das emissões totais de N₂O em 2022 (9,5 kt N₂O).

As emissões de N₂O do Setor Agropecuária corresponderam a 567 kt N₂O em 2022, representando 85,9% das emissões desse gás do país. No setor, as emissões diretas pelo manejo de solos agrícolas responderam por 74,8%; e as emissões indiretas, por 22,2%, enquanto as emissões provenientes do manejo de dejetos animais e da queima de resíduos agrícolas corresponderam a 2,8% e 0,2% do total, respectivamente.

No Setor LULUCF, as emissões de N₂O ocorrem pela queima da biomassa associada à dinâmica de uso e cobertura da terra. Essas emissões representaram 7,1% do total de emissões de N₂O em 2022 (47 kt N₂O).

No Setor Resíduos, as emissões de N₂O ocorrem, basicamente, em razão da presença de nitrogênio na proteína de consumo humano, que termina lançado no solo ou em corpos d'água. Uma fração menor foi proveniente da incineração de resíduos. Resíduos respondeu por 1,4% (9,5 kt N₂O) e das emissões deste gás em 2022.

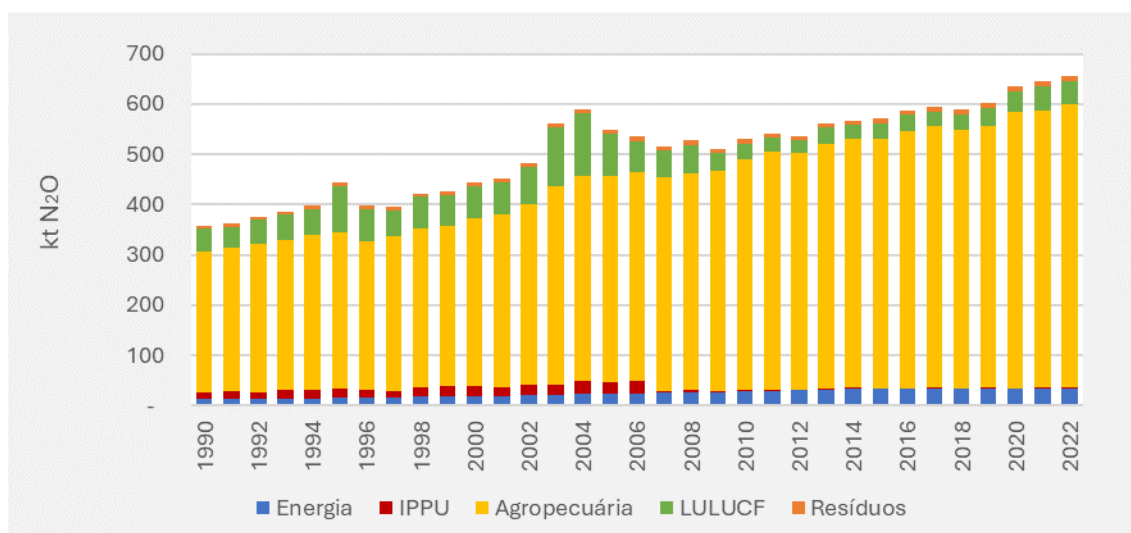


Figura 3.7. Emissões de N₂O por setor, em kt.

Como mencionado, as emissões de N₂O ocorrem majoritariamente na Agropecuária, contudo, há crescimento na participação do Setor LULUCF até 2004 e a partir de 2018, fruto da queima de biomassa que sucede ao desmatamento para conversão da área de Florestas em Campo/Pastagem e Agricultura.

A Tabela 3.4 resume os resultados das emissões de N₂O, por setor.

Tabela 3.4. Resultados das emissões de N₂O, por setor.

Setor	1990	1995	2000	2005	2010	2016	2020	2022	2022 /2020
	kt N ₂ O								%

Energia	14	15	18	23	29	33	34	35	4,0%
IPPU	12	18	21	24	2	1	1	1	0,7%
Agropecuária	280	313	333	409	458	511	548	564	2,8%
LULUCF	47	91	65	85	33	33	41	47	12,4%
Resíduos	5	6	7	8	9	9	10	9	-4,2%
Emissão líquida total	358	444	444	549	530	588	635	656	3,4%

Os gases HFCs, PFCs e SF₆ não existem originalmente na natureza, sendo sintetizados por atividades humanas. As emissões de HFCs decorrem majoritariamente do uso de ar-condicionado e atividades de refrigeração. As emissões de PFCs ocorrem durante o processo produtivo de alumínio primário. Na outra vertente, as emissões de SF₆ foram estimadas quanto a vazamentos do gás em equipamentos elétricos de alta tensão.

A Figura 3.8 ilustra a trajetória das emissões de HFCs, PFCs e SF₆. Todas as atividades envolvendo as emissões desses gases pertencem ao Setor IPPU.

Entre 2020 e 2022, as emissões de HFCs cresceram 12,8%, atingindo 8.892 kt CO₂ eq, apresentando crescimento ininterrupto desde 2002. No mesmo intervalo, as emissões de PFCs aumentaram 11,3% (278 kt CO₂ eq), enquanto o volume emitido de SF₆ cresceu 5,4%, atingindo 343 kt CO₂ eq.

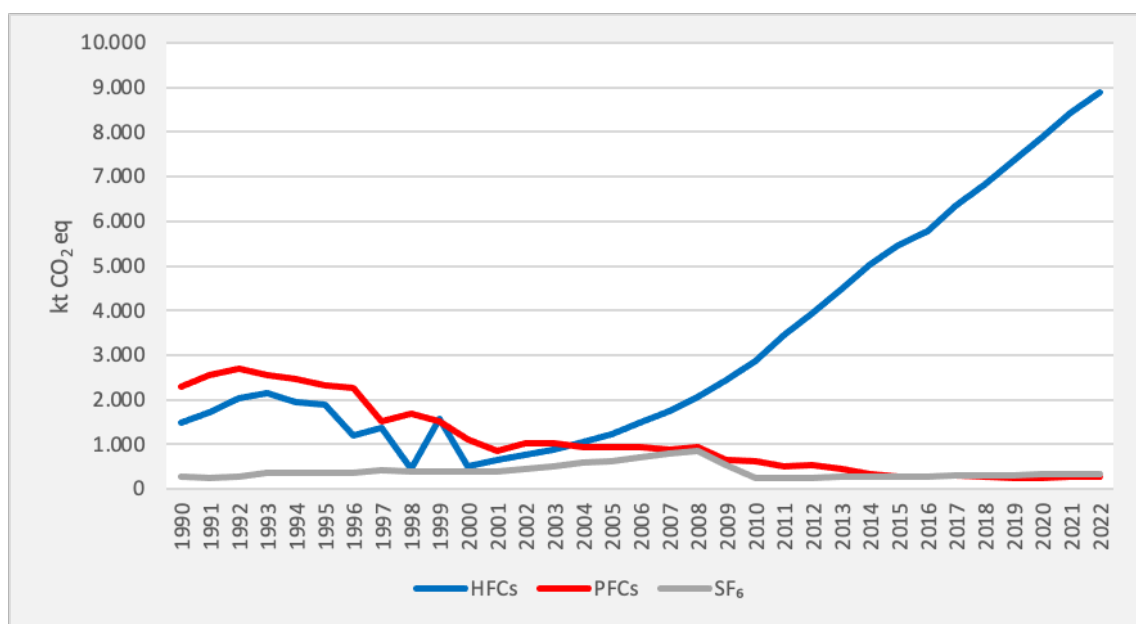


Figura 3.8. Emissões de HFCs, PFCs e SF₆ por setor, em kt CO₂ eq.

De 2000 a 2022, as emissões de HFCs aumentaram consistentemente por causa da substituição dos gases CFCs, destruidores da camada de ozônio, tendência semelhante à observada no restante do mundo. A principal contribuição dessa família de gases foi proveniente do uso de HFC-134a na categoria ar-condicionado e refrigeração, sendo particularmente explicada pela carga média de refrigerante e crescimento da fração da frota veicular com sistema de ar-condicionado embarcado.

3.2.2 Último ano inventariado por gases e setores

Como citado anteriormente, as emissões brasileiras em 2022 atingiram 2.039.236 kt CO₂ eq, resultado 11,8% acima do estimado para 2020. O CO₂ foi o gás predominante nas emissões, com 62% de participação em 2022. Em 2020, a participação desse gás foi de 60%. Em grande medida, o aumento na participação é explicado pelas transições de Florestas para Campos/Pastagem e Agricultura no Setor LULUCF

A Figura 3.9 ilustra a trajetória das emissões líquidas brasileiras por GEE.

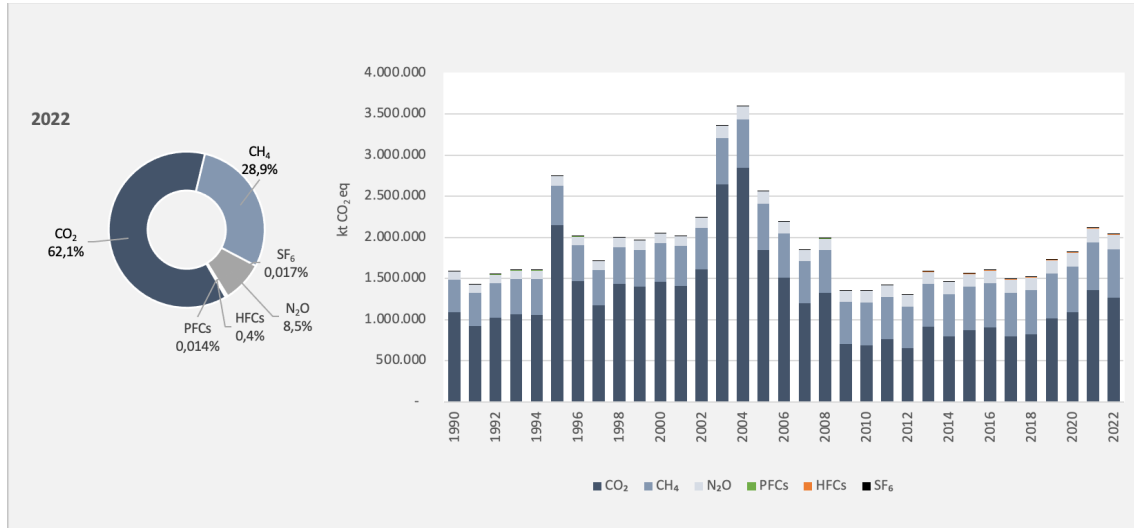


Figura 3.9. Emissões líquidas brasileiras por GEE, em kt CO₂ eq.

Ainda em 2022, os gases CH₄ e N₂O representaram 29% e 8,5%, respectivamente, enquanto SF₆, HFCs e PFCs foram responsáveis em conjunto por 0,47% do total. Em comparação com 2020, houve redução na participação dos gases CH₄ e N₂O em 1,4% e 0,7%.

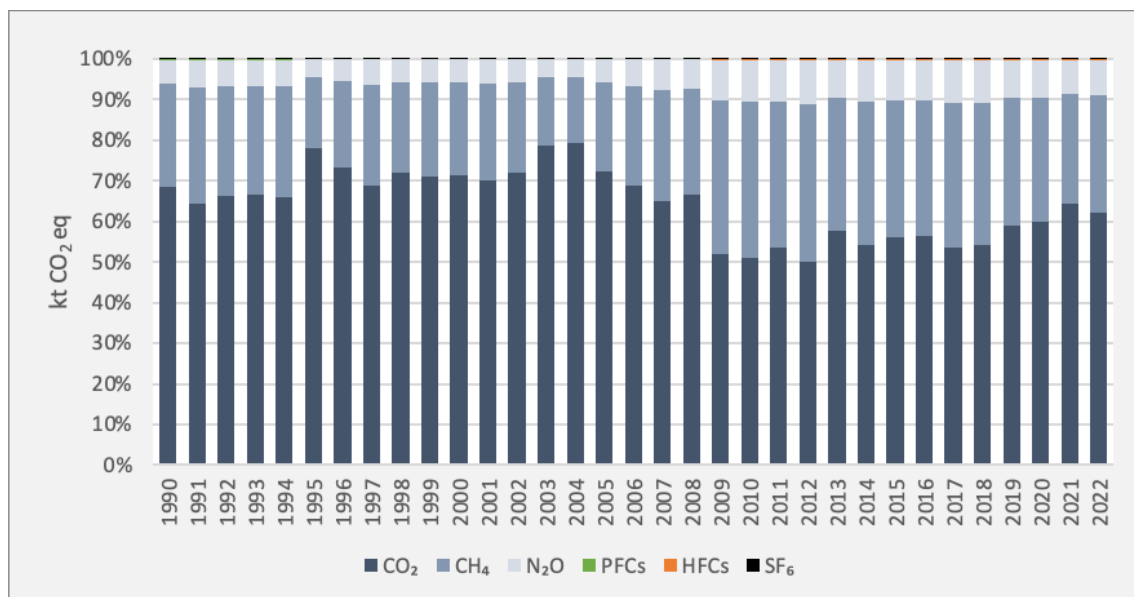


Figura 3.10. Participação de cada GEE inventariado nas emissões totais brasileiras.

O Setor LULUCF contabilizou 39,5% das emissões totais em 2022 (805.694 kt CO₂ eq), sendo o mais representativo do país (Tabela 3.5). Desse montante, o CO₂ correspondeu a 93%, enquanto CH₄ e N₂O representaram 5% e 2%. Em seguida, o Setor Agropecuária contabilizou 30,5% das emissões totais brasileiras. Nesse caso, o gás CH₄ representou 71% das emissões em 2022, majoritariamente decorrente da Fermentação Entérica (3.A). Os gases N₂O e CO₂ corresponderam a 24% e 5%, respectivamente.

O terceiro setor mais emissor é Energia, com 418.451 kt CO₂ eq (20,5% em 2022). O CO₂ correspondeu a 94% das suas emissões, enquanto CH₄ e N₂O representaram 4% e 2%. O Setor IPPU representou 5% das emissões totais brasileiras, com o CO₂ contabilizando 89% do total. Por fim, Resíduos correspondeu a 4,5% do total emitido no país. Assim como Agropecuária, o gás CH₄ predomina entre os GEE emitidos (97% de participação). Esse resultado deriva principalmente das atividades Disposição de Resíduos Sólidos (5.A) e Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D).

Tabela 3.5. Resultados das emissões de gases de efeito estufa em 2022, por setor, em kt CO₂ eq.

Setor	Emissões totais	Contribuição Setorial	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	PFCs	HFCs	SF ₆
Energia	418.451	20,5%	391.193	17.994	9.265	-	-	-
IPPU	102.316	5,0%	91.483	1.013	308	278	8.892	343
Agropecuária	622.014	30,5%	31.484	441.109	149.420	-	-	-
LULUCF	805.694	39,5%	751.467	41.885	12.342	-	-	-
Resíduos	90.761	4,5%	504	87.743	2.514	-	-	-

3.3 Tendências das emissões de gases de efeito estufa precursores

GEE precursores contribuem para a formação de ozônio troposférico, que por sua vez é um gás de efeito estufa. Não foram contabilizados em CO₂ eq, dada a inexistência de métrica associada a eles pelo IPCC.

Os GEE precursores inventariados foram CO, NO_x e NMVOC. As emissões de CO e NO_x são majoritariamente provenientes da queima imperfeita de combustíveis. Para CO, as principais fontes foram a queima de biomassa no Setor LULUCF e de combustíveis fósseis no Setor Energia. No caso das emissões de NO_x, a posição desses dois setores se inverte.

A Figura 3.11 ilustra as emissões de CO por setor.

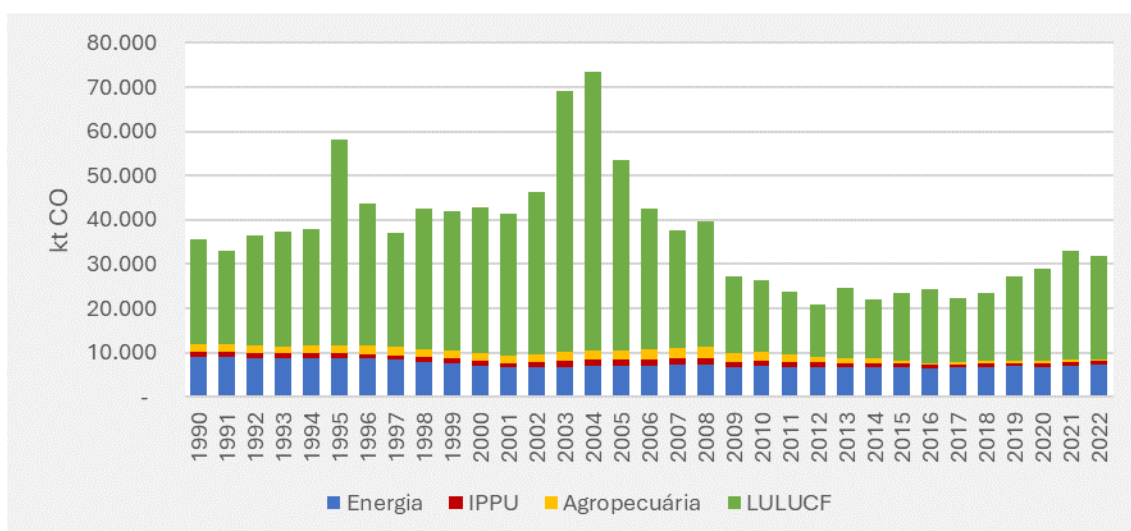


Figura 3.11. Emissões de CO por setor.

O volume de CO emitido no Brasil em 2022 atingiu 31.879 kt CO, 10% acima do estimado em 2020 (28.991 kt). O setor LULUCF predominou como maior emissor com 73,5% (23.418 kt) das emissões totais de CO. Energia contabilizou 22,4% do total (7.149 kt CO). IPPU e Agropecuária responderam por 2,8% (880 kt CO) e 1,4% (432 kt CO), respectivamente. Não foram contabilizadas emissões de CO para o Setor Resíduos.

As emissões deste GEE precursor são explicadas ao longo da série histórica, sobretudo, pelo comportamento da queima da biomassa no Setor LULUCF. E, no caso da dinâmica de transição de uso da terra no Brasil, se associam aos níveis de atividade de desmatamento e à queima dos resíduos remanescentes para conversão em agricultura, campos e pastagem.

A Tabela 3.6 resume os resultados das emissões de CO, por setor.

Tabela 3.6. Resultados das emissões de CO, por setor.

Setor	1990	1995	2000	2005	2010	2016	2020	2022	2022 /2020
	kt CO								%
Energia	9.001	8.692	7.052	7.057	7.029	6.424	6.843	7.149	4,5%
IPPU	1.096	1.106	1.155	1.430	1.200	801	835	880	5,3%
Agropecuária	1.682	1.806	1.596	2.078	1.832	498	428	432	0,9%
LULUCF	23.819	46.525	32.928	42.877	16.364	16.500	20.885	23.418	12,1%
Resíduos	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissão líquida total	35.599	58.129	42.731	53.443	26.425	24.222	28.991	31.879	10,0%

O volume de NO_x emitido no Brasil em 2022 atingiu 2.667 kt NO_x, volume 3,7% acima do verificado em 2020 (2.571 kt). Energia contabilizou a maior participação nas emissões desse gás, com 82,1% (2.188 kt NO_x). Em seguida, LULUCF respondeu por 15,5% (413 kt NO_x) do volume total emitido nacionalmente. IPPU e Agropecuária responderam por 1,9% (50 kt NO_x) e 0,6% (16

kt NO_x), respectivamente. Assim como no caso de CO, não foram contabilizadas emissões de NO_x para o Setor Resíduos.

Neste particular, as emissões estão relacionadas com as categorias Transportes e Indústria de Energia. No primeiro caso, há tendência de queda em decorrência do avanço das fases do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), sobretudo para veículos leves, mesmo considerando um crescimento contínuo da frota circulante. Contudo, até 2014, observou-se crescimento das emissões agregadas do Setor Energia em decorrência do aumento do consumo de gás natural nas Centrais Elétricas de Serviço Público (SP). Entre 2015 e 2022, observa-se diminuição do volume emitido em decorrência da redução da atividade econômica, em conjunto com a expansão da geração eólica e solar e a manutenção da tendência de queda do rodoviário.

A Figura 3.12 ilustra as emissões de NO_x por setor.

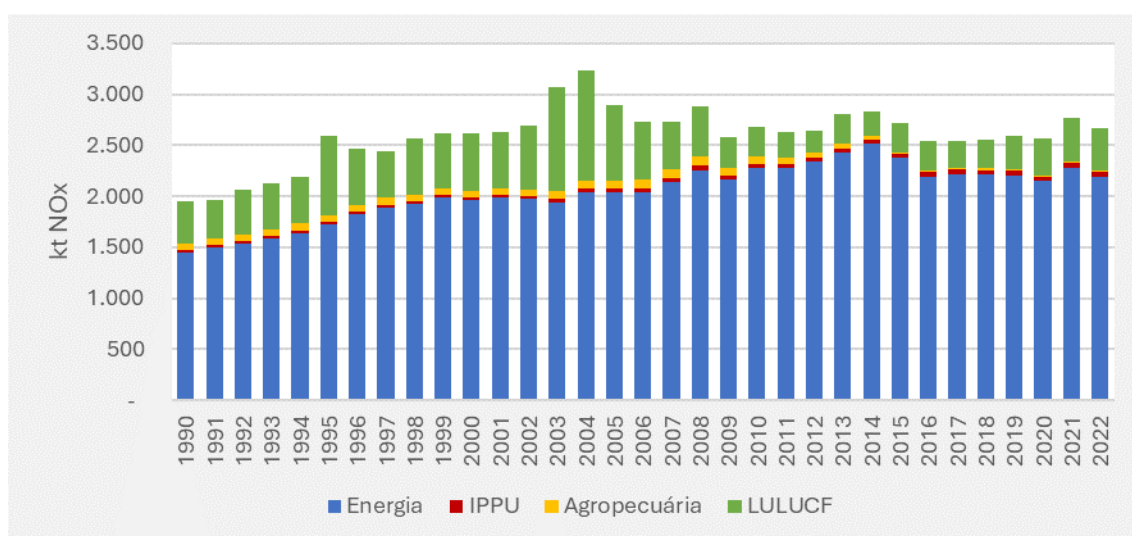


Figura 3.12. Emissões de NO_x por setor.

A Tabela 3.7 resume os resultados das emissões de NO_x, por setor.

Tabela 3.7. Resultados das emissões de NO_x, por setor.

Setor	1990	1995	2000	2005	2010	2016	2020	2022	2022 /2020
	kt NO _x								%
Energia	1.445	1.721	1.959	2.037	2.279	2.196	2.147	2.188	1,9%
IPPU	27	27	29	39	39	39	44	50	13,4%
Agropecuária	61	67	59	77	68	18	16	16	0,9%
LULUCF	422	784	568	736	293	294	364	413	13,3%
Resíduos	-	-	-	-	-	-	-	-	NA
Emissão líquida total	1.954	2.598	2.616	2.889	2.679	2.547	2.571	2.667	3,7%

A Figura 3.13 ilustra as emissões de NMVOC por setor. Neste caso, apenas os Setores Energia e IPPU registraram volume emitido. As emissões totais atingiram 4.074 kt NMVOC em 2022, resultado 4,2% acima do verificado em 2020 (3.912 kt NMVOC). Energia respondeu por 22,2%

(906 kt NMVOC) do volume total, enquanto IPPU representou 77,8% (3.168 kt NMVOC) no último ano inventariado no NIR 2024.

Relativamente ao Setor Energia, ocorre queda contínua nas emissões até 2015, diante do avanço das fases do PROCONVE na frota circulante, bem como da redução do consumo de lenha nas atividades de produção e uso de carvão vegetal (carvoarias e residências). Observa-se estabilização a partir de 2016, o que pode ser explicado pelo envelhecimento da frota circulante de leves e pesados, decorrente da queda nas vendas de veículos novos, reduzindo o efeito do avanço do PROCONVE, bem como do crescimento do consumo de lenha nas residências, aliado à estabilização do consumo de bagaço de cana na cadeia de produção do etanol e de gás natural úmido nas atividades de exploração de petróleo.

No caso de IPPU, a tendência é explicada pelas variações no consumo de alcatrão junto ao Subsetor Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D), conforme reportado no Balanço Energético Nacional (BEN).

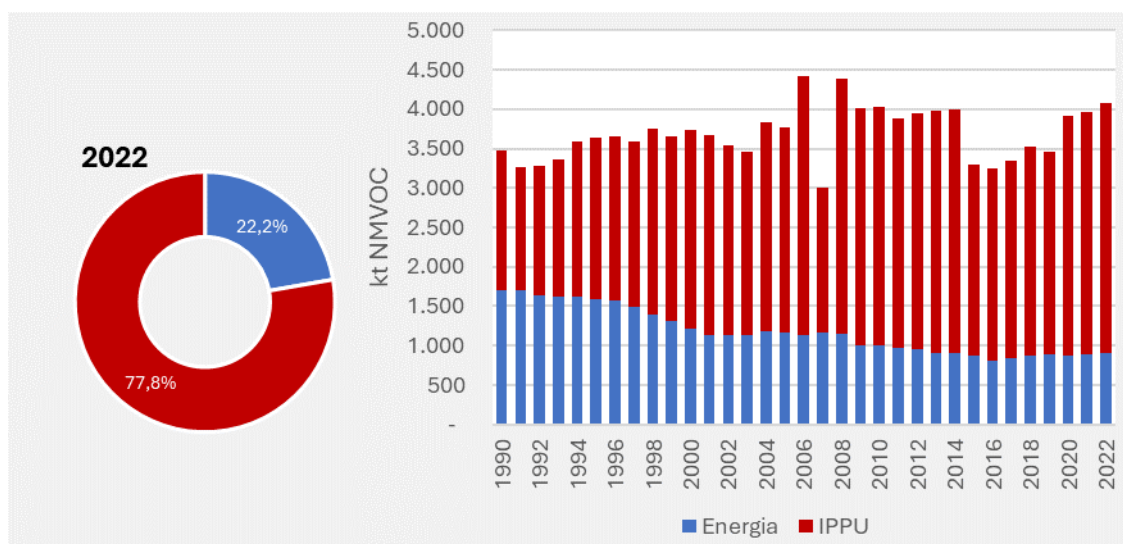


Figura 3.13. Emissões de NMVOC por setor.

A Tabela 3.8 resume os resultados das emissões de NMVOC, por setor.

Tabela 3.8. Resultados das emissões de NMVOC, por setor.

Setor	1990	1995	2000	2005	2010	2016	2020	2022	2022 /2020
	kt NMVOC								%
Energia	1.696	1.596	1.222	1.164	1.008	812	866	906	4,6%
IPPU	1.783	2.040	2.508	2.597	3.015	2.442	3.046	3.168	4,0%
Agropecuária	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LULUCF	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resíduos	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissão líquida total	3.479	3.635	3.730	3.761	4.023	3.254	3.912	4.074	4,2%

4 ENERGIA (CRT 1)

4.1 Visão geral do setor

No Setor Energia, são consideradas todas as emissões de GEE provenientes da extração e processamento de fontes primárias de energia (recursos energéticos obtidos diretamente da natureza, como petróleo, gás natural, carvão mineral etc.); sua transformação para formas de energia utilizável em refinarias, centros de processamento, usinas de geração de eletricidade etc.; a transmissão e distribuição de energia; e o consumo de combustíveis em instalações e equipamentos.

O Setor Energia contabiliza as emissões de GEE diretos como CO₂, CH₄, N₂O, bem como os precursores, como CO, NO_x e NMVOC. Os subsetores predominantes são as Atividades de Queima de Combustíveis (1.A) e as Emissões Fugitivas (1.B). No âmbito deste NIR 2024, desconsiderou-se o segmento de Transporte e Armazenamento de CO₂ (1.C), mantendo-se a abordagem seguida no Inventário elaborado na Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2021), dada a ausência de atividades domésticas de armazenamento de CO₂ registradas, apesar da utilização de CO₂ em operações de Recuperação Avançada de Petróleo (EOR, sigla em inglês).

As atividades de queima de combustíveis são categorizadas de acordo com sua origem, especificamente: Indústrias de Energia (1.A.1), Indústrias de Transformação e Construção (1.A.2), Transporte (1.A.3), Outros Setores (1.A.4) e Atividades não especificadas¹⁵ (1.A.5). Por sua vez, as emissões fugitivas (vazamentos e queima em *flare*) são divididas em Combustíveis Sólidos (1.B.1), Petróleo e Gás Natural (1.B.2) e Outras Emissões Provenientes da Produção de Energia (1.B.3).

As emissões no Setor Energia atingiram 418.451 kt CO₂ eq em 2022, o que representou um aumento de 7% em relação a 2020. O Subsetor Queima de Combustíveis (1.A) foi responsável por 94,5% dessas emissões, enquanto o Subsetor Emissões Fugitivas (1.B) representou os 5,5% restantes. Em 2022, 93,5% das emissões foram de CO₂, sendo 4,3% e 2,2% oriundas de CH₄ e N₂O, respectivamente (Figura 4.1).

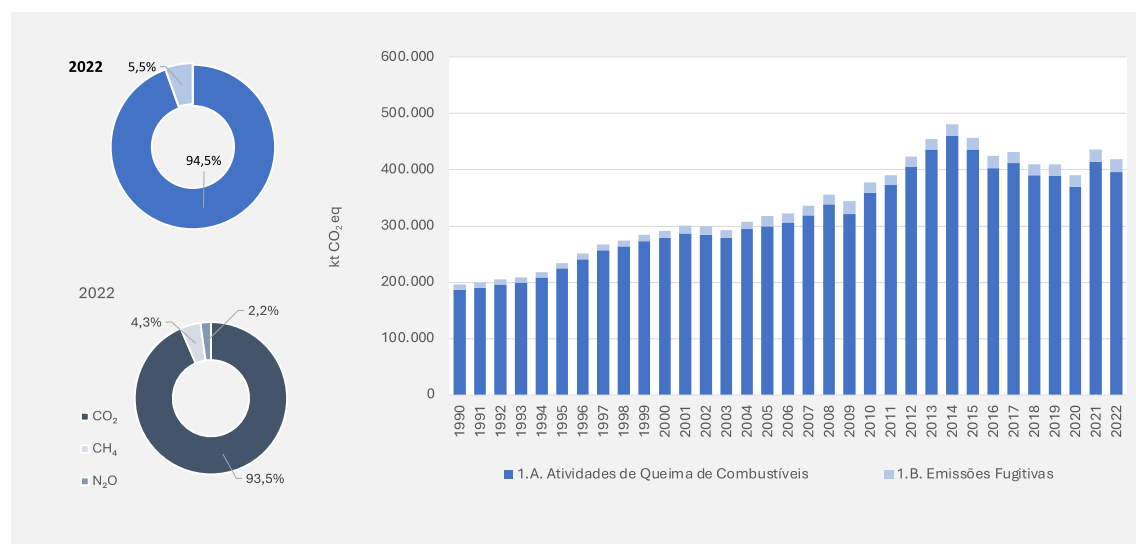


Figura 4.1. Emissões totais do Setor Energia, em kt CO₂ eq, por subsetor, de 1990 a 2022.

¹⁵ Combustões estacionárias, móveis e operações multilaterais não especificadas anteriormente.

A categoria Transporte (1.A.3) foi a mais representativa, correspondendo a 52% das emissões totais do Setor Energia, seguida de Indústrias de Transformação e Construção (1.A.2) e Indústrias de Energia (1.A.1) com 17% e 14%, respectivamente.

O padrão de emissão diverge entre os subsetores quando se especifica o gás. Em 2022, as emissões de CH₄ foram mais intensivas nas categorias Outros Setores (1.A.4), pertencente ao Subsetor Queima de Combustíveis (1.A), com 51% de participação, e Petróleo e Gás (1.B.2), pertencente ao Subsetor Emissões Fugitivas (1.B), com 24% de participação. As categorias que mais emitiram N₂O em 2022 são as mesmas que refletem as emissões de kt CO₂ eq. Dessa forma, tem-se a categoria Transporte em destaque (1.A.3) (53%), seguida de Indústrias de Transformação e Construção (1.A.2) (18%) e Indústrias de Energia (1.A.1) (14%).

As emissões de CO₂ resultantes do consumo de combustíveis de biomassa são calculadas e relatadas à parte, conforme a metodologia IPCC (2006).¹⁶ Logo, não são contabilizadas no montante total de emissões do setor.

4.2 Aspectos metodológicos

A metodologia para o cálculo das emissões seguiu o IPCC (2006). Em razão da natureza usualmente incompleta da combustão em motores, seja em movimento ou em condição estacionária, uma variedade de gases é produzida. Tais gases podem ser convertidos ou não em substâncias menos prejudiciais antes de serem liberadas na atmosfera, por exemplo, via catalisadores. No presente Inventário, os gases liberados são categorizados em CO₂ e não CO₂. Nesta segunda categoria, incluem-se os gases CH₄, N₂O, CO, NO_x e NMVOC.

As abordagens metodológicas utilizadas neste NIR 2024 foram fundamentadas nos Relatórios de Referência do Inventário apresentado na Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2021), bem como na 6ª edição das Estimativas Anuais (Brasil, 2022), abrangendo os anos de 2017 a 2020. Assim, esta edição do Inventário revisou os dados de atividade ou consumo de energia de todo o período histórico (1990 a 2020), bem como estimou as emissões referentes aos anos de 2021 e 2022.

As informações referentes ao consumo em unidades comerciais e os fatores de conversão para unidades de energia de combustíveis foram extraídas das Matrizes Abertas (1990-2022), ajustando dados do BBEN, anualmente disponibilizado pela EPE (EPE, 2023). Foram adotadas as edições de 1983, 1993 e 2004 do Balanço de Energia Útil (BEU)¹⁷ (MME, 2005) no processo de alocação de uso final de energia, necessário para a estimativa da emissão de gases não CO₂ de diferentes subsetores e categorias.

A emissão de CO₂ está diretamente relacionada ao teor de carbono de cada tipo de combustível, o que permite estimar as emissões desse gás a partir do consumo energético de uma tecnologia ou da energia total consumida pelo setor, por meio de abordagens que variam em termos de detalhamento. Logo, a estimativa de emissões de CO₂ foi conduzida com base no produto entre a energia consumida e o fator de emissão de CO₂ associado, que considera a densidade energética (tep/m³ ou tep/tonelada) local, disponível nas séries históricas do BEN. Por sua vez, o volume emitido dos gases não CO₂ depende não apenas do tipo de combustível, mas da tecnologia e das condições de operação, demandando abordagens com maior nível de detalhes.

¹⁶ Ver Energy (IPCC, 2006, v. 2).

¹⁷ Para os anos restantes, foram aplicadas técnicas de interpolação e extrapolação aos dados existentes.

As emissões da Subcategoria Aviação Doméstica (1.A.3.a) entre 2005 e 2018 remetem à modelagem de baixo para cima (*bottom-up*)¹⁸ Tier 3a) exposta no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil, pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2020). Na aviação doméstica, as abordagens Tier 3 são baseadas em dados reais de movimentações de voo. Na abordagem Tier 3a são utilizados dados de origem-destino e tipo de aeronave, com as emissões sendo calculadas por fase de voo classificadas em: Ciclo LTO (*Landing and Take-off*), Cruzeiro (*Cruise*) e Unidade Auxiliar de Potência (*Auxiliary Power Unit – APU*). A metodologia utiliza informações mais detalhadas, acrescentando-se movimentos de voo completos com dados das aeronaves e dos motores, entre outros. Adicionalmente, emprega-se a abordagem de referência, de cima para baixo (*top-down*) para comparar e ajustar resultados.

Nesta linha, obteve-se da modelagem *bottom-up* a divisão entre consumo doméstico e internacional/*bunker* de querosene de aviação (QAv). Tal divisão não foi necessária no caso da gasolina de aviação (GAv), visto ser uma fonte convencionalmente consumida em aeronaves de pequeno porte, operando em rotas domésticas. O cálculo das emissões de 1990 a 2004 foi realizado a partir das informações de consumo doméstico e *bunker* do BEN, ajustadas pela técnica de sobreposição (*overlap*) para manutenção da consistência temporal da série histórica, multiplicando o resultado pelos fatores de emissão implícitos¹⁹ estimados para o ano de 2005 (da modelagem *bottom-up* supracitada). Esse protocolo também foi aplicado para os anos de 2019 a 2022, todavia, utilizando os fatores de emissão implícitos atualizados do último ano modelado pela abordagem *bottom-up* (Brasil, 2020).

Na Subcategoria Transporte Rodoviário (1.A.3.b), adota-se a abordagem setorial *bottom-up* para calcular as emissões de GEE a partir das fontes móveis presentes na frota circulante nacional. Assim como no caso da aviação doméstica, emprega-se a abordagem de referência, *top-down*, para comparar e ajustar resultados. Ambas as abordagens são fundamentadas nas diretrizes metodológicas para combustão móvel do IPCC (2006). As misturas praticadas de biocombustíveis²⁰ no horizonte temporal foram identificadas a partir dos volumes (m³) dispostos nas séries históricas do BEN (EPE, 2023).

A estimativa das emissões fugitivas a partir da Mineração e Manejo do Carvão (1.B.1.a) considerou dados de produção ROM (*Run-of-Mine*), com base nos anuários do Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina (Siecesc) e da Associação Brasileira de Carvão Mineral (ABCM) (Siecesc, 2023). A ABCM integra toda a cadeia produtiva do carvão nacional, incluindo as empresas carboníferas dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

As emissões de Petróleo e Gás Natural (1.B.2), ainda sob o Subsetor Fugitivas (1.B), foram calculadas a partir dos fatores de emissão implícitos, derivados de dados sobre produção, transporte e refino obtidos publicados no Inventário da Quarta Comunicação Nacional (até 2016). As projeções entre 2017 e 2022 consideraram dados de refino e produção nacional de petróleo e Líquido de Gás Natural (LGN) obtidos a partir da ANP (2023). Dados de produção da Petrobras foram utilizados para separar o volume total processado em relação a empresas terceiras.

O Quadro 4.1 resume os níveis metodológicos aplicados por gás e referências do Setor Energia.

Parte dos fatores de emissão Tiers 1 e 2 aplicados nas categorias Indústrias de Energia (1.A.1), Indústrias de Transformação e Construção (1.A.2), Transporte (1.A.3), Outros Setores (1.A.4) e Não Especificado (1.A.5) foram obtidos das edições de 2013 e 2016 do Guia de Inventário de

¹⁸ Essencialmente, de baixo para cima significa que as emissões são calculadas levando em conta o consumo de energia e os dados de atividade (como frota e intensidade de uso) das fontes móveis envolvidas nas atividades de transporte.

¹⁹ Fator de emissão médio por combustível (kg/TJ), obtido a partir da divisão da emissão total de um determinado gás (kg) pelo montante que representa a energia consumida no processo (TJ).

²⁰ Gasolina A-etanol anidro e diesel-biodiesel.

Emissões de Poluentes Atmosféricos²¹ (EMEP/EEA, 2013; 2017). Os documentos foram elaborados pelo Programa de Cooperação para a Vigilância Contínua e para a Avaliação do Transporte a Longa Distância dos Poluentes Atmosféricos na Europa (EMEP²²) em conjunto com a Agência Europeia do Ambiente (EEA²³). Na ausência de dados desagregados, adotaram-se fatores disponíveis nas Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (IPCC, 2006).

Os dados sobre os fatores de emissão para o ciclo LTO na Aviação Doméstica (1.A.3.a) foram extraídos da *Engine Emissions Data Bank* (EEDb) da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI). Em ANAC (2020), utilizou-se a versão 24 da planilha EEDb/OCAI, que contém a base de dados. Na Subcategoria Transporte Rodoviário (1.A.3.b), os fatores de CH₄, N₂O, CO, NO_x e NMVOC, por tecnologia ou fonte energética, foram provenientes da série de Relatórios de Emissões Veiculares no Estado São Paulo (CETESB, 2022), bem como dos estudos MMA (2014) e IBTS (2019). Assim como no caso do procedimento adotado na Subcategoria Aviação Doméstica (1.A.3.a.ii), considerou-se os fatores de emissão implícitos de gases não CO₂, multiplicando-os pelo consumo de combustíveis²⁴ associados às atividades de transporte de carga e passageiros.

Considerando o Subsetor Fugitivas (1.B), os fatores de emissão para minas subterrâneas e de superfície (categoria Mineração e Manejo do Carvão – 1.B.1.a) derivam do IPCC (2006), adaptados com base no teor de metano local. Por sua vez, as emissões de Petróleo e Gás Natural (1.B.2) para os anos de 2017 a 2022 foram calculadas a partir dos fatores de emissão implícitos, derivados de dados sobre produção, transporte e refino publicados no Inventário apresentado na Quarta Comunicação Nacional (até 2016).

²¹ *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook*.

²² EMEP é o programa cooperativo para monitoramento e avaliação da transmissão de longo alcance de poluentes atmosféricos na Europa.

²³ *European Environment Agency*.

²⁴ Diesel, gasolina A, etanol hidratado, etanol anidro e gás natural seco.

Quadro 4.1. Níveis metodológicos aplicados por gás e referências do Setor Energia.

Subsetor	Categoria	Subcategorias	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS						REFERÊNCIAS	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVO _C	Dados de atividade	Fatores de emissão
1.A. ATIVIDADES DE QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS	1.A.1. Indústrias de Energia	1.A.1.a. Produção pública de eletricidade e calor	T2	T2	T2	T2	T2	T2	Balanço Energético Nacional – BEN (EPE, 2023); Balanço de Energia Útil – BEU (1983,1993 e 2004) (MME, 2005).	(IPCC, 2006, v. 2, cap. 2); (IPCC, 1997, v. 2); EMEP/EEA <i>Air Pollutant Emission Inventory Guidebook</i> (EMEP/EEA, 2013 e 2017); específicos para lenha e carvão vegetal para CH ₄ e N ₂ O (Brasil, 2020). EMEP/EEA <i>Air Pollutant Emission Inventory Guidebook</i> (EMEP/EEA, 2013 e 2017) para CO, NO _x e NMVOC.
		1.A.1.b. Refino de Petróleo	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.1.c. Produção de Combustíveis Sólidos e Outras Indústrias de Energia	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
	1.A.2. Indústrias de Transformação e de Construção	1.A.2.a. Ferro e Aço	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.2.b. Metais não Ferrosos	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.2.c. Produtos Químicos	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.2.d. Celulose, Papel e Impressão	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.2.e. Processamento de Alimentos, Bebidas e Tabaco	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.2.f. Minerais não Metálicos	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.2.g.ii. Fabricação de equipamentos de transporte	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.2.g.iii. Mineração (exceto combustíveis) e Extração	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.2.g.vi. Têxtil e Couro	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
	1.A.3. Transporte	1.A.3.a. Aviação Doméstica	T3a	T3a	T3a	T3a	T3a	T3a	Banco de Informações de Movimento de Tráfego Aéreo (BIMTRA); tempos médios para cada etapa do ciclo LTO (OACI, 2011; FOI, 2013); tempos médios de operação padrão APU para aeronaves (ACRP, 2012); Balanço Energético Nacional – BEN (EPE, 2023).	(IPCC, 2006, v. 2, cap. 3); ANAC (2020).
		1.A.3.b. Transporte Rodoviário	T2	T3	T3	T3	T3	T3	Frota circulante: venda de veículos e curva de sucateamento (ANFAVEA, 2022; ABRACICLO, 2023; Brasil, 2020; IBTS, 2019); Rendimento energético (Brasil, 2014; IBTS, 2019; Cetesb, 2022); Intensidade de uso (Brasil, 2020; Brasil, 2014); Atividade (Briand <i>et al.</i> , 2023)	(IPCC, 2006, v. 2, cap.3); Brasil (2014); Cetesb (2022).
		1.A.3.c. Transporte Ferroviário	T2	T1	T1	T1	T1	T1		

Subsetor	Categoria	Subcategorias	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS						REFERÊNCIAS	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVO _C	Dados de atividade	Fatores de emissão
	1.A.4. Outros setores	1.A.3.d. Transporte Hidroviário	T2	T1	T1	T1	T1	T1	Balanço Energético Nacional – BEN (EPE, 2023); Balanço de Energia Útil - BEU (1983,1993 e 2004) (MME, 2005).	(IPCC, 2006, v. 2, cap. 2); (IPCC, 1997, v. 2); EMEP/EEA <i>Air Pollutant Emission Inventory Guidebook</i> (EMEP/EEA, 2013 e 2017); específicos para lenha e carvão vegetal para CH ₄ e N ₂ O (Brasil, 2020); EMEP/EEA <i>Air Pollutant Emission Inventory Guidebook</i> (EMEP/EEA, 2013 e 2017) para CO, NO _x e NMVOC.
		1.A.3.e. Outros Transportes	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.4.a. Comercial e Institucional	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.4.b. Residencial	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.4.c. Agricultura, Silvicultura, Pesca e Piscicultura	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.5.a. Estacionária	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
	1.A.5. Não-especificado	1.A.5.b. Móvel	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.5.c. Operações Multilaterais	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
1.B. EMISSÕES FUGITIVAS DE COMBUSTÍVEIS	1.B.1. Combustíveis Sólidos	1.B.1.a. Mineração e Manejo do Carvão	NO	T1	NA	NA	NA	NA	Dados de produção de carvão da Associação Brasileira do Carvão Mineral e do Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina (Siecesc, 2023).	(IPCC, 2006, v. 2, cap. 4).
		1.B.1.b. Transformação de combustível	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
		1.B.1.c. Combustão Espontânea e Aterros para Queima de Carvão	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
		1.B.2.a. Petróleo	T2/T3	T2/T3	T2/T3	NE	NE	NE		
	1.B.2. Petróleo e Gás Natural								Resultados de emissões de GEE da Petrobras; Dados de produção e refino da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2023); Volume de carga processada do Balanço Energético Nacional (EPE, 2023).	Protocolos da indústria e fontes de emissões das categorias.
		1.B.2.b. Gás Natural	T2/T3	T2/T3	T2/T3	NE	NE	NE		
1.C. TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE CO₂	1.C.1. Transporte de CO ₂		NO							
	1.C.2. Injeção e Armazenamento		NO							
	1.C.3. Outros		NO							

Nota: Níveis metodológicos (IPCC, 2006) – T1: *Tier 1*; T2: *Tier 2*; T3: *Tier 3*; T3a: *Tier 3a*.

Notações: NA – atividade em determinada categoria de fonte/sumidouro que ocorre no país, mas não resultou em emissões ou remoções de um gás específico; IE – incluído em outro local/categoria de emissões ou remoções; NO – categorias e processos que não ocorrem no país; NE – dados de atividade e/ou emissões por fontes e remoções por sumidouros de GEE que não tenham sido estimados, mas para os quais uma atividade correspondente pode ocorrer no país.

Alguns dos dados de atividade e resultados de emissões não puderam ser desagregados no Inventário. Em vez disso, eles foram coletados e relatados de forma agregada. O Quadro 4.2 mostra as distribuições das emissões de subcategorias que não foram passíveis de desagregação dentro do Setor Energia.

Quadro 4.2. Categorias com valores atribuídos em outras categorias (IE) no Setor Energia.

CÓDIGOS IPCC	CATEGORIAS REALOCADAS	DESTINO DA REALOCAÇÃO
1.A.1.a.i	Geração de Eletricidade	1.A.1.a. Produção pública de eletricidade e calor
1.A.1.a.ii	Geração combinada de calor e energia (CHP)	1.A.2. Indústrias de Transformação e Construção
1.A.1.a.iii	Plantas geradoras de calor	1.A.1.a. Produção pública de eletricidade e calor
1.A.2.g.i	Fabricação de maquinário	1.A.2.g.ii. Fabricação de equipamentos de transporte
1.A.2.g.iv	Madeira e produtos de madeira	1.A.2.d. Celulose, papel e impressão
1.A.2.g.v	Construção	1.A.2.g.ii. Fabricação de equipamentos de transporte
1.A.2.g.vii	Veículos <i>Off-road</i> e outros maquinários	1.A.2.g.ii. Fabricação de equipamentos de transporte
1.B.2.b	Produção (Gás Natural)	1.B.2.b.ii. Produção e coleta

Para algumas subcategorias não foi possível calcular as emissões, dada principalmente a falta de informações. O Quadro 4.3 apresenta uma lista das subcategorias para as quais não foram estimados os GEE.

Quadro 4.3. Subcategorias não estimadas (NE) para o Setor Energia.

CÓDIGOS IPCC	CATEGORIAS NÃO ESTIMADAS	OBSERVAÇÕES
1.B.1.a.i.3	Minas subterrâneas abandonadas (número de minas)	Não há informações suficientes para a caracterização das minas abandonadas no país, assim não permitindo estimar emissões após o encerramento de suas atividades.
1.B.2.a.i	Exploração	Inexistem dados que permitam estimar as emissões dessas subcategorias.
1.B.2.a.v	Distribuição de produtos de petróleo	
1.B.2.b.i	Exploração	
1.B.2.b.v	Distribuição de produtos de petróleo	

4.3 Comparação entre Abordagem de Referência e Abordagem Setorial

O cálculo das emissões de CO₂ para queima de combustíveis fósseis deve ser elaborado a partir de duas abordagens, de acordo com o IPCC (2006): Abordagem de Referência (metodologia *top-down*) e Abordagem Setorial (metodologia *bottom-up Tier 1*). As emissões que integram a contabilização dos Inventários Nacionais são as realizadas com a Abordagem Setorial.

A Abordagem de Referência, mais agregada, consiste no cálculo a partir de dados agregados sobre a oferta de combustíveis. Para isso, adota-se o conceito de consumo aparente: soma-se a produção de combustíveis primários e a importação de combustíveis primários e secundários; e subtrai-se a exportação de combustíveis primários e secundários, de *bunkers* e a variação de estoque (que

pode ser positiva ou negativa). A partir desse resultado, estimam-se as emissões de CO₂ com base no conteúdo de carbono dos combustíveis.

Na Abordagem Setorial, são empregadas informações sobre o consumo de combustíveis por setor energético, sendo multiplicado pelos fatores de emissão correspondentes. As estimativas das emissões de CO₂ por meio de ambas as abordagens convencionalmente retornam valores levemente distintos, sendo um mecanismo de controle de qualidade dos resultados do setor. De acordo com o IPCC (2006), diferenças acima de 5% são consideradas significativas e devem ser investigadas e explicadas.

Para o presente Inventário, foi observada uma média de variação percentual de 1,44% entre a Abordagem de Referência e a Abordagem Setorial, para a série histórica de 1990 a 2022, com um máximo absoluto de 3,30% em 1998. Em 2022, a diferença entre as duas abordagens foi de 0,18% (Tabela A.III.1, Apêndice III).

A Figura 4.2 ilustra a evolução da diferença média das emissões de GEE entre as abordagens.

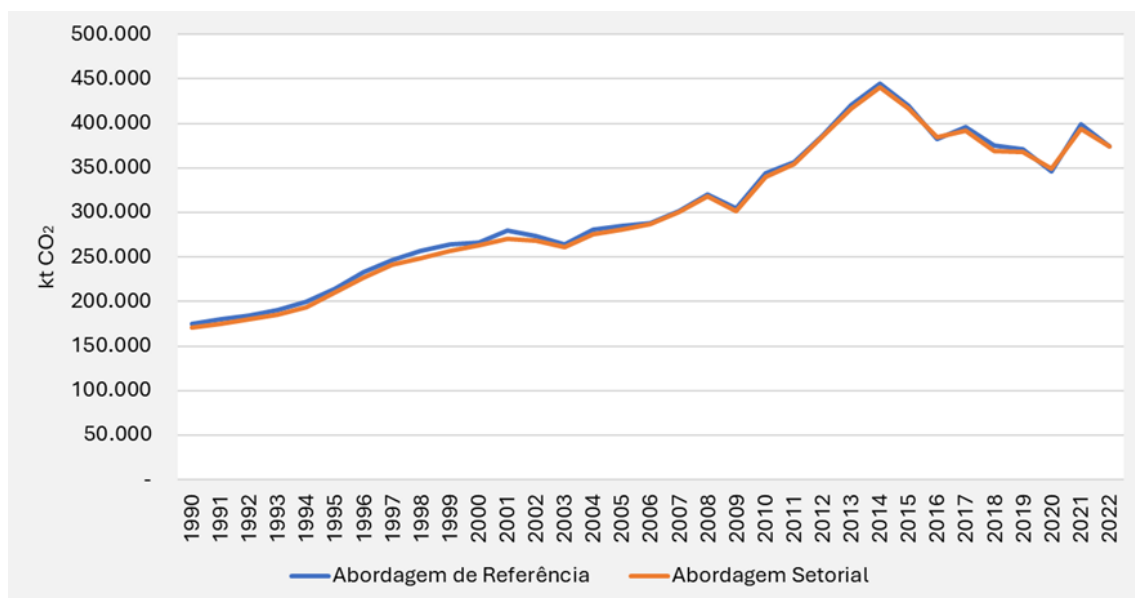


Figura 4.2. Estimativas das emissões entre as abordagens Referência e Setorial, em kt CO₂, de 1990 a 2022.

4.4 Combustíveis Internacionais (*bunkers*)

O IPCC (2006) instrui que as emissões derivadas da queima de combustíveis em atividades internacionais (*bunker*), para as quais ainda não há um critério de divisão de responsabilidades, não devem ser contabilizadas nos Inventários Nacionais, mas devem ser reportadas para fins de composição dos dados globais. Tais emissões estão associadas aos deslocamentos aéreos e marítimos e aos transportes fluviais que atravessam fronteiras nacionais.

As subcategorias que abrangem emissões provenientes de *bunkers* são: 1.A.3.a.i. Aviação Internacional; e 1.A.3.d.i. Navegação Internacional. A Figura 4.3 ilustra a evolução das emissões em kt CO₂ eq para a navegação e aviação internacional.

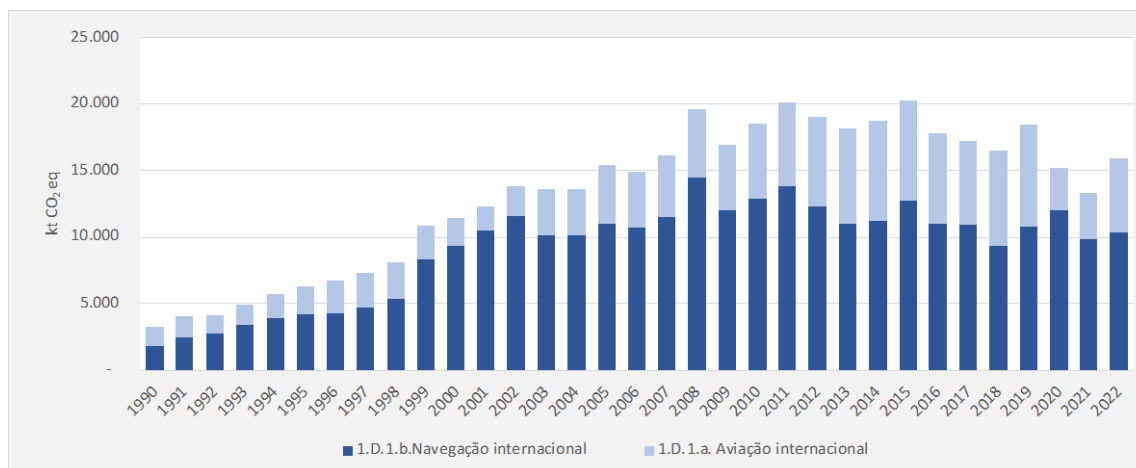


Figura 4.3. Emissões de combustíveis internacionais (*bunkers*), em kt CO₂ eq, de 1990 a 2022.

Aviação Internacional

Entre 2005 e 2018, as estimativas das emissões de *bunker* consideraram dados de consumo de querosene de aviação da modelagem *bottom-up* em Tier 3a detalhada no relatório ANAC (2020). Isto posto, com base nos fatores de emissão implícitos por tipo de combustível e gás, projetou-se, para o intervalo 2019-2022, as emissões de GEE sobre o consumo de querosene de aviação disponibilizado nas matrizes abertas do BEN (EPE, 2023).

Assim como no contexto das estimativas domésticas, não houve a necessidade de separar o consumo de gasolina de aviação em doméstico e *bunker*, haja vista ser convencionalmente realizado em aeronaves de pequeno porte que operam em rotas internas. As emissões entre 1990 e 2004 utilizaram dados de consumo de *bunker* do BEN, os quais foram ajustados pela técnica de *overlap* para garantir a consistência temporal da série histórica. Além disso, foram considerados os fatores de emissão implícitos do ano de 2005, derivados da modelagem *bottom-up* em Tier 3a (ANAC, 2020).

A Figura 4.4 ilustra a evolução das emissões em kt CO₂ eq para aviação doméstica e *bunker*.

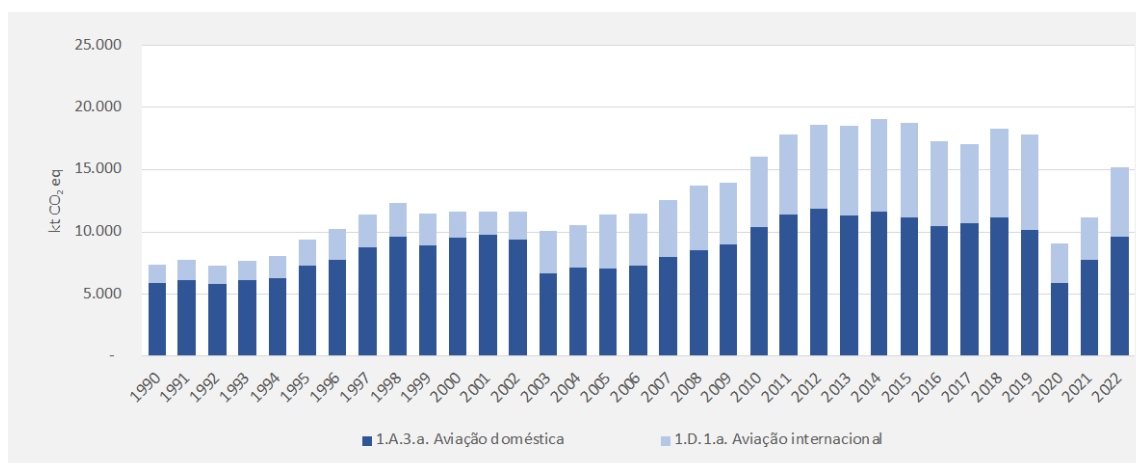


Figura 4.4. Emissões da aviação doméstica e internacional, em kt CO₂ eq, de 1990 a 2022.

Os resultados mostram que entre 2020 e 2022 as emissões domésticas e internacionais cresceram 64% e 74%, respectivamente. Esse resultado decorre do impacto das medidas decorrentes da pandemia de COVID-19 que afetou o deslocamento de passageiros no modal em 2020, sobretudo, não sendo fortemente relacionado à otimização das rotas ou penetração de SAF (Combustível Sustentável de Aviação). Apesar do aumento da atividade recente, as emissões domésticas em 2022 estiveram 5% abaixo dos níveis de 2019 (pré-pandemia), enquanto as internacionais estão 27% abaixo.

Navegação internacional

As emissões relacionadas à navegação internacional para todo o histórico consideraram os consumos de óleo combustível e óleo diesel indicados no BEN. Em seguida, foram aplicados fatores de emissão *Tier 1*, disponíveis em IPCC (2006).

A Figura 4.5 mostra a evolução das emissões em kt CO₂ eq para a navegação doméstica e internacional.

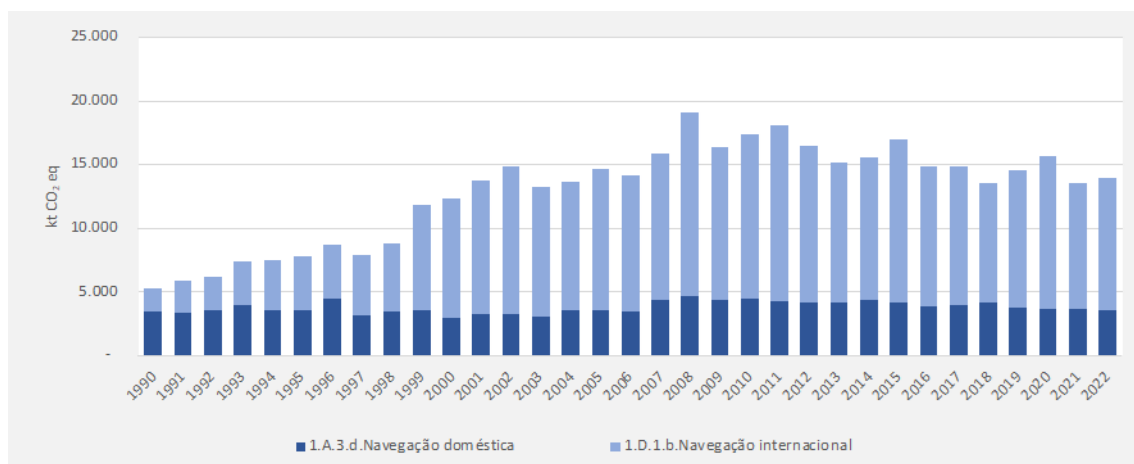


Figura 4.5. Emissões da navegação doméstica e internacional, em kt CO₂ eq, de 1990 a 2022.

Os resultados da navegação internacional não indicam para impactos significativos da pandemia sobre o modo hidroviário. Em 2022, as emissões de kt CO₂ eq foram 14% inferiores aos níveis de 2020. Por sua vez, as emissões de navegação doméstica (cabotagem e interior) caíram 4% no período, seguindo o ritmo histórico de queda anual desses modos de transporte desde o pico verificado em 2008 (-2% a.a.).

4.5 Matérias-primas e usos não energéticos de combustíveis

Para evitar a duplicidade de cálculos, as emissões resultantes do uso não energético de combustíveis não são consideradas no contexto do Setor Energia. Ao invés disso, são atribuídas em subsetores do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), conforme explicado abaixo:

- Indústria metalúrgica: combustíveis utilizados como redutores na indústria de ferro-gusa e aço, ferroligas e não ferrosos. Considera-se como redutores os valores de coque de petróleo, carvões betuminosos, coque de carvão mineral e carvão vegetal, cujos usos finais ocorrem em aquecimento direto, de acordo com o Balanço de Energia Útil (BEU).

- Produtos não energéticos de combustíveis e solventes: combustíveis como asfalto, lubrificantes, solventes, gás natural e outros produtos não energéticos de petróleo, especificados no BEN.
- Indústria química: todos os combustíveis contabilizados como “consumo final não energético” no BEN, à exceção daqueles incluídos no item acima.

4.6 Atividades de Queima de Combustíveis (CRT 1.A)

O Subsetor Atividades de Queima de Combustíveis (1.A) apresenta as emissões provenientes da oxidação do carbono presente nos combustíveis durante sua utilização final. Os gases considerados neste segmento são o CO₂, CH₄ e N₂O, bem como os gases precursores do efeito estufa (CO, NO_x e NMVOC).

No ano de 2022, as emissões totais desse subsetor alcançaram 395.626 kt CO₂ eq. Como citado anteriormente, a categoria de Transporte (1.A.3) foi responsável pela maior parcela de emissões (54,9%), seguida pelas Indústrias de Transformação e Construção (1.A.2), Indústrias de Energia (1.A.1) e Outros Setores (1.A.4), com 17,5%, 14,3% e 13,0%, respectivamente. Considerando o nível total de emissões de 2020, o volume emitido em 2022 foi 7% superior.

A Figura 4.6 ilustra as emissões do Subsetor Queima de Combustíveis por categoria.

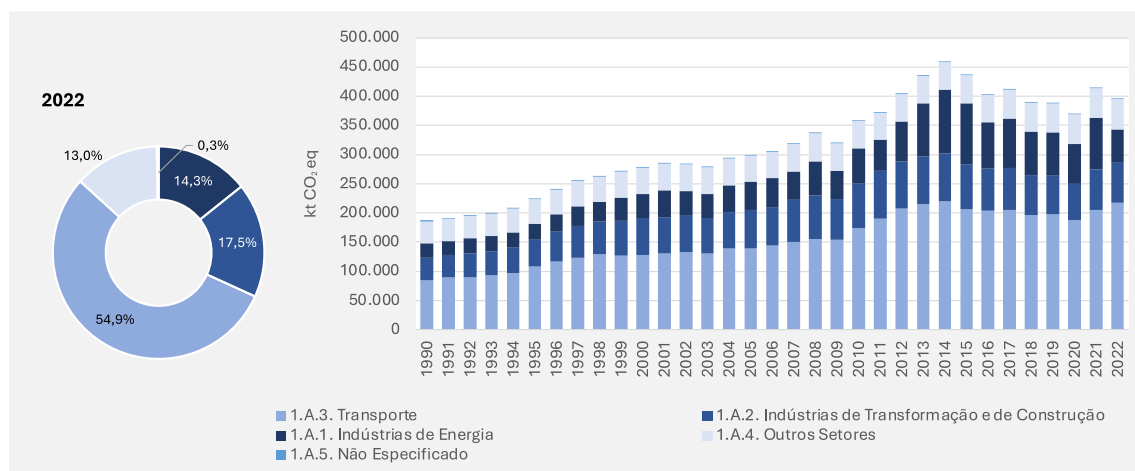


Figura 4.6. Emissões de Atividades de Queima de Combustíveis, em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

No segmento das Indústrias de Energia (1.A.1), as principais emissões originaram-se da queima de combustíveis para a produção de eletricidade, representando 42% da categoria, seguida da produção de combustíveis sólidos (34%) e do refino de petróleo (24%). Na categoria de Indústrias de Transformação e Construção (1.A.2), o consumo de energia na indústria de minerais não metálicos liderou as emissões, com uma participação de 25%. Em segundo lugar, a indústria de produtos químicos contribuiu com 18%, seguida pela indústria de ferro e aço (12%).

Na Categoria Transporte (1.A.3), mantém-se o padrão de uso intensivo do modo rodoviário, com 92% de participação nas emissões de GEE. Apesar de representarem menos de 4% da frota em circulação, os caminhões²⁵ e ônibus²⁶ contabilizaram 57% das emissões de GEE. Em seguida, os automóveis responderam por 34% das emissões da categoria. Os modos de transporte aéreo,

²⁵ Semileves a pesados.

²⁶ Micro, urbanos e rodoviários.

aquático (cabotagem e navegação interior) e ferroviário contribuíram com 4%, 1,6% e 1,5% respectivamente.

Considerando a Categoria Outros Setores (1.A.4), a Categoria Residencial emergiu como o principal contribuinte, respondendo por 51% das emissões. Este destaque foi influenciado sobretudo pelo uso de GLP. As emissões associadas ao segmento Não Especificado (1.A.5) foram concentradas na aviação. Esse resultado decorre do consumo de combustíveis em helicópteros, pequenas aeronaves e aeronaves militares não enquadradas na categoria Transporte (1.A.3).

4.6.1 Aspectos metodológicos

Esta abordagem detalha as equações consideradas para as Categorias/Subcategorias 1.A.1, 1.A.2, 1.A.3.a, 1.A.3.c, 1.A.3.d, 1.A.3.e, 1.A.4 e 1.A.5. Tal método segue as diretrizes delineadas nos Guias para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2006), especificamente nos Capítulos 2 e 3 do Volume 2.

As estimativas adotam a abordagem Setorial do IPCC, que consiste em obter o "Consumo de Combustível" a partir de dados estatísticos sobre o uso de energia, expressos em unidades de massa ou volume e convertidos em terajoules (TJ). O Setor Energia abrange, principalmente, as seguintes atividades: Exploração de fontes de energia primária; Conversão de fontes de energia primária em formas mais utilizáveis;²⁷ Transmissão e distribuição de combustíveis; e Utilização de combustíveis em instalações e equipamentos.

A abordagem Setorial adotada para as estimativas de CO₂, conforme descrito nas equações do Quadro 4.4, segue os seguintes passos:

- Identificação do consumo energético por Setor ou Subsetor do Balanço Energético Nacional, considerando suas unidades de medida originais, que são então convertidas para toneladas equivalentes de petróleo (tep).
- Padronização para uma unidade de energia comum (TJ).
- Multiplicação pelo fator de emissão de dióxido de carbono (CO₂).

Por sua vez, a abordagem Setorial empregada para as estimativas de gases não-CO₂ compreende os seguintes procedimentos:

- Identificação do consumo de combustíveis por Setor ou Subsetor do Balanço Energético Nacional, utilizando suas unidades de medida originais, que são então convertidas para toneladas equivalentes de petróleo (tep).
- Padronização para uma unidade de energia comum (TJ).
- Multiplicação pelo percentual de utilização final do combustível por categorias do Balanço de Energia Útil.²⁸
- Multiplicação pelo fator de emissão específico de metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC).

Quadro 4.4. Equações para estimar as emissões dos gases inventariados para categorias presentes no Subsetor Queima de Combustíveis.

²⁷ Realizada em instalações de transformação, como refinarias, usinas de geração de eletricidade, entre outras.

²⁸ Como força motriz, calor de processo, aquecimento direto, refrigeração, iluminação, eletroquímica e outros.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 4.1	CO ₂	1.A.1 1.A.2 1.A.3.c 1.A.3.d 1.A.3.e	$E_{GEE,comb} = FE_{GEE,comb} * Cons_{comb}$	IPCC (2006, v.2, cap. 2)
Equação 4.2	Não CO ₂	1.A.4 1.A.5	$E_{GEE,comb,tecnol,sector} = FE_{GEE} * Cons_{comb,sector}$	IPCC (2006, v.2, cap. 2)

Em que:

E = Emissão, expressa em kg do GEE por tipo de combustível;
 FE = Fator de emissão do gás (kg GEE/TJ) por tipo de combustível; e
 Cons = Quantidade de combustível consumido (TJ).

4.6.2 Indústrias de Energia

A categoria Indústrias de Energia (1.A.1) abrange as emissões provenientes da queima de combustíveis pelas indústrias de extração de combustíveis ou de geração de energia. A categoria agrupa emissões oriundas da Produção Pública de Eletricidade e Calor (1.A.1.a) e subdivisões,²⁹ bem como Refino de Petróleo (1.A.1.b) e Produção de Combustíveis Sólidos e Outras Indústrias de Energia (1.A.1.c).

A Figura 4.7 sumariza as emissões de kt CO₂ eq de Indústrias de Energia.

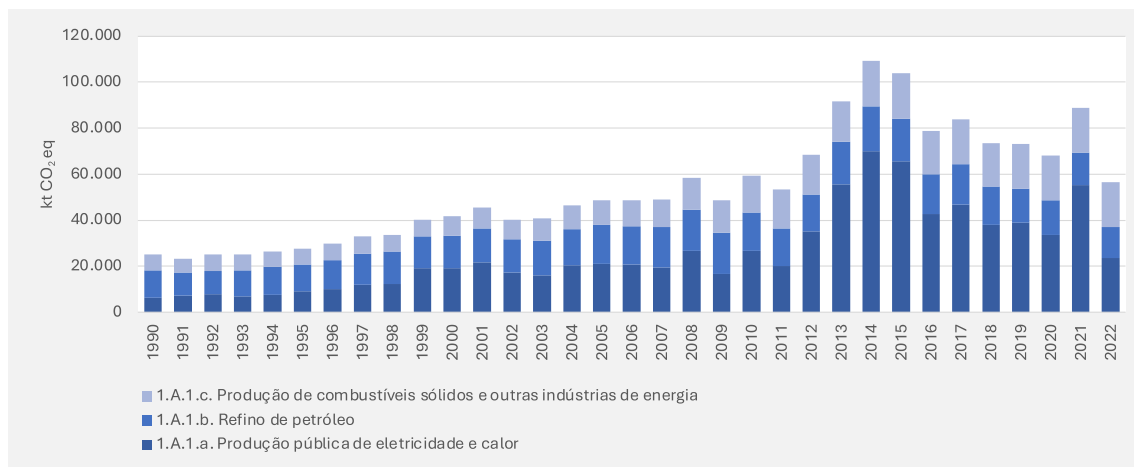


Figura 4.7. Emissões da Indústria de Energia, em kt CO₂ eq por subcategorias, de 1990 a 2022.

Entre 2020 e 2022, as emissões da categoria caíram 17%, puxadas pela Subcategoria Produção de Eletricidade e Calor como Atividade Principal (1.A.1.a), com queda de 30%. Esse desempenho decorreu da expansão da geração eólica (43%) e solar (100%) no período. Nessa linha, a matriz elétrica brasileira atingiu 88% de renovabilidade em 2022,³⁰ ante 85% em 2020 (EPE, 2023). Ressalta-se que, em 2021, houve um crescimento pontual de 65% nas emissões de Centrais Elétricas de Serviço Público (SP), influenciado pelo aumento do consumo de gás natural seco, carvão-vapor e óleo combustível.

²⁹ Geração de Eletricidade (1.A.1.a.i), Geração combinada de calor e energia (1.A.1.a.ii) e Plantas geradoras de calor (1.A.1.a.iii).

³⁰ Incluindo os sistemas isolados e a autoprodução não injetada na rede.

Ainda considerando o período 2020-2022, a Subcategoria Refino de Petróleo caiu 11%, influenciado pela queda do consumo de gás natural seco, enquanto a Subcategoria Produção de Combustíveis Sólidos e Outras Indústrias de Energia permaneceram estável.

4.6.3 Indústrias de Transformação e Construção

A categoria cobre as emissões resultantes da queima de combustíveis na indústria, incluindo a combustão para a geração de eletricidade e calor para uso próprio. Ressalta-se que as emissões da combustão de combustível em fornos de coque dentro da indústria de ferro e aço são reportadas em 1.A.1.c. Produção de combustíveis sólidos e outras indústrias de energia e não na indústria de manufatura. Além disso, a energia consumida para transporte pela indústria não é reportada nesta categoria, mas em Transporte (1.A.3).

A Figura 4.8 ilustra a estimativa das emissões da categoria Indústrias de Transformação e Construção (1.A.2).

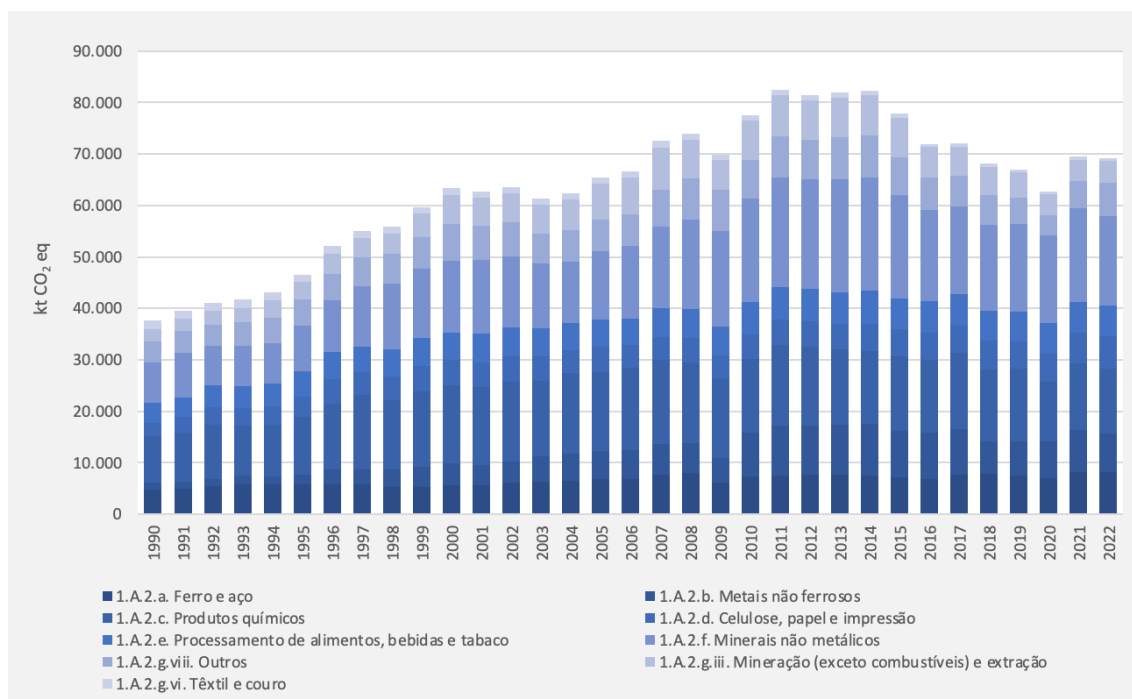


Figura 4.8. Emissões de Indústrias de Transformação e Construção, em kt CO₂ eq por subcategorias, de 1990 a 2022.

As emissões da categoria cresceram 10% entre 2020 e 2022. As subcategorias que reduziram seu volume de kt CO₂ eq emitido foram 1.A.2.e. Processamento de alimentos, bebidas e tabaco (-2%), motivado pelo aumento do uso de lenha, e 1.A.2.g.vi. Têxtil e couro (-7%), com menor consumo de óleo combustível e GLP. No caso da Subcategoria Minerais não metálicos (1.A.2.f), o volume emitido aumentou 3%, puxado pelo consumo de gás natural na produção de cerâmica.

4.6.4 Transporte

A categoria Transporte (1.A.3) engloba emissões resultantes da combustão e evaporação de combustível para todas as atividades de transporte (com exceção do transporte militar),

independentemente do setor. Em alinhamento com IPCC (2006), as emissões do transporte internacional foram reportadas separadamente. Assim, as emissões de combustíveis vendidos para qualquer aeronave ou embarcação marítima utilizados em trajeto internacional foram excluídas dos totais e subtotais desta categoria.

A Figura 4.9 ilustra a evolução das emissões de kt CO₂ eq da categoria, envolvendo os modos de transporte rodoviário, hidroviário (cabotagem e navegação interior), aviação doméstica e ferroviário. As emissões totais da categoria cresceram 16% em relação a 2020. Entre 2020 e 2022, houve queda nas emissões no transporte hidroviário (-4%) na Subcategoria Outros Transportes (1.A.3.e). Esta última refere-se a emissões de combustão de todas as demais atividades de transporte, incluindo transporte por dutos, atividades terrestres em aeroportos e portos, e atividades fora de estrada que não são relatadas em Agricultura (1.A.4.c) e Indústrias de Transformação e Construção (1.A.2).

Salienta-se que as emissões do modo ferroviário decorrem majoritariamente do transporte de carga, uma vez que o transporte ferroviário de passageiros é virtualmente³¹ dependente de eletricidade, relatada em seu uso final como de zero emissão.

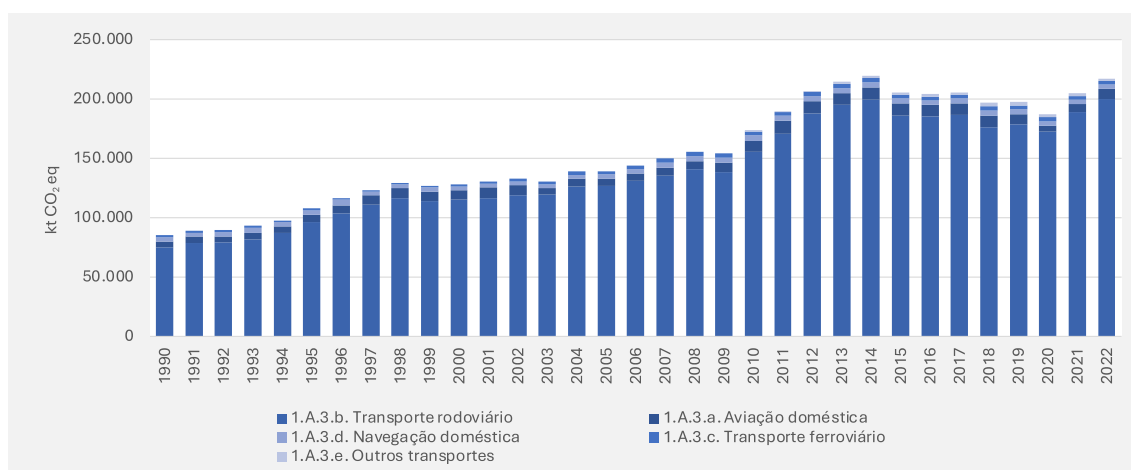


Figura 4.9. Emissões de Transporte, em kt CO₂ eq por subcategorias, de 1990 a 2022.

Na Subcategoria Transporte Rodoviário (1.A.3.b), os veículos pesados de passageiros e carga (ônibus e caminhões) responderam por 57% das emissões, enquanto automóveis, caminhões leves e motocicletas contabilizaram 34%, 6% e 3%, respectivamente (Figura 4.10). Entre 2020 e 2022, as emissões das motocicletas foram as que mais cresceram (20%), seguidas pelas emissões dos automóveis, evidenciando um crescimento do transporte individual motorizado em detrimento das demais modalidades.

³¹ Há alguns casos de linhas de VLT movidas a diesel em capitais e cidades do interior (por exemplo, Fortaleza e Sobral-CE).

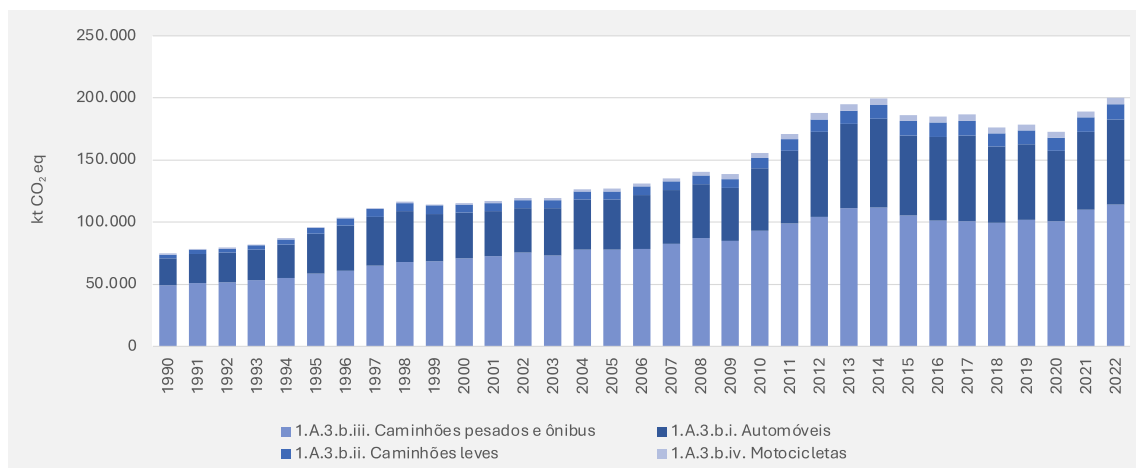


Figura 4.10. Emissões do Transporte Rodoviário, em kt CO₂ eq por subcategorias de veículos, de 1990 a 2022.

4.6.4.1 Aspectos metodológicos

4.6.4.1.1 Transporte Rodoviário

Enquanto as emissões de transporte ferroviário e marítimo foram estimadas sobre o consumo energético (*top-down*), como apresentado no item 4.6.1, o modelo empregado para estimar as emissões de GEE provenientes da Subcategoria Transporte Rodoviário (1.A.3.b) deriva dos procedimentos utilizados no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (Brasil, 2014), no estudo IBTS (2019) e no Inventário da Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2020). É adotada uma abordagem *bottom-up*, que estima as emissões de GEE e poluentes atmosféricos por meio da desagregação setorial do uso final de energia. Permite-se, portanto, identificar onde e como as emissões ocorrem para cada categoria de veículo inventariada. Simultaneamente, as emissões calculadas pela abordagem *bottom-up* são ajustadas com uma abordagem *top-down*, que utiliza dados agregados sobre a oferta de combustíveis.

A frota modelada considera variações quanto ao tipo de veículo (motocicletas, caminhões, entre outros); porte (semileves, leves, pesados etc.); e motor, incluindo variações do sistema de propulsão (ciclo Otto, diesel). O Quadro 4.5 descreve as categorias modeladas no modo rodoviário.

Quadro 4.5. Categorias de veículos com emissões modeladas no NIR 2024.

Categoria	Descrição	Motor/Sistema de propulsão
Motocicletas	Veículo automotor de duas rodas, com ou sem <i>sidecar</i> , dirigido em posição montada	Otto / Gasolina Otto / <i>Flexible-fuel</i>
Automóveis	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, exclusive o condutor	Otto / Gasolina Otto / Etanol Otto / <i>Flexible-fuel</i> Otto / GNV Híbrido
Comerciais leves	Veículo automotor destinado ao transporte de pessoas ou carga, com peso bruto total de até 3.500 kg	Otto / Gasolina Otto / Etanol Otto / <i>Flexible-fuel</i> Otto / GNV Diesel
Micro-ônibus	Veículo automotor de transporte coletivo	Diesel
Ônibus urbanos		Diesel

Categoria	Descrição	Motor/Sistema de propulsão
Ônibus rodoviários		Diesel
Caminhões semileves (PBT > 3,5 t < 6 t)		Diesel
Caminhões leves (PBT ≥ 6t < 10 t)	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroçaria, e Peso Bruto Total (PBT) superior a 3.500 kg	Diesel
Caminhões médios (PBT ≥ 10 t < 15 t)		Diesel
Caminhões semipesados (PBT ≥ 15 t; PBTC < 40 t)		Diesel
Caminhões pesados (PBT ≥ 15 t; PBTC ≥ 40 t)		Diesel

Utiliza-se uma abordagem *bottom-up Tier 3* (IPCC, 2006) para os gases não CO₂, na qual os fatores de emissão variam conforme a tecnologia do veículo. Ademais, emprega-se uma abordagem *bottom-up Tier 2* para a estimativa das emissões de CO₂. Logo, o protocolo para cálculo do Inventário de Emissões é estruturado com base em cinco informações:

- Frota circulante: obtida com base no histórico de vendas de veículos novos; curvas de sucateamento; fração de veículos *flexible-fuel* e conversão de veículos para uso de GNV;
- Fator de emissão: obtido com base em relatórios técnicos de instituições nacionais. Considera-se o incremento de emissão para gases não CO₂ em decorrência da deterioração do veículo por acúmulo de rodagem;
- Intensidade de uso: obtida pela intensidade de uso de referência e pelo fator de correção, calibrado por categoria de veículo pela confrontação entre consumo energético anual observado (BEN) e o consumo energético estimado (bottom-up);
- Atividade de transporte: calibrada de acordo com os estudos IBTS (2019) e Briand *et. al* (2023); e
- Consumo energético: obtido a partir do rendimento energético (km/l) e intensidade de uso de cada categoria de veículo, tecnologia e ano de fabricação.

As equações expostas no Quadro 4.6 são utilizadas para o cálculo das emissões dos gases CO₂ e não CO₂.

Quadro 4.6. Equações para estimar as emissões dos gases inventariados do Transporte Rodoviário.

Equações	GEE	Subcategoria	Equação central	Referência
Equação 4.3	CO ₂	1.A.3.b	$E = \sum_{a,b} (C_{a,b} * FE_{a,b})$	Equação 3.2.1 (IPCC (2006), v. 2, cap. 3)
Equação 4.4	Não CO ₂	1.A.3.b	$E = \sum_{a,b} (Iu_{a,b} * FE_{a,b})$	Equação 3.2.5 (IPCC (2006), v. 2, cap. 3)

Em que:

E = taxa anual de emissão do gás considerado (g/ano);
C = combustível consumido (l);
FE = fator de emissão do GEE considerado, expresso em termos da massa de poluentes emitida por km percorrido (g/km) ou por volume de combustível consumido (kg/l ou kg/m³);
Iu = intensidade de uso do veículo do ano-modelo considerado (km/ano);
a = tipo de combustível utilizado; e
b = ano-modelo de veículo considerado.

No caso dos veículos convertidos para o uso de GNV, utiliza-se uma abordagem *top-down* para estimar as emissões de GEE. Nesse caso, as emissões são estimadas a partir do consumo anual de GNV observado (m³), disponibilizado no BEN, multiplicando-o por um fator de emissão médio para cada gás, sendo os gases não CO₂ em unidades de grama por metro cúbico (g/m³) e o CO₂ em quilograma por metro cúbico (kg/m³). Dessa forma, para a correta estimativa da frota circulante, abate-se da frota original a parcela dos veículos que foram convertidos para o uso de GNV.

Salienta-se que as estimativas da abordagem *bottom-up* são calibradas com os resultados da *top-down*, resultando no mesmo valor absoluto de consumo energético e emissões (de CO₂) para ambas as abordagens. Nesse caso, o processo de ajuste do consumo energético é conduzido por ano-modelo de veículo, considerando valores de referência de ocupação e lotação média dos veículos automotores.

Para gases não CO₂, as emissões são estimadas a partir da quilometragem total percorrida por ano-modelo de veículo e fatores de emissões específicos. Portanto, as emissões desses gases por uma abordagem *bottom-up* são diferentes das obtidas por uma abordagem *top-down*. Para o Inventário de transporte rodoviário, consideram-se, como abordagem *bottom-up*, as estimativas feitas a partir da combinação da frota circulante, intensidade de uso e rendimento energético.

A frota circulante é calculada a partir do abatimento da quantidade estimada de veículos que deixaram de circular ao longo do tempo (sucateados) sobre as vendas acumuladas por meio da Equação 4.6, para Ciclo Otto, e Equação 4.7 para Ciclo Diesel (Quadro 4.7).

Quadro 4.7. Equações para estimar a frota circulante.

Equações	Descrição	Observações	Equações central	Referência
Equação 4.5	Frota circulante	Ajustada com os dados do DPVAT ³²	$Fr_{a,V_{md,k}} = (1 - S_{a,V_{md,k}})$	IPCC (2006, v. 2, cap. 3 p. 3.28).
Equação 4.6	Função de sucateamento	Veículos do Ciclo Otto	$S_{a,V_{md,k}} = \exp\{-\exp[a + (b * t)]\}$	IPCC (2006, v. 2, cap. 3 p. 3.28).
Equação 4.7	Função de sucateamento	Veículos do Ciclo Diesel	$S_{a,V_{md,k}} = \frac{1}{\{1 + \exp[a(t - t_0)]\}} + \frac{1}{\{1 + \exp[a(t + t_0)]\}}$	IPCC (2006, v. 2, cap. 3 p. 3.28).

Em que:

$Fr_{a,V_{md,k}}$ = frota circulante estimada, em termos da quantidade de veículos para o ano (a), referente ao veículo (V_{md}) e ao combustível (k);

$V_{md,k}$ = quantidade de veículos vendidos do tipo (v), ano-modelo (md) e combustível (k); e

$S_{a,V_{md,k}}$ = fração de veículos sucateados V_{md} (ano-modelo), que usam combustível (k) e que não compõem mais a frota circulante no ano (a).

A frota convertida para o uso de GNV é estimada com base em informação obtida com a Secretaria Nacional de Trânsito (Senatran, 2023), considerando o mês de dezembro de cada ano. Com base nesse número, a quantidade (veículos convertidos/ano) é sucateada e abatida da frota circulante estimada para o veículo originalmente fabricado. Tem-se, portanto, como estimar a frota circulante desagregada por categoria de veículo, obtendo-se a idade média de cada tipo de veículo.

As variáveis e os coeficientes das equações 4.5 e 4.6 são:

- $S_{a,V_{md,k}}$ = fração de veículos sucateada na idade t;

³² Seguro Obrigatório para Proteção de Vítimas de Acidentes de Trânsito.

- t = idade do veículo;
- t_0 = variável de calibração (veículos Ciclo Diesel);
- a = variável de calibração (veículos Ciclo Otto); e
- b = variável de calibração (veículos Ciclo Otto).

Os parâmetros estabelecidos para os coeficientes de calibração a e b são: 1,798 e -0,096, no caso de automóveis e veículos convertidos para o uso de GNV; 1,618 e -0,141, para comerciais leves; 0,15 e -0,175, para motocicletas com até quatro anos de uso; e 0,8 e -0,0931, para motos acima de quatro anos de uso.

Para os veículos do tipo comercial leve com motores do Ciclo Diesel, ônibus e caminhões, adotam-se os valores para os coeficientes de calibração a e t_0 : 0,17 e 17 para veículos do tipo comercial leve; 0,08 e 19,1 para caminhões; e 0,16 e 19,1 para ônibus.

Os fatores de emissão de GEE não CO₂ são obtidos por meio dos relatórios da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb, 2022) e Brasil (2014). No caso do fator de emissão de CO₂, utiliza-se a unidade original em tC/TJ, convertendo-a para unidade de massa de CO₂ por volume de combustível com base na Equação 4.8 (Quadro 4.8). Os fatores energéticos (tep/m³) por tipo de combustível são corrigidos anualmente com base nas matrizes históricas do BEN (2023).

Quadro 4.8. Equação de conversão do fator de emissão de CO₂.

Equações	Descrição	Equação central	Referência
Equação 4.8	Fator de emissão para CO ₂	$\frac{kgCO_2}{l} = \frac{tC}{TJ} * \frac{TJ}{tep} * \frac{tep}{m^3} * \frac{44}{12}$	Equação 3.2.2 (IPCC (2006), v. 2, cap. 3)

Em que,

kg CO₂/l = fator de emissão calculado em kg de dióxido de carbono por litro de combustível;
 tC/TJ = fator de emissão em toneladas de carbono por terajoule;
 TJ/tep = fator de conversão de unidades de energia, de terajoule para toneladas equivalentes de petróleo (tep); e
 tep/m³ = densidade energética em tep/m³.

As densidades energéticas aplicadas por combustíveis e por ano constam na Tabela 4.1. Por sua vez, a Tabela 4.2 apresenta o fator de emissão em toneladas de carbono por terajoule.

Tabela 4.1. Densidade energética em tep/m³ por combustível consumido no transporte rodoviário.

Ano	Gasolina	Etanol hidratado	Etanol anidro	Diesel mineral	Biodiesel	GNV
1990	0,7867	0,5097	0,5339	0,8750	NO	0,8796
1991	0,7867	0,5097	0,5339	0,8707	NO	0,8796
1992	0,7867	0,5097	0,5339	0,8707	NO	0,8796
1993	0,7867	0,5097	0,5339	0,8707	NO	0,8796
1994	0,7867	0,5097	0,5339	0,8707	NO	0,8796
1995	0,7867	0,5097	0,5339	0,8707	NO	0,8796
1996	0,7867	0,5097	0,5339	0,8707	NO	0,8796
1997	0,7867	0,5097	0,5339	0,8707	NO	0,8796
1998	0,7807	0,5097	0,5339	0,8621	NO	0,8796
1999	0,7770	0,5097	0,5339	0,8568	NO	0,8796
2000	0,7733	0,5097	0,5339	0,8509	NO	0,8796

Ano	Gasolina	Etanol hidratado	Etanol anidro	Diesel mineral	Biodiesel	GNV
2001	0,7696	0,5097	0,5339	0,8484	NO	0,8796
2002	0,7700	0,5100	0,5340	0,8480	NO	0,8800
2003	0,7700	0,5100	0,5340	0,8480	NO	0,8800
2004	0,7700	0,5100	0,5340	0,8480	NO	0,8800
2005-2022	0,7700	0,5100	0,5340	0,8480	0,7920	0,8800

Notações: NO – não ocorreu a produção de biodiesel no Brasil nos anos indicados.

Tabela 4.2. Fator de emissão em toneladas de carbono por terajoule para o transporte rodoviário.

Ano	Gasolina	Etanol hidratado	Etanol anidro	Diesel mineral	Biodiesel	GNV
1990-2022	18,9	19,3	19,3	20,2	19,3	15,3

As emissões evaporativas consideram os fatores para os ciclos: *diurnal*, *hotsoak* e *running losses* (Cetesb, 2023). Além disso, os fatores de emissões dos três ciclos foram convertidos de g/viagem para g/km ao se dividir pelo fator de 8 (km), conforme aplicado no estudo Brasil (2014) e ANTP (2008). É importante ressaltar que os fatores de emissão para motocicletas, expostos em Cetesb (2023), são estratificados pelas seguintes faixas de cilindradas: inferior ou igual a 150 cc, de 151 a 500 cc e acima ou igual a 501 cc (para veículos fabricados até 2009) e inferior ou igual a 150 cc e acima de 150 cc (a partir de 2010).

Essa característica inviabiliza a adoção de um único fator para a categoria de veículo e por ano-modelo. Desta forma, optou-se por calcular a média ponderada dos fatores de emissão com base na participação das vendas de cada perfil da frota, exposta nos relatórios recentes da Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (Abraciclo, 2023).

Os ensaios de durabilidade estabelecidos pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) verificam se os limites de emissão estabelecidos são respeitados por no mínimo 80.000 km ou cinco anos de uso (média de 16.000 km/ano). Assim, dado que os ensaios de durabilidade estabelecidos pelo PROCONVE não contemplam os GEE diretos CO₂, N₂O e CH₄, serão considerados na deterioração apenas os gases precursores.

Conforme proposto em Brasil (2014), os fatores de emissão de GEE precursores (exceto NO_x) para os veículos não equipados com catalisadores, majoritariamente anteriores a 1994, deterioram linearmente 20% em relação ao fator de emissão de um veículo novo, até o veículo atingir 160.000 km de uso. A partir disso, o fator de emissão permanece constante até o fim da vida útil do veículo.

Os dados de rendimento energético por categoria de veículo foram obtidos por meio dos estudos Brasil (2014), IBTS (2019) e Cetesb (2023). Para veículos do tipo *flexible-fuel*, necessita-se inferir a quantidade de veículos que abastecem com etanol hidratado e Gasolina C (curva *flex*). Deve-se, portanto, desagregar da frota de veículos *flexible-fuel* as frações de usuários que optam por cada tipo de combustível líquido, utilizando como parâmetros os dados do estudo do Brasil (2014) até o ano de 2012; enquanto para os anos seguintes, a fração é ajustada a partir da proporção entre o preço final do etanol hidratado e do preço da Gasolina C (ANP, 2024). Além disso, verifica-se a consistência com a evolução da proporção do consumo de ambos os combustíveis (EPE, 2023).

O Quadro 4.9 mostra a equação para cálculo do consumo energético de cada categoria de veículo (ano-modelo).

Quadro 4.9. Equações para cálculo e ajuste do consumo energético

Equações	Transporte rodoviário	Equação central	Referência
Equação 4.9	Consumo energético	$C_i = Fr_i \cdot \frac{Iui}{Ql_i}$	IPCC (2006, v. 2, p. 3.26)
Equação 4.10	Confrontação com a abordagem <i>top-down</i>	$C_t = \sum_i C_i$	IPCC (2006, v. 2, p. 3.26)
Equação 4.11	Intensidade de uso ajustada	$Iu_{i,ajustado} = Iu_i \cdot \frac{C_t \text{ observado}}{C_t}$	IPCC (2006, v. 2, p. 3.25)
Equação 4.12	Consumo energético ajustado	$C_{i,ajustado} = Fr_i \cdot \frac{Iu_{i,ajustado}}{Ql_i}$	IPCC (2006, v. 2, p. 3.25)

Em que,

C_i = consumo anual de combustível do veículo do tipo i (l/ano);
 C_t = consumo total anual de um tipo de combustível (l/ano);
 Fr_i = frota em circulação do veículo do tipo i (unidade/ano);
 Iui = intensidade de uso de referência do veículo do tipo i (km/ano);
 Ql_i = rendimento energético do veículo do tipo i (km/l);
 $Iui, ajustada$ = intensidade de uso anual ajustada do veículo do tipo (km/ano);
 $C_t \text{ observado}$ = consumo anual agregado de um tipo de combustível (l/ano); e
 $C_i, ajustado$ = consumo de combustível anual ajustado do veículo do tipo i (l/ano).

Caso o consumo estimado do veículo i seja diferente do observado com base na abordagem *top-down*, ajusta-se a sua intensidade de uso, visto ser a variável do transporte rodoviário com maior incerteza associada. É importante reforçar que o consumo observado deve balizar o consumo estimado (*bottom-up*), pois a quantidade de incertezas do método desagregado é maior.

Com base no somatório do consumo energético de cada categoria de veículo e ano-modelo, pode-se estimar o consumo total por tipo de combustível. Por conseguinte, o consumo por tipo de veículo (i) é ajustado pela nova intensidade (Iui , ajustada) com base na Equação 4.11. Posteriormente, o valor é ajustado com base na Equação 4.12. Os fatores de emissão implícitos por GEE modelados na categoria Transporte Rodoviário (1.A.3.b) são apresentados nas Tabelas A.IV.1 a A.IV.8 do Apêndice IV. Os fatores implícitos para os anos de 2017 a 2022 repetiram os resultados de 2016.

4.6.4.1.2 Aviação Doméstica

A Equação 4.13 segue a abordagem utilizada para cálculo das emissões de atividades da Aviação Doméstica (1.A.3.a). No transporte aéreo, há uma discrepância nos valores de consumo de combustível entre os dados do BEN e a abordagem *bottom-up* modelada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Essa discrepância surge em razão do conceito de *bunker* utilizado pelo BEN, que inclui os combustíveis consumidos por empresas estrangeiras, enquanto a modelagem *bottom-up* considera os combustíveis consumidos em trajetos internacionais, independentemente da nacionalidade da aeronave.

A distribuição entre emissões domésticas e *bunker* segue o critério estabelecido pela modelagem *bottom-up*. Além disso, a diferença entre o total (doméstico e *bunker*) do BEN e da modelagem foi atribuída à categoria 1.A.5.b (não especificado, móvel, componente aviação), sob a premissa de que a abordagem *bottom-up* não inclui valores relacionados a helicópteros, pequenas aeronaves e aeronaves militares.

Ajustes anuais entre os períodos 1990-2004 foram realizados por meio do método *overlap*, aplicando fatores de correção no consumo energético observado (BEN). Os fatores de correção foram calculados a partir dos resultados da abordagem *Tier 3a* para o intervalo 2005-2016. O período 2017-2022 foi calculado a partir dos fatores de emissão implícitos obtidos em 2016.

Quadro 4.10. Equações para estimar as emissões dos gases inventariados da Aviação Doméstica.

Equações	GEE	Subcategorias	Equação central	Referência IPCC (2006)
Equação 4.13	CO ₂ e não CO ₂	1.A.3.a	Ciclo LTO: $E_{g,a,f,p} = nM_a * Fc_{a,f} * T_{a,f,p} * FE_{g,a,f}$	Tier 3a (EMEP/EEA, 2017)
			Ciclo Cruise: $E_{g,a,f,p} = M_{a,d,g} * Y1_{a,g} + (Y2_{a,g} - Y1_{a,g}) * \frac{(d - X1)}{(X2 - X1)}$	
			APU: $E_{g,a,f} = Fc_{a,f} * T_{a,f,o} * FE_{g,a,f}$	

Em que:

E = Emissão, expressa em kg, do gás g pela aeronave “ a ” na fase de voo f no aeródromo p ;
 nM = Número de motores da aeronave a ;
 Fc = Fluxo de combustível, em kg/s, de cada motor da aeronave a na fase f ;
 t = Tempo, em segundos, que a aeronave a permanece na fase de voo f no aeródromo p ;
 FE = Fator de emissão do gás, em kg/kg, da aeronave a na fase f .
 M = Massa expressa em kg do combustível consumido ou do gás emitido g no voo de distância d percorrida pela aeronave a ;
 d = Distância de voo em km calculada entre os aeródromos de origem e destino;
 $X1$ = Distância tabelada imediatamente inferior à distância d ;
 $X2$ = Distância tabelada imediatamente superior à distância d ;
 $Y1$ = Massa de combustível consumida ou massa do gás g emitida tabelada para a aeronave a para a distância $X1$; e
 $Y2$ = Massa de combustível consumida ou massa do gás g emitida tabelada para a aeronave a para a distância $X2$.

4.6.5 Outros setores e Não Especificado

A Categoria Outros Setores (1.A.4) cobre as emissões de combustão provenientes das atividades comerciais, residenciais e de agricultura, silvicultura, pesca e piscicultura. A categoria Não Especificado (1.A.5) abrange todas as demais atividades de transporte, incluindo transporte por oleodutos, atividades terrestres em aeroportos e portos, e atividades fora de estrada não relatadas em 1.A.4.c Agricultura ou 1.A.2 Indústrias de Fabricação e Construção.

A Figura 4.11 resume as emissões da categoria Outros Setores (1.A.4).

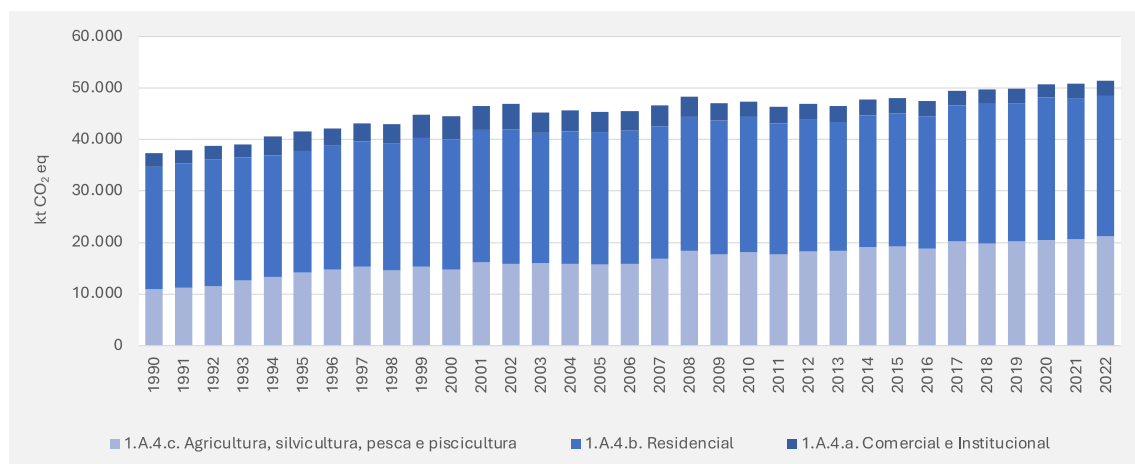


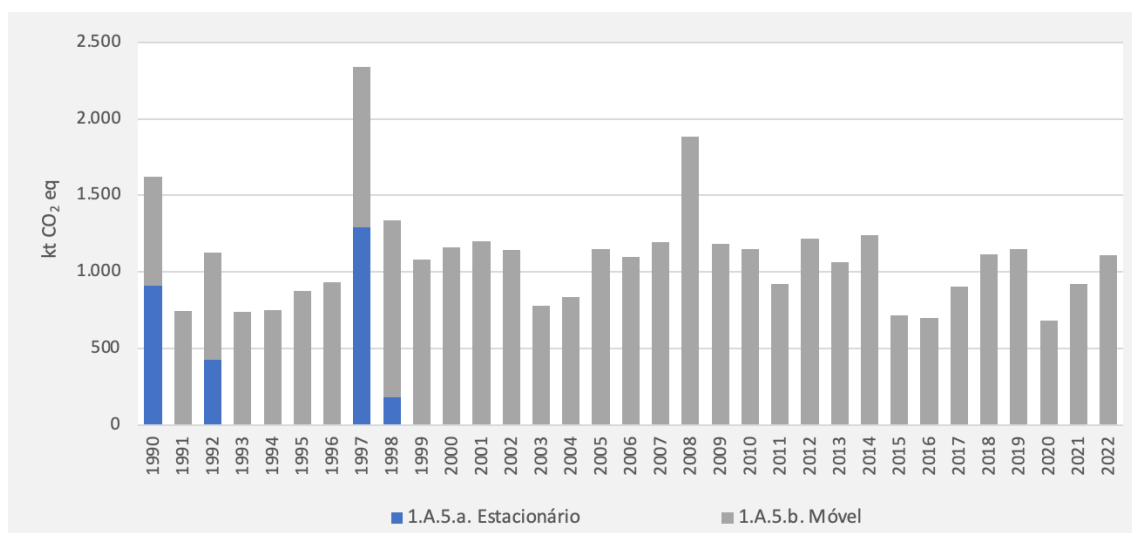
Figura 4.11. Emissões de Outros Setores, em kt CO₂ eq por subcategorias, de 1990 a 2022.

O montante emitido aumentou 1% nos últimos dois anos da série temporal. A maior subcategoria emissora, Residencial (1.A.4.b), teve queda de 2%. Esse resultado pode ser explicado pela maior penetração de eletricidade a partir da energia solar, consoante com um maior consumo de lenha e queda no uso de GLP.

As emissões da Subcategoria Comercial e Institucional aumentaram 20%, motivadas pelo crescimento do consumo de gás natural seco e GLP. Por fim, a Subcategoria Agricultura, silvicultura, pesca e piscicultura teve um leve aumento de 3%, justificado por um crescimento marginal no consumo de diesel.

No que se trata da Subcategoria Não Especificado (1.A.5), observou-se em 2022 que as emissões se concentraram na Subcategoria Móvel (1.A.5.b), especificamente no componente aviação. Os resultados apontam para um crescimento de 61%, motivada pela perda de atividade decorrente das medidas restritivas da pandemia da COVID-19.

A Figura 4.12 resume as emissões da Categoria Não Especificado (1.A.5).

**Figura 4.12.** Emissões da categoria Não especificado, em kt CO₂ eq, de 1990 a 2022.

4.6.6 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de garantia de qualidade/controle de qualidade (QA/QC) para o Subsetor Queima de Combustíveis (1.A) foram aplicados de acordo com o plano de QA/QC descrito na Seção 2.5 deste NIR, estando em consonância com o Volume 1, Capítulo 6 das Diretrizes do IPCC de 2006.

Além disso, no NIR 2024 para o Setor Energia, passou-se a comparar os resultados energéticos da categoria-chave Transporte (1.A.3), responsável em 2022 por 52% das emissões de kt CO₂ eq, com dados de atividade do transporte de passageiros (pass-km) e carga (t-km) de cada modo de transporte. Obteve-se, portanto, valores de intensidade energética (KJ/pass-km e KJ/t-km) com vistas a verificar se as flutuações nas emissões apresentadas na Seção 4.6.4 estão alinhadas com dados de atividades de fontes distintas às adotadas no presente Inventário. A divisão entre tipo de atividade (passageiros e carga) foi realizada com base no uso de energia por modo, quando exclusivo para um determinado tipo, bem como por meio dos estudos Briand *et al.* (2023; 2024). Detalhes adicionais acerca das fontes de dados podem ser consultados no Quadro A.IV.1 do Apêndice IV.

As Figuras 4.13 e 4.14 ilustram a intensidade energética para a categoria transporte, separada por tipo de atividade (passageiros e carga).

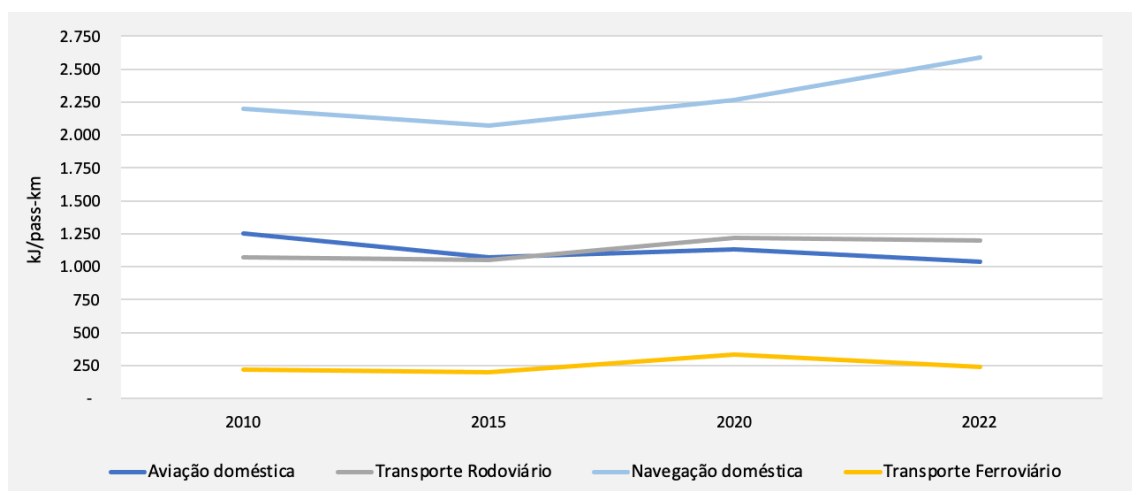


Figura 4.13. Intensidade energética por modo para o transporte de passageiros.

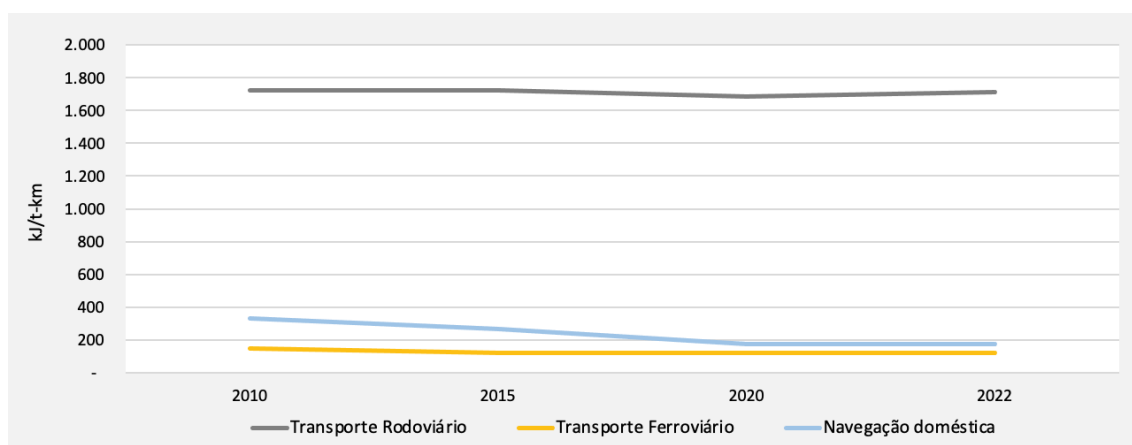


Figura 4.14. Intensidade energética por modo para o transporte de carga.

Conforme Figura 4.13, em 2020, a intensidade energética sofreu um leve aumento em todos os modos de transporte de passageiros relativamente a 2019. Isso reflete o maior impacto que a atividade teve perante as medidas restritivas para mitigar os efeitos da pandemia da COVID-19, mediante redução da ocupação média dos modos. Tal efeito foi acentuado nos serviços de transporte público por ônibus, metrô, Veículos Leve sobre Trilhos (VLTs) e trens metropolitanos, haja vista a necessidade de manter uma estabilidade na oferta mesmo diante de uma demanda restrita.

Nos anos seguintes, parte do aumento da intensidade energética foi recuperada, com exceção do transporte aquático (barcas). Esse modo é intensivo nos estados do Rio de Janeiro e Amazonas, sendo verificado o aumento contínuo na redução da ocupação, mantendo o padrão de oferta (Briand *et al.*, 2023).

Na outra vertente, o transporte de carga não foi significativamente impactado no ano inicial da pandemia (2020), uma vez que havia a necessidade de manter o fluxo contínuo de suprimentos diversos. Diferentemente do caso do transporte de passageiros por barcas, o transporte por

cabotagem e navegação interior tem se tornado mais energeticamente eficiente,³³ justificando em parte a queda contínua das emissões de GEE desses modos.

Logo, a análise de QC para a categoria Transporte (1.A.3), ao confrontar dados de atividade de carga (t-km) e passageiros (pass-km) com os respectivos consumos energéticos, corrobora com as flutuações nas emissões expostas nas seções precedentes de NIR 2024. Assim, os dados estimados de uso de energia e emissões de GEE são suportados por informações sobre atividade advindas de múltiplas fontes.

O Quadro A.IV.1 do Apêndice IV resume as fontes de dados consideradas no QC.

4.6.7 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada uma análise da incerteza usando os métodos e as técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). O processo de atualização do Inventário Nacional considerou a revisão das séries históricas de consumo de energia, atividade e fatores de emissão. Majoritariamente, esse processo resultou em ajustes, embora pequenos, nas matrizes históricas do Balanço Energético Nacional (BEN, 2023). Em síntese, os principais ajustes decorrem de:

Emissões de origem fóssil:

- *Coquerias (1998-2009)*: revisão do consumo de coque de petróleo em coquerias;
- *Centrais elétricas. autoprodutoras + Consumo na geração para autoprodução (2012-2020)*: Aumento do consumo de gás natural úmido e diesel;
- *Geração para autoprodução – Setor energético (Petróleo-Exploração) (2012-2020)*: Aumento do consumo de gás natural úmido e diesel;
- *Consumo no Setor energético (Petróleo-Exploração) (2012-2020)*: Redução no consumo de diesel e leve aumento no de óleo combustível;
- *Carvão mineral (1996-2022)*: deslocamento do consumo de gás canalizado (RJ) do Setor Elétrico (linha 120) para “carvão mineral e outros” (linha 121 do BEN);
- *Transporte hidroviário (2019)*: redução do consumo de diesel e óleo combustível;
- *Transporte hidroviário (2020)*: redução do consumo de diesel e aumento do consumo de óleo. combustível; e
- *Cimento (2020)*: redução do consumo de carvão CE 6000.

Emissões de origem renovável:

- *Carvoarias (2013-2020)*: aumento do consumo de lenha;
- *Cimento (2020)*: aumento do consumo de “Outras renováveis” (Biomassa); e
- *Ferroligas (2013-2016)*: aumento do consumo de carvão vegetal.

Além da variação do consumo energético na série histórica, a incerteza associada à principal categoria-chave do Setor Energia (Transporte – 1.A.3) se origina da divisão do consumo energético de diesel e biodiesel entre o transporte de passageiros (ônibus) e carga (comerciais leves e caminhões). Para isso, foram utilizados dados de atividade (t-km e pass-km), bem como de intensidade energética (kJ/t-km, kJ/pass-km) para dividir o consumo de energia entre tipos de

³³ Confrontando dados de movimentação portuária da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2023), com o consumo de óleo combustível no transporte hidroviário (EPE, 2023).

atividade, permitindo uma maior acurácia do cálculo de emissões.³⁴ Outros modos de transporte e categorias do Inventário de Energia apresentam uma divisão mais nítida do consumo entre combustíveis, facilitando o cálculo de fatores desagregados. Mais detalhes sobre as fontes de dados utilizadas nessa divisão podem ser vistos no Apêndice IV.

Considerando os resultados consolidados do Inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, o ajuste médio foi de 0,01%, o que demonstra a consistência da série temporal do Subsetor (Figura 4.15).

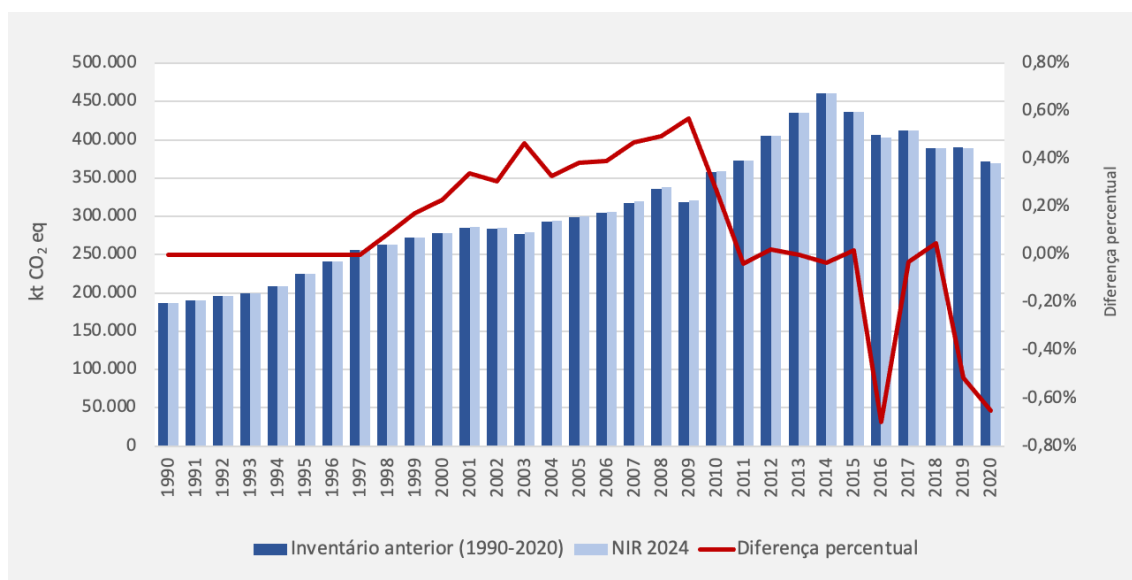


Figura 4.15. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Atividades de Queima de Combustíveis (1.A) entre os inventários.

4.6.8 Plano de melhoria

A experiência acumulada na elaboração periódica dos Inventários Nacionais de GEE propiciou a proposição de uma série de medidas de melhoria da consistência e maior detalhamento dos resultados do Inventário. Assim, o Quadro 4.11 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para eventual implementação em futuras edições.

Quadro 4.11. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Atividades de Queima de Combustíveis (1.A).

³⁴ Haja vista que cada ano-modelo de veículo emite gases não CO₂ em intensidades bastante distintas.

Subsetor	Categoria	Melhoria
1.A. QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS	Geral (todas as categorias)	▪ Alinhar parcerias com vistas a incentivar a atualização do Balanço de Energia Útil. ▪ Alinhar Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias para incentivar a coleta e fornecimento contínuo de fatores de emissão de CO₂ de combustíveis. ▪ Alinhar Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias para incentivar a coleta e fornecimento contínuo de fatores de emissão não CO₂, considerando a queima estacionária para fontes energéticas.
	1.A.3.b. Transporte Rodoviário	▪ Alinhar parcerias com as associações de fabricantes de veículos automotores, visando ao detalhamento contínuo de dados das vendas de veículos eletrificados, separando-os em BEV (Veículos Elétricos a Bateria), PHEV (Veículo Elétrico Híbrido Plug-in) e HEV (Veículo Elétrico Híbrido). ▪ Alinhar parcerias com entidades da categoria Transporte, buscando alinhar o formato contínuo dos dados sobre frotas de automóveis e comerciais leves convertidos para o uso de GNV; ▪ Alinhar parcerias com as associações de fabricantes de veículos automotores, visando avaliar a viabilidade de ampliar a sistematização de dados para as categorias automóveis e comerciais leves do Ciclo Otto, desagregando-as por porte ou motorização.
	1.A.3.a. Aviação doméstica	▪ Alinhar Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias para incentivar a padronização dos dados da classificação da energia de <i>bunker</i> e doméstico por entidades do setor.
	1.A.3.d. Navegação doméstica	

4.7 Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis (CRT 1.B)

Os GEE emitidos acidentalmente ou intencionalmente durante a extração, o processamento, o armazenamento e o transporte de combustíveis fósseis até o seu uso final são referidos como emissões fugitivas. Dessa maneira, a categoria Emissões Fugitivas (1.B), está relacionada com as emissões fugitivas dos sistemas de produção de combustíveis.

No Brasil, essas emissões se referem ao processo de mineração e beneficiamento do carvão mineral (1.B.1.a. Mineração e Manejo do Carvão), além daquelas associadas ao processo de extração, transporte e processamento de petróleo e gás natural (1.B.2. Petróleo e Gás Natural). Dadas as características nacionais, para a Mineração e Manejo do Carvão (1.B.1.a) foi estimado apenas o CH₄, enquanto para a categoria Petróleo e Gás Natural (1.B.2) foram considerados os gases CO₂, CH₄ e N₂O.

Entre 2020 e 2022, as emissões fugitivas cresceram 10%, mantendo o ritmo histórico de 5% a.a. ao longo da série histórica inventariada (1990-2022). No recorte de dois anos, as emissões oriundas da cadeia de petróleo e gás natural aumentaram 9%, enquanto as decorrentes das atividades de extração de combustíveis sólidos aumentaram 26%. No total, a categoria 1.B.1 Combustíveis Sólidos respondeu por apenas 7%, enquanto a categoria 1.B.2 Petróleo e Gás Natural contabilizou 93% das emissões fugitivas. Dos gases estimados no Subsetor (1.B), o CO₂ representou 73,9% das emissões em 2022, seguido por CH₄ e N₂O com 25,8% e 0,3%, respectivamente.

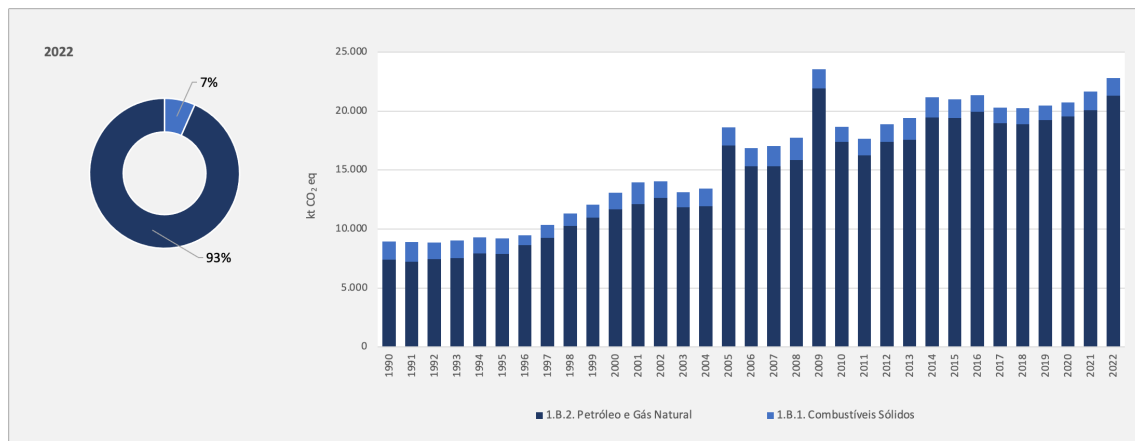


Figura 4.16. Emissões do Subsetor Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis, em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

O crescimento da categoria Combustível Sólidos (1.B.1) decorre do aumento da atividade de produção de carvão ROM (*Run-of-Mine*)³⁵ em 2021 (32%), apesar da queda de 4% no ano seguinte.

Considerando a categoria que mais emite (1.B.2. Petróleo e Gás Natural e Outras Emissões da Produção de Energia), 93% das emissões de 2022 são advindas da cadeia de produção, transporte e refino de petróleo. A produção de petróleo verificou crescimentos acentuados de 8% em 2019 e 6% em 2020, estabilizando em 2021 (-1%), voltando a crescer 4% em 2022 (ANP, 2024). O restante das emissões da categoria Petróleo e Gás Natural (1.B.2) corresponde à parcela emitida no rejeito de gás natural (ventilação e queima). A Figura 4.17 ilustra essa estratificação.

As emissões da categoria Petróleo e Gás Natural (1.B.2) incluem as emissões fugitivas de CH₄ durante a extração de petróleo e gás natural, seu transporte e distribuição em dutos e navios e seu processamento nas refinarias. Ademais, também são consideradas as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O por queima em tochas (*flare*) nas plataformas de extração de petróleo e gás natural e nas unidades de refinaria. As emissões de CO₂ por queima em tochas, ou combustão não útil, são incluídas como emissões fugitivas, mesmo sendo resultado de combustão, porém estão associadas à perda e não ao consumo útil do combustível. O uso de petróleo e gás natural, ou de seus derivados, para fornecer energia para uso interno na produção de energia e transporte é considerado como combustão e, portanto, tratado no Subsetor Atividade de Queima de Combustíveis (1.A).

³⁵ Minério bruto, obtido diretamente da mina, sem passar por qualquer tipo de beneficiamento.

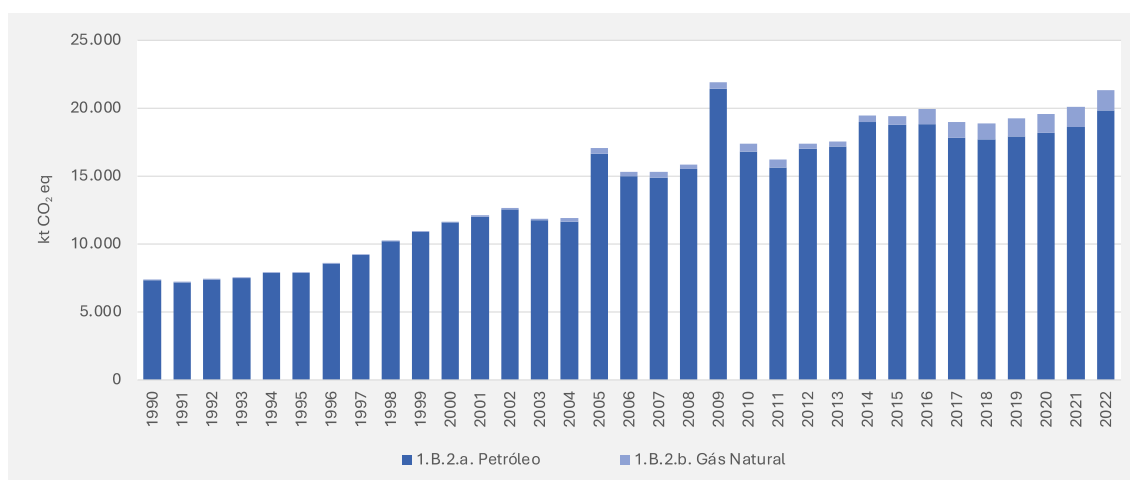


Figura 4.17. Emissões de Petróleo, Gás Natural e Outras Emissões de Produção de Energia, em kt CO₂ eq, de 1990 a 2022.

Ao detalhar as emissões da Subcategoria de Petróleo em Queima (*Flaring*), Ventilação (*Venting*) e Outros,³⁶ têm-se os resultados expostos na Figura 4.18.

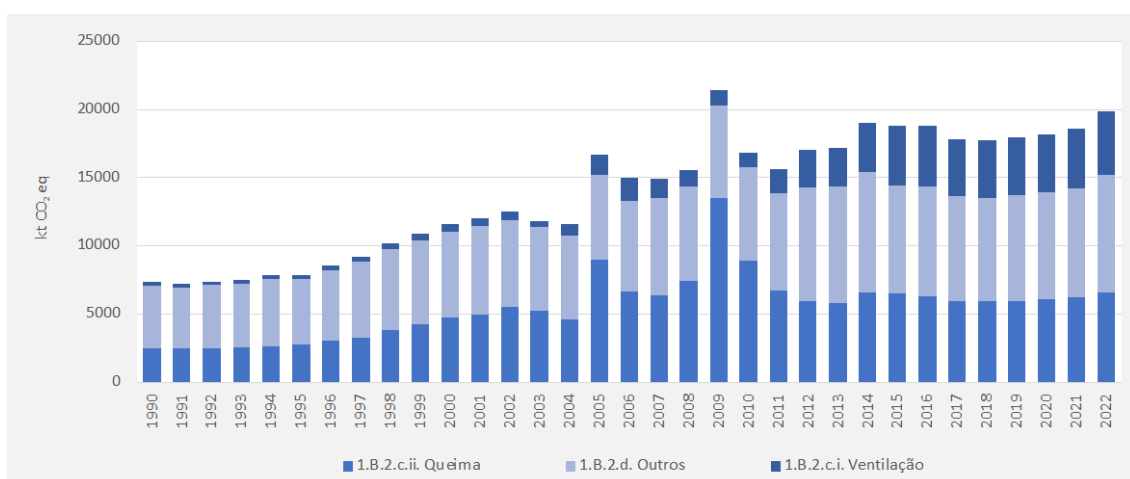


Figura 4.18. Emissões de Petróleo, Gás Natural e Outras Emissões de Produção de Energia, em kt CO₂ eq por subcategoria, de 1990 a 2022.

4.7.1 Aspectos metodológicos

4.7.1.1 Mineração e Manejo de Carvão

As categorias potenciais de fontes de emissões fugitivas para minas de carvão subterrâneas ativas incluem as emissões dos gases presentes nas rachaduras, liberados na atmosfera por meio de sistemas de ventilação e desgaseificação das minas de carvão, além das emissões pós-mineração. Também são consideradas a oxidação a baixa temperatura e a combustão não controlada como fontes significativas de emissões. Após o fechamento, minas de carvão que liberavam CH₄ durante suas operações continuam emitindo metano, a menos que sejam alagadas, o que interromperia

³⁶ Emissões fugitivas provenientes de sistemas de petróleo (exceto ventilação e queima) não consideradas nas categorias mencionadas. Inclui emissões fugitivas de derramamentos e outros vazamentos acidentais, instalações de tratamento de óleo residual e instalações de descarte de resíduos de campos petrolíferos.

essas emissões. Mesmo após o fechamento, ainda pode ocorrer a liberação de CH₄ em decorrência da migração natural do gás ou por meio de dutos artificiais, como canais antigos, tubos de ventilação, rachaduras e fissuras nos estratos sobrepostos. Essas emissões diminuem rapidamente até alcançarem uma taxa quase constante, que pode se manter por um longo período.

No caso das minas de superfície, as categorias de fontes potenciais consideradas incluem CH₄ e CO₂ emitidos durante a mineração a partir da extração do carvão e dos estratos associados, além de outros vazamentos, emissões pós-mineração, oxidação a baixa temperatura e combustão não controlada em locais de disposição. Embora a emissão desses gases seja geralmente menor que em veios de carvão mais profundos das minas subterrâneas, tais emissões não devem ser ignoradas. Assim como no caso das minas subterrâneas, após o fechamento, as minas de superfície abandonadas ou desativadas podem continuar liberando metano através de vazamentos de gás provenientes dos veios de carvão que foram rompidos ou deteriorados durante a mineração.

No Quadro 4.12, estão contempladas as equações aplicadas para estimar as emissões da Mineração e Manejo de Carvão (1.B.1.a) pelo método *Tier 1*.

Quadro 4.12. Equações para cálculo a partir das atividades de mineração e pós-mineração.

Equações	Mineração	GEE	Equação central	Referência
Equação 4.14	Mineração subterrânea	CH ₄	$E_{CH_4} = FE_{CH_4} * Prod_{sub} * FC$	Equação 4.1.3 (IPCC, 2006, v. 2, cap. 4)
Equação 4.15	Pós-mineração subterrânea		$E_{CH_4} = FE_{CH_4} * Prod_{sub} * FC$	Equação 4.1.4 (IPCC, 2006, v. 2, cap. 4)
Equação 4.16	Mineração de superfície		$E_{CH_4} = FE_{CH_4} * Prod_{sup} * FC$	Equação 4.1.7 (IPCC, 2006, v. 2, cap. 4)
Equação 4.17	Pós-mineração de superfície		$E_{CH_4} = FE_{CH_4} * Prod_{sup} * FC$	Equação 4.1.8 (IPCC, 2006, v. 2, cap. 4)

Em que:

E_{CH_4} = emissões de metano (Gg/ano);
 FE_{CH_4} = fator de emissão de metano (m³/t);
 $Prod_{sub}$ = produção subterrânea de carvão (t/ano); e
 $Prod_{sup}$ = produção de carvão por superfície (t/ano).

Em relação às equações 4.14 e 4.15, no processo de seleção do fator de emissão, foram consideradas variáveis específicas, como a profundidade dos principais veios de carvão, para determinar o fator de emissão adequado. De acordo com o IPCC (2006), como o teor de gás geralmente aumenta com a profundidade, a extremidade inferior da faixa deve ser aplicada para profundidades médias de mineração inferiores a 200 metros; para profundidades superiores a 400 metros, o valor mais alto do fator de emissão seria o apropriado. Para profundidades intermediárias, podem ser utilizados valores médios.

No Brasil, uma análise foi realizada com base nos dados fornecidos pela ABCM para definir a faixa de profundidade média das minas subterrâneas brasileiras, subsidiando o estudo do Inventário apresentado na Quarta Comunicação Nacional. Foi possível obter essas informações para 47% das minas subterrâneas do tipo ROM, tanto ativas quanto inativas. Calculou-se a profundidade média dessas minas, resultando em, aproximadamente, 125 metros. Em virtude disso, escolheu-se o fator mínimo de emissão de CH₄ (10 m³/t), que, conforme o IPCC, deve ser aplicado para minas subterrâneas com profundidade de até 200 metros. Para calcular as emissões

pós-mineração em minas subterrâneas, foi utilizada a equação 4.1.4 do IPCC (2006), mantendo a lógica anterior. Para o fator de emissão, também foi selecionado o valor mais baixo ($0,9 \text{ m}^3/\text{t}$).

No caso das equações 4.16 e 4.17, para escolha do fator de emissão na abordagem *Tier 1*, é considerado boa prática usar o limite inferior da faixa de emissão específica para minas com profundidades de sobrecarga média de menos de 25 metros e a extremidade alta para profundidades de sobrecarga acima de 50 metros. Para profundidades intermediárias, podem ser usados valores médios para os fatores de emissão. Na ausência de dados sobre a espessura da sobrecarga, é considerado boa prática usar o fator de emissão médio, ou seja, $1,2 \text{ m}^3/\text{ton}$. Para calcular as emissões pós-mineração em minas de superfície, foi empregada a equação 4.1.8 do IPCC (2006), seguindo o mesmo raciocínio anterior. Para a escolha do fator de emissão, foi considerado o fator médio de $0,1 \text{ m}^3/\text{t}$, alinhado à lógica utilizada na seleção do fator de emissão para a mineração.

A Tabela 4.3 mostra os fatores de emissão por tipo de mina e atividade na Subcategoria Mineração e Manejo de Carvão (1.B.1.a).

Tabela 4.3. Fatores de emissão por tipo de mina e atividade na Subcategoria Mineração e manejo de carvão (1.B.1.a).

Tipos de mina	Mineração	Pós-mineração	Mineração	Pós-mineração
	$\text{m}^3 \text{ CH}_4/\text{t}_{\text{carvão}}$		$\text{kt CH}_4/\text{t}_{\text{carvão}}$	
Subterrâneas	10	0,9	0,0000067	0,000000603
Superficiais	1,2	0,1	0,000000804	0,000000067

4.7.1.2 Petróleo e Gás Natural

O sistema de petróleo e gás natural abrange toda a infraestrutura necessária para produzir, coletar, processar ou refinar e entregar gás natural e produtos derivados de petróleo ao mercado. Esse sistema começa no poço ou na fonte de óleo e gás e se estende até o ponto final de venda ao consumidor. No Brasil, as atividades para as quais são estimadas as emissões de GEE para o sistema de petróleo e gás natural no Brasil são: Produção de petróleo e gás natural; Refino de petróleo e processamento de gás natural; e Transporte de petróleo e gás natural.

A extração de óleo e gás natural de formações subterrâneas é realizada por meio de poços *onshore* e *offshore*. No Brasil, geralmente, ambos os combustíveis são extraídos simultaneamente da mesma formação geológica e depois separados. Como o CH_4 é o principal componente do gás natural, vazamentos ou ventilações que ocorrem no sistema de extração e nas etapas de processamento primário do petróleo e gás resultam em emissões de metano (CH_4), além das emissões de CO_2 , CH_4 e N_2O provenientes da queima em tochas (*flare*).

No processo de refino, as refinarias transformam o petróleo em uma variedade de produtos de hidrocarbonetos, como gasolina, diesel e querosene. Essa atividade engloba processos de separação, conversão e tratamento, bem como o armazenamento de frações básicas e produtos finais. Em decorrência da diversidade de unidades de processamento, armazenamento e linhas de fluidos (gás ou líquido), existem várias fontes potenciais de vazamentos, ventilação e queima em tochas (*flare*), além das emissões das Unidades de Geração de Hidrogênio (UGH) e das Unidades de Craqueamento Catalítico Fluido (UFCC).

Durante o Processamento de Gás Natural, ainda na fase de produção, o gás passa por um tratamento inicial, conhecido como condicionamento do gás natural, que envolve processos como desidratação e remoção de compostos ácidos. Esse tratamento visa garantir a transferência segura e contínua do gás dos campos de produção para as Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGNs) por meio de gasodutos. Nas UPGNs, o gás é separado da fase líquida (água e hidrocarbonetos líquidos), desidratado para remover a água residual, resfriado e fracionado em

produtos específicos para distribuição ao consumidor final. As correntes produzidas pelas UPGNs incluem metano e etano, que compõem o gás natural para venda, propano e butano para GLP (gás liquefeito de petróleo) ou uso doméstico, e a gasolina natural ou C5+, que consiste em hidrocarbonetos com mais de 5 carbonos. A corrente C5+, geralmente sem uma aplicação específica definida, é frequentemente reinjetada em correntes de petróleo em várias UPGNs.

O petróleo extraído é conduzido para as refinarias através de navios e dutos, nos quais é armazenado em tanques por um período determinado. No Brasil, o gás produzido é exclusivamente transportado por meio de dutos. No que diz respeito às emissões fugitivas de GEE no transporte, são considerados vazamentos e ventilações que ocorrem nas linhas de transporte de gás, além das emissões provenientes de tochas instaladas ao longo da rede de gasodutos. As principais atividades relacionadas ao transporte e distribuição de gás natural incluem os gasodutos e sistemas de distribuição.

Em síntese, o NIR 2024 abrange áreas específicas com fontes de emissões fugitivas, incluindo Exploração e Produção (E&P), Refino e Transporte. Logo, foram considerados os seguintes processos e equipamentos como fontes de emissão:

- E&P: Tochas (*flares*); ventilação de gás; *flash* de metano em tanques; processo de desidratação com glicol; processo de remoção de CO₂ do gás (MEA/DEA); passagem de PIG em linhas; fugitivas em componentes de linhas (flanges, conectores, válvulas, selos de bomba e compressor, drenos e outros); atividades de perfuração; derramamento de petróleo em canaletas; tanque de ventilação atmosférica; despressurização; e limpeza de tanques e vasos.
- Refino: Regenerador de UFCC; UGH; fugitivas em componentes de linhas (flanges, conectores, válvulas, selos de bomba e compressor, drenos e outros); tochas (*flares*); ventilação de gás; processo de desidratação com glicol; e passagem de PIG em linhas.
- Transporte: Descompressão; fugitivas em componentes de linhas (flanges, conectores, válvulas, selos de bomba e compressor, drenos e outros); ventilação de gás; tochas (*flares*); gasodutos; *flash* de metano em tanques; passagem de PIG em linhas; e Carga Caminhão/Vagão E&P.

O método empregado para as estimativas apresentadas neste Inventário segue as diretrizes estabelecidas nos Guias para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa do IPCC, conforme detalhado no Volume 2, Capítulo 4 (IPCC, 2006).

Para estimar as emissões do Setor de E&P entre 1990 e 2002, foi utilizado um fator de emissão implícito do período subsequente, de 2003 a 2008, excluindo o ano de 2005 em razão de resultados atípicos. Esse fator médio foi aplicado à produção nacional, que ocorreu exclusivamente na Petrobras nesse período, para estimar as emissões fugitivas do Setor de E&P como um todo, pois a Petrobras começou a inventariar suas emissões a partir de 2003. A escolha do período de 2003 a 2008 como base para calcular o fator implícito, usado para estimar as emissões entre 1990 e 2002, foi feita para manter um padrão semelhante de queima em tocha, uma fonte de emissão significativa no E&P, especialmente em períodos anteriores. O padrão de queima em tocha mudou nos últimos anos, especialmente a partir de 2010, em razão de esforços da Petrobras para aumentar a utilização do gás produzido.

Para as emissões das demais empresas do Setor de E&P, excluindo a Petrobras, entre 2003 e 2016, foram aplicados fatores de emissão (FE) implícitos anuais. Isso foi feito com base nos dados de emissão (por tipo de gás) e de produção (em barris por dia) da Petrobras. Os FE implícitos anuais da Petrobras para cada ano entre 2003 e 2016 foram então aplicados ao volume anual produzido pelas outras empresas no Brasil.

Para estimar os dados de emissão nacional da área de Refino entre 1990 e 2002, também foi adotado um fator de emissão implícito. Esse fator foi calculado como a relação entre a média das

emissões entre 2003 e 2008 e a carga processada nas refinarias durante o mesmo período. Multiplicando-se esse fator pela carga processada de cada ano, obtiveram-se as estimativas de emissões para o período de 1990 a 2002. A escolha desse intervalo de tempo foi motivada principalmente pelo aumento no padrão de emissões por unidade de combustível produzido nas refinarias nacionais, especialmente acentuado a partir de 2009. Esse aumento está relacionado à melhoria da qualidade dos combustíveis no Brasil, o que tem levado a uma maior complexidade no parque de refino, resultando em maior consumo de energia e aumento na demanda por hidrogênio, produzido a partir da reforma a vapor do gás natural nas UGHs, gerando CO₂ como subproduto da reação.

Para estimar as emissões relacionadas a outras empresas de refino entre 2003 e 2016, também foram utilizados dados de emissão (por tipo de gás) e de processamento (em barris por dia) da Petrobras. Os fatores implícitos anuais da Petrobras para cada ano entre 2003 e 2016 foram então aplicados ao volume anual processado pelas outras companhias no Brasil.

No transporte, as emissões inventariadas pela Petrobras estão registradas para os anos de 2003 a 2016. Para estimar as emissões da Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil (TBG) de 2000 a 2003, foi necessário fazer uma extrapolação. Um percentual médio de emissões da TBG foi calculado em relação à soma de E&P e Refino durante o período de 2004 a 2006. Esse percentual médio foi então aplicado aos valores de emissões fugitivas de E&P e Refino de outras empresas entre 2000 e 2003. Portanto, as emissões nacionais relacionadas ao Transporte de 2000 a 2003 consistem na soma das emissões da Petrobras com as estimativas das emissões da TBG durante esse período. A extrapolação considerou apenas as emissões de CH₄ para a TBG nesse intervalo de tempo.

Para estimar as emissões de atividades de transporte da Petrobras entre 1990 e 2002, foi estabelecida uma relação entre as emissões dessa área, calculadas entre 2003 e 2006, e a soma das emissões dos Setores de E&P e Refino da Petrobras no mesmo período. Esse cálculo determinou a participação percentual média da categoria Transporte em relação à soma das emissões de E&P e Refino da Petrobras entre 2003 e 2006, multiplicada pela soma das emissões de E&P e Refino entre 1990 e 2002. Optou-se pelo período até 2006, pois a partir de 2007 e 2008, o perfil de emissões foi alterado em razão de atividade da TBG e da Transpetro no inventário da Petrobras. As emissões da Petrobras relacionadas às atividades de transporte entre 1990 e 1999 serão consideradas com base nas emissões nacionais desse setor nesse período.

Para as três categorias, considerando o período 2017-2022, foram utilizados fatores de emissão implícitos de 2016, derivados de informações sobre produção, transporte e refino fornecidas pela Petrobras. Para as projeções então consideraram dados de refino e produção nacional de petróleo e Líquido de Gás Natural (LGN) obtidos junto à ANP (2023). Assim como nos anos anteriores, os dados de produção da Petrobras foram utilizados para distinguir o volume total processado em relação às empresas terceirizadas.

4.7.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de garantia de qualidade/controle de qualidade (QA/QC) para o Subsetor Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis (1.B) foram aplicados de acordo com o plano de QA/QC descrito na Seção 2.5 deste NIR, estando em consonância com o Volume 1, Capítulo 6 das Diretrizes do IPCC de 2006.

4.7.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada uma análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). Assim como no caso do Subsetor Atividades de Queima de Combustíveis (1.A), os dados de Produção de Petróleo (m³) entre 2016 e 2022 para o Subsetor

Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis (1.B) foram revisados. Por essa razão, uma leve diferença de 0,15% nas emissões de kt CO₂ eq foi verificada nesse período. Nos anos anteriores (1990-2015), não houve diferença entre as estimativas. A Figura 4.19 ilustra a comparação entre o NIR 2024 e o Inventário anterior.

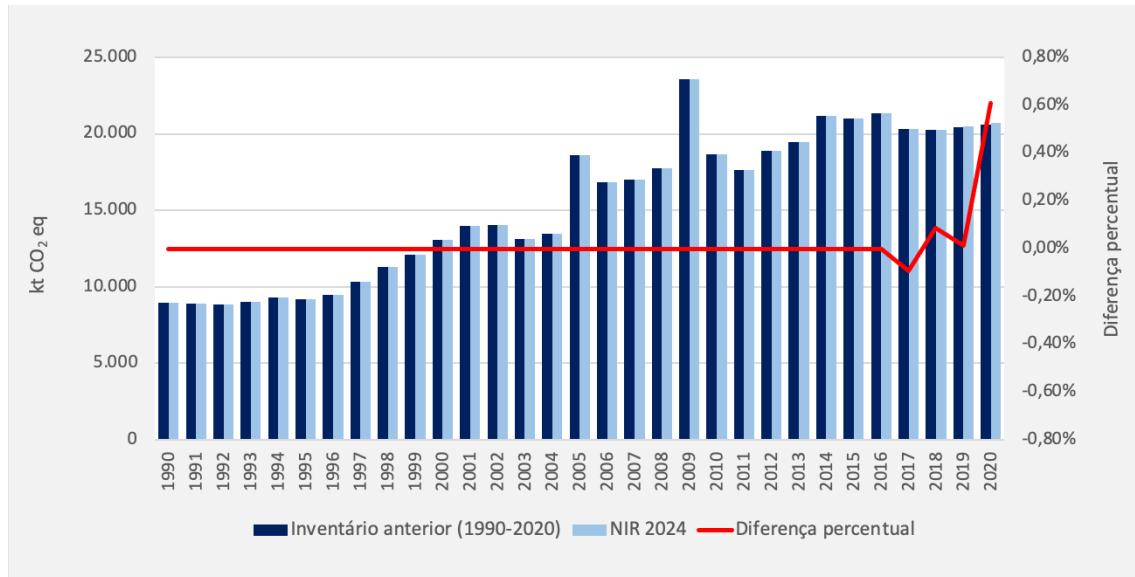


Figura 4.19. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Emissões Fugitivas (1.B) entre os inventários.

4.7.4 Plano de melhoria

As melhorias identificadas para futuras edições do Inventário Nacional derivam, sobretudo, da ampliação de canais diretos de coleta de informação junto a instituições fornecedoras de dados primários. O resultado do levantamento deste e de outros pontos de aprimoramento é exposto no Quadro 4.13.

Quadro 4.13. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis (1.B).

Subsetor	Categoria	Melhoria
1.B. EMISSÕES FUGITIVAS A PARTIR DA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS	1.B.1. Combustíveis sólidos	Alinhar Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias com entidades do setor, visando incentivar o fornecimento contínuo de dados de carvão ROM (<i>Run-of-Mine</i>) por mina, Unidade da Federação e tipo (superfície e subterrânea).
	1.B.2. Petróleo e Gás Natural e outras emissões da produção de energia	- Alinhar Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias com empresas do setor, visando incentivar o fornecimento contínuo de dados produção, transporte e refino das empresas atuantes no Brasil. - Alinhar Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias com empresas do setor, com vistas a avaliar a possibilidade de estimar fatores de emissão de produção, refino e transporte específicos por empresa atuante no país.

5 PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS (CRT 2)

5.1 Visão geral do setor

As emissões relacionadas às atividades do Setor Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) resultam dos processos produtivos nas indústrias, inclusive o consumo não energético de combustíveis como matéria-prima. A queima de combustíveis para fins energéticos é relatada no Inventário do Setor Energia (CRT 1).

No NIR 2024, que abrange emissões de IPPU de 1990 a 2022, foram considerados os seguintes subsetores neste Inventário: Indústria Mineral (2.A), Indústria Química (2.B), Indústria Metalúrgica (2.C), Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D), Indústria Eletrônica (2.E), Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F), Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G) e Outros (2.H).

Os gases inventariados no setor foram: CO₂, CH₄, N₂O e SF₆; os pertencentes à família dos HFCs (hidrofluorcarbonos) – HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-227ea e HFC-365mfc; e os PFCs (perfluorcarbonos) – CF₄ e C₂F₆. Ademais, destaca-se que não foi identificado o uso de NF₃ (trifluoreto de nitrogênio) no país.

As estimativas de emissões do Setor IPPU totalizaram 102.317 kt CO₂ eq em 2022, o que indicou um aumento de 5% em relação a 2020, conforme ilustra a Figura 5.1. A Indústria Metalúrgica (2.C) contribuiu com a maior parte das emissões, representando 51% das emissões em kt CO₂ eq do setor em 2022. Por sua vez, o Subsetor Indústria Mineral (2.A) foi o segundo mais representativo, com 32%. Em 2022, as emissões de CO₂ representaram 89% do total de IPPU (em kt CO₂ eq), com a contribuição da Indústria Metalúrgica (2.C) e da Indústria Mineral (2.A) de 56% e 36%, respectivamente.

Em seguida ao CO₂, houve a participação dos gases HFCs, com 9% do setor, com destaque para o Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F), que representou quase 100% deles.

O CH₄ teve 1% de participação das emissões de GEE do setor em 2022, sendo 72% provenientes do Subsetor Indústria Metalúrgica (2.C) e 28% do Subsetor Indústria Química (2.B).

O N₂O respondeu por 0,3% das emissões em 2022, divididas entre a Indústria Química (2.B), com 57%, e Indústria Metalúrgica (2.C), com 43%.

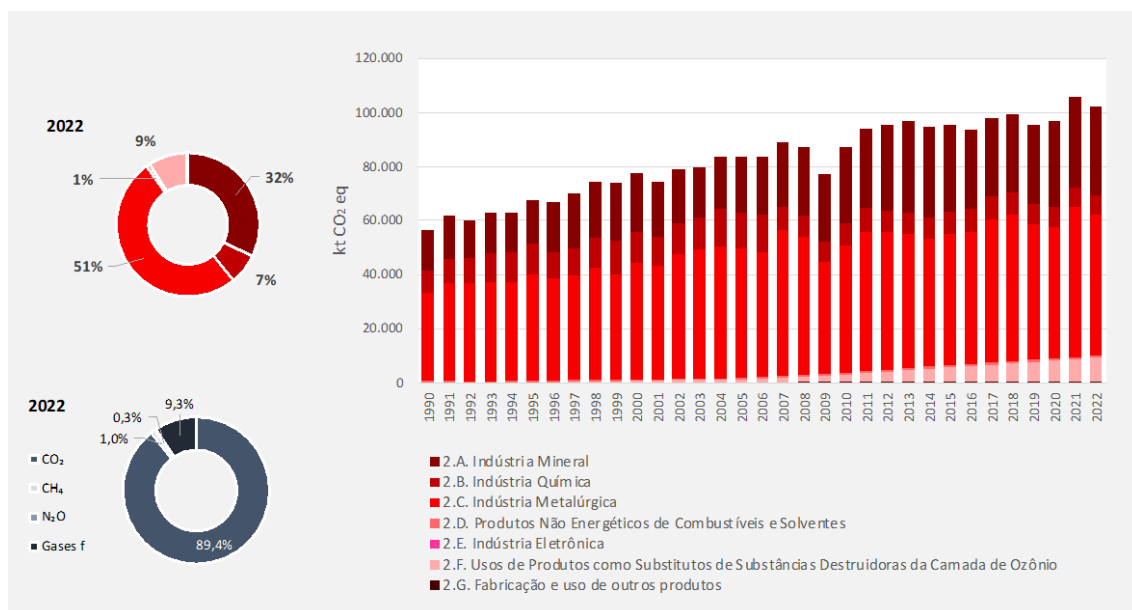


Figura 5.1. Emissões do Setor Processos Industriais e Uso de Produtos, em kt CO₂ eq, por subsetor, de 1990 a 2022.

As participações das emissões dos PFCs e do SF₆ foram iguais, 0,3% cada um, e os primeiros emitidos quase totalmente pela produção de alumínio e o segundo pela Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G), mais especificamente em equipamentos elétricos.

5.2 Aspectos metodológicos

A metodologia para o cálculo das emissões foi a indicada no IPCC (2006).³⁷ Para os fatores de emissão de gases de efeito estufa precursores, calculados por *Tier 1*, usou-se a referência do IPCC 1996.³⁸ Sempre que possível e considerando, particularmente, categorias-chave, foram adotados parâmetros ou fatores de emissão disponíveis na literatura nacional, por exemplo, na produção de cerâmica, ou utilizados na indústria, como ocorreu na produção de ferro e aço, na de cimento e na indústria química, de forma a retratar a realidade do país e evitar o uso de valores-padrão do IPCC. Os dados obtidos de fontes oficiais foram complementados por informações provenientes do setor produtivo, por meio das associações de classe.

O acesso aos dados de atividades e outros parâmetros no Setor IPPU apresentou desafios específicos, por muitas vezes envolver a confidencialidade de informações das empresas particularmente no que se refere aos processos tecnológicos e à quantidade de suas produções. Para algumas categorias, como produção de cimento, de alumínio e de ferro e aço, as quantidades produzidas, importadas e exportadas estavam disponíveis em publicações oficiais, tais como no Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (IBGE, 2024a), COMEX STAT (MDIC, IBGE) e BEN (EPE, 2023), assim como Anuários Estatísticos do Setor Metalúrgico (MME, 2022a), do Setor Transformação de Não Metálicos (MME, 2022b), do Setor Aço (IABR, 2023) e do Setor Cimento (SNIC, 2022). Para complementar as informações relacionadas a alguns parâmetros e fatores de emissão desses subsectores, as associações industriais foram importantes, seja pelo acesso às suas publicações, seja pelo contato direto com as representantes institucionais.

³⁷ Ver Industrial Processes and Product Use (IPCC, 2006, v. 3).

³⁸ Ver The Workbook (Volume 2) (IPCC, 1997, v. 2).

Para as categorias Produção de Cimento (2.A.1) e Produção de Alumínio (2.C.3), foram obtidas informações agregadas de associações industriais referentes às estimativas mais precisas (*Tier 3*), para anos específicos, de empresas associadas. Na ausência desses valores, foram realizadas extrapolações com os dados disponíveis. Para a categoria Produção de Ferro e Aço (2.C.1), dados recolhidos pelo Instituto Aço Brasil (IABr) junto às suas associadas permitiram um balanço geral de carbono para o cálculo do CO₂ (*Tier 2*).

Na Indústria Química (2.B), para produção de Ácido Nítrico (2.B.2) e Ácido Adípico (2.B.3), a existência de projetos MDL permitiu o acesso a dados detalhados de empresas, com base nos relatórios publicados de monitoramento das operações de reduções de GEE (UNFCCC, 2024).

No Quadro 5.1, são apresentados o detalhamento das metodologias, os parâmetros, os fatores de emissão e as fontes de informações utilizadas em cada categoria do Setor IPPU.

Quadro 5.1. Níveis metodológicos aplicados por gás e referências do Setor IPPU.

Subsetor	Categoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS									REFERÊNCIAS	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC	HFCs	PFCs	SF ₆	Dados de atividade	Fatores de emissão
2.A. INDÚSTRIA MINERAL	2.A.1. Produção de Cimento	T3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Produção total de clínquer e de cimento (SNIC, 2022).	Dados provenientes do SNIC (2022), com último cálculo de fatores de emissão tendo sido feito efetivamente em 2010. Para o período de 2011 a 2021, o fator implícito foi informado pela SNIC, sendo adotado em 2022 o valor de 2021.
	2.A.2. Produção de Cal	T2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Produção de cal virgem e hidratada (ABPC, 2014; MME, 2022b). Pela falta de dados, foi mantida a produção de 2021 em 2022. Composição média das cales segundo a variação permitida pelas normas brasileiras.	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 2).
	2.A.3. Produção de Vidro	T3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Produção de vidro do Anuário Estatístico – Setor Transformação de Não Metálicos (MME, 2006; 2007; 2009; 2013; 2020; 2022b).	Estequiometria dos processos químicos, a partir da composição média da matéria-prima dos vidros, segundo o Anuário, com fatores de emissão do (IPCC, 2006, v. 3, cap. 2).
	2.A.4. Outras Utilizações de Carbonatos em Processos	T2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Cerâmica: Produção (IBGE, 2024b), distribuição da produção nacional pelo Anuário Estatístico do Setor Transformação de Não Metálicos (MME, 2022); Barrilha: Produção, importação e exportação (Abiquim, 2014), com extrapolação para 2015 a 2022; Magnesita: Dados do Sumário Mineral (ANM, 2016) e Boletim do Setor Mineral (MME, 2020b), com manutenção da produção em 2019 para 2020 a 2022.	Para a Subcategoria Cerâmica foram consideradas publicações que diferenciaram os parâmetros segundo características dos vários Estados e regiões do país. Estequiometria dos processos químicos; (IPCC, 2006, v. 3, cap. 2).
2.B. INDÚSTRIA QUÍMICA	2.B.1. Produção de Amônia	T3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Produção de amônia (Abiquim, 2017; 2024); Ureia (IBGE, 2017b; 2024b), combinado com dados dos anuários e	Fator específico nacional, descontando-se a emissão de CO ₂ da ureia.

Subsetor	Categoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS									REFERÊNCIAS	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NM VOC	HFCs	PFCs	SF ₆	Dados de atividade	Fatores de emissão
											contato pessoal com Abiquim para 1990 a 2024.	
	2.B.2. Produção de Ácido Nítrico	NA	NA	T3/T1	NA	T1	NA	NA	NA	NA	Produção até 2007 (Abiquim, 2009). Após, pelo monitoramento de projetos MDL (UNFCCC, 2019).	Dados Abiquim (2009) e de monitoramento de projetos MDL (UNFCCC, 2024). IPCC (1997) para gases precursores.
	2.B.3. Produção de Ácido Adípico	NA	NA	T3	T1	T1	NA	NA	NA	NA	Produção até 2010 (Abiquim, 2009; 2012). Após, pelo monitoramento de projetos MDL (UNFCCC, 2019).	Dados Abiquim (2012) e de monitoramento de projetos MDL (UNFCCC, 2019). IPCC (1997) para gases precursores.
	2.B.4. Caprolactama, Glioxal e Produção de Ácido Glioxílico	NA	NA	T1/NO	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Abiquim (2024).	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 2).
	2.B.5. Produção de Carbureto	T1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Informações específicas da planta até 2007, com complemento até 2010 (Abiquim, 2012); repetição até 2022.	Informações específicas da planta até 2007; 2008 a 2010 Abiquim (2012); repetição até 2016.
	2.B.6. Produção de Dióxido de Titânio	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	2.B.7. Produção de Carbonato de Sódio	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
	2.B.8. Produção de Petroquímica e Negro de Fumo	T1	T1	NA	NA	T1	T1	NA	NA	NA	Abiquim (2020; 2024).	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 2). IPCC (1997) para gases precursores.
	2.B.9. Produção de Fluoroquímicos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T1	NA	NA	Prozon (1999).	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 2).
	2.B.10. Outros	NA	NA	NA	NA	NA	T1	NA	NA	NA	Abiquim (2020; 2024).	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 2). IPCC (1997) para gases precursores.

Subsetor	Categoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS									REFERÊNCIAS	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NM VOC	HFCs	PFCs	SF ₆	Dados de atividade	Fatores de emissão
2.C. INDÚSTRIA METALÚRGICA	2.C.1. Produção de Ferro e Aço	T2	T1	T1	T1	T1	T1	NA	NA	NA	Instituto Aço Brasil (IABR, 2017; 2020) para emissões até 2016 e BEN (EPE, 2023) para energia, com emissões de 2017 a 2022 contabilizadas proporcionalmente à produção de aço bruto de IABr (2023).	CO ₂ : balanço de carbono (IABR, 2020); não CO ₂ : (IPCC, 2006, v. 2, cap. 2). IPCC (1997) para gases precursores.
	2.C.2. Produção de Ferroligas	T1	T1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Balanço Energético Nacional (EPE, 2023) e MME (2022a) para produção do setor.	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 4).
	2.C.3. Produção de Alumínio	T1/T2/T3	NA	NA	T1	T1	NA	NA	T1/T2/T3	NA	ABAL (2019), Albras (2022), CBA (2022) e IBGE (2024b).	CO ₂ e PFCs: ABAL (2019); IPCC (1997) para gases precursores.
	2.C.4. Produção de Magnésio	T1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T1	Monitoramento de projeto MDL (UNFCCC, 2024), com extrapolação para 2022.	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 4).
	2.C.5. Produção de Chumbo	IE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Considerados na categoria 2.C.7.	
	2.C.6. Produção de Zinco	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	2.C.7. Outros não ferrosos, fora alumínio e magnésio	T1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Balanço Energético Nacional (EPE, 2019; 2023) e BEU (EPE, 2005).	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 4).
2.D. PRODUTOS NÃO ENERGÉTICOS DE COMBUSTÍVEIS E SOLVENTES	2.D.1. Uso de Lubrificantes	T1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Balanço Energético Nacional (EPE, 2023).	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 5).
	2.D.2. Uso de Cera de Parafina	IE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Considerados na categoria 2.D.3.	
	2.D.3. Outros	T1	NA	NA	NA	NA	T1	NA	NA	NA	Balanço Energético Nacional – BEN (EPE, 2023).	IPCC (1997) para gases precursores.
2.E. INDÚSTRIA ELETRÔNICA	2.E.1. Circuito Integrado ou Semicondutor	NA	NA	NA	NA	NA	NA	IE	IE	NA	Considerados na categoria 2.E.5.	

Subsetor	Categoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS									REFERÊNCIAS	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NM VOC	HFCs	PFCs	SF ₆	Dados de atividade	Fatores de emissão
	2.E.2. <i>Display</i> de Tela Plana TFT	NA	NA	NA	NA	NA	NA	IE	IE	NA	Considerados na categoria 2.E.5.	
	2.E.3. Painéis Fotovoltaicos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NE	NE	NA		
	2.E.4. Fluido de Transferência de Calor	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NE	NE	NA		
	2.E.5. Outros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T2a	T2a	NA	Estatística comércio exterior – Comex Stat (MDIC, 2024).	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 6).
2.F. USOS DE PRODUTOS COMO SUBSTITUTOS PARA SUBSTÂNCIAS DESTRUIDORAS DA CAMADA DE OZÔNIO	2.F.1. Refrigeração e Ar-Condicionado	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T2a	NA	NA	Estatística comércio exterior – Comex Stat (MDIC, 2024), IBGE (2024b), Eletros (2019), Abrava (2022).	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 7).
	2.F.2. Agentes de Espuma	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T2a	NA	NA	Estatística comércio exterior – Comex Stat (MDIC, 2024).	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 7).
	2.F.3. Proteção Contra Incêndio	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T2a	NA	NA	Estatística comércio exterior – Comex Stat (MDIC, 2024).	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 7).
	2.F.4. Aerossóis	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T2a	NA	NA	Estatística comércio exterior – Comex Stat (MDIC, 2024).	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 7).
	2.F.5. Solventes	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NE	NE	NA		
	2.F.6. Outras Aplicações	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NO	NO	NA		
	2.G.1. Equipamento Elétrico	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NO	T1	Pesquisa nacional MCT (2009).	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 8).

Subsetor	Categoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS									REFERÊNCIAS	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NM VOC	HFCs	PFCs	SF ₆	Dados de atividade	Fatores de emissão
2.G. FABRICAÇÃO E USO DE OUTROS PRODUTOS	2.G.2. SF ₆ e PFCs de Uso de Outros Produtos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NO	NO		
	2.G.3. N ₂ O dos Usos de Produto	NA	NA	NE	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	2.G.4. Outros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
2.H. OUTROS	2.H.1. Indústria de Papel e Celulose	NA	NA	NA	T1	T1	T1	NA	NA	NA	IBÁ (2019; 2021; 2023).	IPCC (1997) para gases precursores.
	2.H.2. Indústria de Alimentos e Bebidas	NA	NA	NA	NA	NA	T1	NA	NA	NA	Alimentos em geral e cervejas: IBGE (2024b); Açúcar: UNICA (2019; 2024); Vinhos: Ibravin (2023), após 2004 (IBGE, 2024b). Pães e farinhas: Abitrigo (2024) e ABIP (2024).	IPCC (1997) para gases precursores.
	2.H.3. Outras	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		

Nota: Níveis metodológicos (IPCC, 2006) – T1: *Tier 1*; T2: *Tier 2*; T3: *Tier 3*.

Notações: NA – atividade em uma determinada categoria de fonte/sumidouro que ocorre no país, mas não resultou em emissões ou remoções de um gás específico; IE – incluído em outro local/categoria de emissões ou remoções; NO – categorias e processos que não ocorrem no país; NE – dados de atividade e/ou emissões por fontes e remoções por sumidouros de GEE que não tenham sido estimados, mas para os quais uma atividade correspondente pode ocorrer no país.

Alguns dos dados de atividades e resultados de emissões não foram passíveis de desagregação no NIR 2024, portanto, essas informações foram obtidas de modo agregado e foram assim relatadas. O Quadro 5.2 apresenta as alocações das emissões das categorias que não puderam ser desagregadas, no Setor IPPU.

Quadro 5.2. Categorias com valores atribuídos em outras categorias (IE) no Setor IPPU.

CÓDIGOS IPCC	CATEGORIAS REALOCADAS	DESTINO DA REALOCAÇÃO
2.C.5	Produção de Chumbo	2.C.7. Outros (não ferrosos, fora alumínio e magnésio)
2.D.2	Uso de Cera de Parafina	2.D.3. Outros
2.E.1	Circuito Integrado ou Semicondutor	2.E.5. Outros
2.E.2	Display de Tela Plana TFT	2.E.5. Outros

Para algumas categorias não foi possível calcular as emissões, dada, principalmente, a falta de informações diante da incipiência da produção. No Quadro 5.3, foram compiladas as subcategorias para as quais os GEE não foram estimados no Setor IPPU.

Quadro 5.3. Categorias não estimadas (NE) no Inventário para o Setor IPPU.

CÓDIGOS IPCC	CATEGORIAS NÃO ESTIMADAS	OBSERVAÇÕES
2.E.3	Painéis Fotovoltaicos	Produção considerada ainda muito incipiente no país.
2.E.4	Fluído de Transferência de Calor	Produção considerada ainda muito incipiente no país.
2.F.5	Solventes	Não puderam ser obtidos dados em razão da grande quantidade de variações de HFCs e PFCs e outros usos para as mesmas substâncias.
2.G.3	N ₂ O dos Usos de Produto	Não há dados disponíveis no país sobre produtos anestésicos.

5.3 Indústria Mineral (CRT 2.A)

No Subsetor Indústria Mineral (2.A) estão incluídas as emissões de CO₂ referentes aos processos de Produção de Cimento (2.A.1), Produção de Cal (2.A.2), Produção de Vidro (2.A.3) e Outras Utilizações de Carbonatos em Processos (2.A.4).

Em 2022, a Indústria Mineral emitiu 32.993 kt CO₂ eq, que correspondeu a 32% das emissões em IPPU (Figura 5.2). As principais emissões estiveram vinculadas à categoria Produção de Cimento (2.A.1), que emitiu 24.625 kt CO₂ eq e contribuiu com 75% das emissões do subsetor. Em seguida, a Produção de Cal (2.A.2), com emissão de 5.924 kt CO₂ eq, representou 18% das emissões. As emissões da Indústria Mineral foram 11% maiores em 2022 que as estimadas em 2016. No entanto, observou-se uma queda de 3% nas emissões desse setor relativamente a 2020.

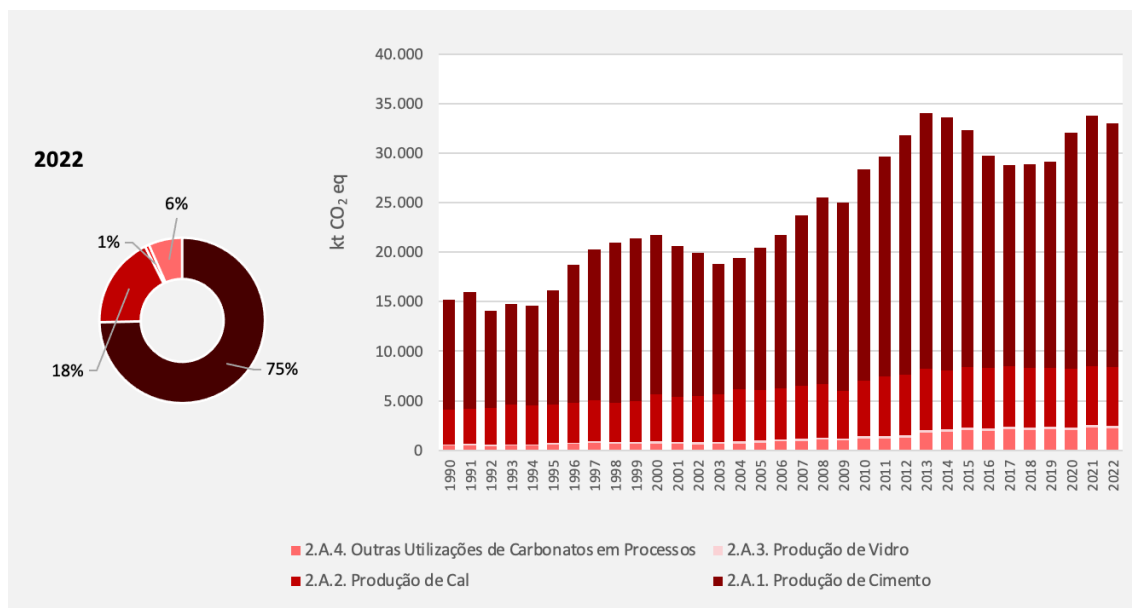


Figura 5.2. Emissões da Indústria Mineral (2.A), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

5.3.1 Aspectos metodológicos

5.3.1.1 Produção de Cimento

O Setor Cimenteiro brasileiro tem se empenhado na obtenção de informação detalhada necessária à aplicação da metodologia setorial da *Cement Sustainability Initiative* (CSI), uma iniciativa dos maiores grupos cimenteiros do mundo vinculada ao *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), com o objetivo de desenvolver uma série de ações de caráter ambiental, entre as quais o controle e monitoramento das emissões de GEE. Essas informações são compatíveis com a abordagem *Tier 3* do IPCC (2006), que considera as composições das matérias-primas (carbonatos) utilizadas, corrige as emissões pelo conteúdo de MgO e inclui outros parâmetros específicos como a correção da poeira do forno de cimento (*Cement Kiln Dust – CKD*), que é considerada uma perda do sistema, e o carbono da matéria orgânica contido nas matérias-primas.

Tendo em vista o objetivo de obtenção das estimativas mais acuradas possíveis, optou-se neste Inventário por utilizar a metodologia *Tier 3* definida no IPCC (2006), modificada a partir das informações disponíveis pela aplicação da metodologia CSI. Para justificar essa opção, a seguir é realizada uma análise comparativa entre as abordagens.

No IPCC (2006) – *Tier 3*, basicamente as emissões de CO₂ são calculadas tomando-se em conta a composição dos carbonatos consumidos durante o processo de descarbonatação do calcário no forno de calcinação do clínquer. Já na abordagem da CSI, as emissões são baseadas nos teores de CaO e MgO presentes no clínquer.

Em ambas as metodologias, é feita a correção para a parcela de poeira emitida a partir dos fornos (CKD) e não calcinada e corrigidas eventuais quantidades relevantes de CaO e MgO no clínquer geradas por fontes não carbonáceas, ou seja, que não foram originadas na descarbonatação no forno de clínquer – portanto sem emissões associadas no processo, por exemplo, silicatos de cálcio ou *fly ashes* (cinzas volantes) usados no forno, como corretivos químicos do cru, porém essa não é uma prática comum na indústria cimenteira brasileira, apenas algumas fábricas o fazem.

Tier 3 – IPCC (2006)

A Equação 5.1, apresentada no *Tier 3* IPCC (2006) é utilizada para calcular as emissões baseadas nos dados das matérias-primas consumidas na produção do clínquer, com desconto das emissões de CKD não calcinadas (perdas do sistema) e considerando as emissões de matéria-prima não energética que contenha carbono.

Quadro 5.4. Equação para calcular as emissões da produção de cimento (metodologia *Tier 3*).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.1	CO ₂	2.A.1	$ \begin{aligned} & \text{Emissões de CO}_2 \\ &= \sum_i (FE_i \times M_i \times F_i) \\ & - \underbrace{M_d \times C_d \times (1 - F_d) \times FE_d}_{\text{Emissões dos Carbonatos}} \\ & + \underbrace{\sum_k (M_k \times X_k \times FE_k)}_{\text{Emissões de materiais não-energéticos que contenham carbono}} \end{aligned} $	Equação 2.3 (IPCC, 2006, v.3, cap. 2)

- Primeira parcela – emissões dos carbonatos

Para cada carbonato serão necessários: a massa correspondente (M_i), o respectivo fator de emissão (FE_i) e a fração de calcinação (F_i) alcançada por cada substância. De acordo com o IPCC (2006), o grau de calcinação atingido por todos os materiais é de 100% ($F_i = 1$), ou bem próximo desse valor, em decorrência da alta temperatura e ao tempo de residência de tais materiais no forno.

- Segunda parcela – correção do CKD

São necessárias a massa de poeira (CKD) não reciclada no forno (M_d), a fração de carbonato nessa massa (C_d), sua fração de calcinação (F_d) e o respectivo fator de emissão (FE_d). Caso toda a poeira tenha sido calcinada, ou toda a poeira seja reciclada no forno, esse termo se anula. A parte do CKD não calcinada, que não seja reinjetada, pode ser considerada uma fonte de falsa contagem de CO₂, pois teria sido contabilizada junto com o total da matéria-prima calcinada, devendo, portanto, haver o desconto correspondente. Pelo GPG 2000, sugere-se apenas uma correção de 1,5% a 2% nas emissões calculadas para o clínquer, nas plantas modernas.

- Terceira parcela – emissões de matéria-prima não energética adicional aos carbonatos que contenha carbono

São necessárias a massa dessa matéria-prima não energética que contenha carbono (M_k), a fração de carbono (X_k) e o respectivo fator de emissão (FE_k). Isso significa uma emissão de CO₂ adicional à emissão resultante do processo de descarbonatação.

Segundo o IPCC (2006), as emissões de CO₂ referentes a esse termo podem ser ignoradas, se a contribuição desse carbono for menor que 5% do calor total dos combustíveis.

Metodologia CSI

- Emissões dos carbonatos

A partir do conhecimento das frações de CaO e MgO do clínquer, obtidas por análises químicas em cada fábrica, chega-se ao fator de emissão relacionado ao processo de descarbonatação, correspondente ao termo “Emissões dos Carbonatos” da Equação 5.1 citada anteriormente, e pode ser calculado como a soma dos dois fatores de emissão relacionados aos óxidos.

Quadro 5.5. Equações para estimar os fatores de emissão do clínquer, CaO e MgO pela metodologia CSI.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.2	CO ₂	2.A.1	$FE_{clínquer} = FE_{CaO} + FE_{MgO}$	WBCSD (2011)
Equação 5.3	CO ₂	2.A.1	$FE_{CaO} = \frac{\text{teor CaO}}{\text{das análises químicas}} \times \left(\frac{44,0g/mol CO_2}{\frac{56,1g/mol CaO}{0,7843}} \right)$	WBCSD (2011))
Equação 5.4	CO ₂	2.A.1	$FE_{MgO} = \frac{\text{teor MgO}}{\text{das análises químicas}} \times \left(\frac{44,0g/mol CO_2}{\frac{40,3g/mol MgO}{1,0918}} \right)$	WBCSD (2011)

Os teores de CaO e MgO são apresentados como fração adimensional.

Basicamente, as duas abordagens – CSI e *Tier 3* do IPCC (2006) – convergem para os mesmos valores de emissões, pois são baseados na estequiometria do processo.

Para os casos das plantas que não possuíam dados específicos sobre os teores CaO e MgO contidos no clínquer, foi aplicado o FE padrão recomendado pela metodologia CSI de 0,525 t CO₂/t clínquer, fator que já possui a correção pelo conteúdo de MgO, sugerido tanto pela CSI (em torno de 2%) quanto pelo IPCC (2006) (entre 1% e 2%). Tal valor é semelhante ao do FE de referência utilizado pelo GPG 2000 de 0,51 t CO₂/t clínquer, se a ele for acrescentada a correção relativa ao conteúdo de MgO (2% x 1,0918 = 0,022 t CO₂/t clínquer). Em ambos os casos não há correção para CKD incluída.

- Emissões da poeira dos fornos (CKD)

A poeira emitida a partir dos fornos (CKD) varia de não calcinada a calcinada. Tal CKD pode ser parcialmente ou totalmente reciclada quando reinjetada no forno de calcinação. A parte de CKD calcinada que não seja reinjetada pode ser considerada fonte de emissão adicional de CO₂, pois não é contabilizada pela análise química do clínquer.

- Emissões do carbono orgânico contido na matéria-prima

Em adição aos carbonatos, as matérias-primas utilizadas na produção de clínquer usualmente contêm uma pequena fração de carbono orgânico, o qual é convertido em CO₂ durante a queima em sua maior parte. Os teores de carbono orgânico total nas matérias-primas (TOC) podem variar substancialmente em razão das diferenças de localização e matérias-primas utilizadas.

Dados compilados pelo CSI indicam valores típicos de carbono orgânico na farinha entre 0,1% e 0,3%. As emissões de CO₂ de carbono orgânico na farinha podem ser quantificadas e registradas pela fábrica. Entretanto, uma vez que sua contribuição no total de emissões é pequena, o padrão de 11 kg CO₂/t clínquer é sugerido, com base na multiplicação dos seguintes parâmetros da Equação 5.5 a seguir:

Quadro 5.6. Equação para estimar o fator de emissão do carbono orgânico no clínquer.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.5	CO ₂	2.A.1	$FE_{matéria\ orgânica} = Fator_{farinha\ clínquer\ padrão} \times TOC \times CO_2/C$	WBCSD (2011)

Em que:

Fator “farinha clínquer = 1,55 t farinha/t clínquer;
 TOC = Teor de carbono orgânico na farinha de 2 kg TOC/t farinha;
 Relação dos pesos moleculares do CO₂/C: 3,664 kg CO₂/kg C.

Essa multiplicação assume que todo carbono orgânico é convertido em CO₂.

Conclusão da comparação entre a metodologia CSI e IPCC (2006)

Pela metodologia do CSI, as emissões de CO₂ do carbono contido na matéria-prima são calculadas com as informações das próprias fábricas, ou é aplicado o padrão de 11 kg CO₂/t clínquer, conforme a Equação 5.5 (Quadro 5.6).

Do exposto acima, verificou-se que as estimativas de emissões calculadas com as duas metodologias são compatíveis entre si, optando-se por utilizar o valor-padrão recomendado pela metodologia IPCC (2006), modificada a partir dos dados disponíveis pela aplicação do método CSI. Não obstante, quando não foram obtidos dados para sua aplicação, foi utilizado o fator de emissão de 0,536 t CO₂/t clínquer, considerando-se o carbono orgânico contido na matéria-prima.

Dados de atividades e outros parâmetros

A partir das séries históricas específicas das plantas constantes em Brasil (2010; 2015a; 2021b), foram obtidos dados para o período de 2017 a 2022 a partir de extrapolações das edições anteriores do Inventário. Os dados estimados compreenderam:

- Os teores de CaO e MgO que compõem a produção do clínquer por planta, por ano;
- A quantidade de clínquer produzida, adquirida e vendida por planta, por ano;
- A quantidade de cimento produzida por tipo; e
- As quantidades dos compostos minerais como gesso, calcário, escória, *fly ash*, pozolanas e CKD utilizados para produção do cimento.

Segundo o levantamento nos inventários anteriores, a grande maioria das plantas brasileiras reinjeta o CKD novamente no forno de clínquer, ou seja, não há perdas do sistema e, portanto, não se faz necessária qualquer correção por CKD. Algumas poucas empresas direcionam o CKD previamente calcinado para misturá-lo ao cimento e fazer um cimento especial com baixo teor de álcalis. Nesses casos, porém, o fator de emissão do CKD foi considerado no cálculo das emissões nacionais, alcançando um percentual médio variando entre 0,4% e 1,1% das emissões da produção de clínquer, conforme as informações providas pelas plantas que realizam tal mensuração.

A coleta dos dados foi realizada por meio de consulta do SNIC junto a seus associados. Por motivos de sigilo industrial só serão apresentados nesta seção os dados consolidados de produção de clínquer, cimento e o respectivo conteúdo de clínquer no cimento, no âmbito nacional (Tabela 5.1).

Para integrar os dados coletados pela SNIC com o restante da produção nacional, foram estimadas as quantidades produzidas pelas empresas não associadas e aplicado o mesmo fator de emissão implícito anual para as emissões de CO₂ de suas associadas. Diante da ausência de dados de conteúdo de clínquer no cimento para 2021 e 2022, foram mantidos constantes os valores observados em 2020.

Tabela 5.1. Produção nacional de cimento e clínquer e conteúdo de clínquer no cimento.

Ano	Produto		Conteúdo de clínquer no cimento
	Clínquer	Cimento	
	kt		t clínquer / t cimento
1990	20.161	25.848	0,780
1991	21.458	27.490	0,781
1992	17.748	23.903	0,742
1993	18.407	24.843	0,741
1994	18.412	25.230	0,730
1995	21.071	28.256	0,746
1996	25.346	34.597	0,733
1997	27.971	38.096	0,734
1998	29.684	39.942	0,743
1999	29.941	40.234	0,744
2000	29.227	39.901	0,732
2001	27.791	39.454	0,704
2002	26.178	38.927	0,672
2003	23.681	35.122	0,674
2004	23.945	35.983	0,665
2005	26.307	38.706	0,680
2006	28.468	41.896	0,679
2007	31.768	46.551	0,682
2008	34.482	51.970	0,664
2009	34.737	51.747	0,671
2010	38.053	59.117	0,644
2011	40.780	64.093	0,636
2012	44.300	68.809	0,644
2013	46.890	70.161	0,668
2014	47.000	72.503	0,648
2015	43.500	66.489	0,654
2016	38.600	58.160	0,664
2017	36.500	54.004	0,676
2018	37.000	53.602	0,690
2019	38.000	56.611	0,671
2020	42.200	61.052	0,691
2021	44.210	65.884	0,671
2022	43.050	63.546	0,677

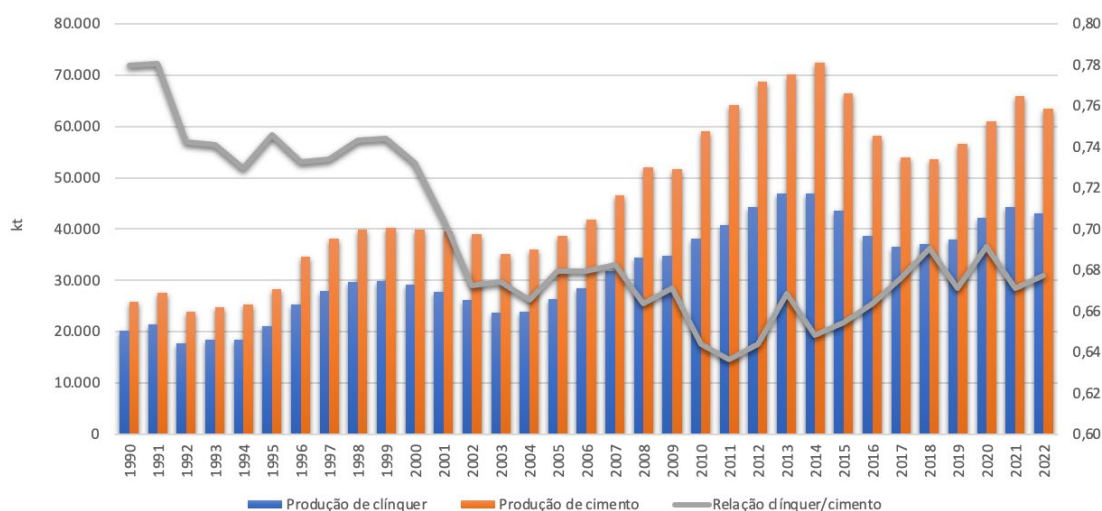


Figura 5.3. Produções de cimento e de clínquer, e conteúdo de clínquer no cimento.

Na Tabela 5.2 são apresentados os pesos moleculares das substâncias químicas envolvidas no processo de decarbonatação.

Tabela 5.2. Massas moleculares das substâncias relacionadas ao processo de decarbonatação.

Massas moleculares	g/mol
Carbonato de cálcio – CaCO_3	100,1
Carbonato de magnésio – MgCO_3	84,3
Óxido de cálcio – CaO	56,1
Óxido de magnésio – MgO	40,3
Dióxido de carbono – CO_2	44,0

Fonte: Elaborado a partir de WBCSD, 2011.

5.3.1.2 Produção de Cal

O termo “cal” é utilizado, na literatura brasileira e nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para designar o produto composto por óxido de cálcio (CaO) e por óxido de cálcio e magnésio (CaOMgO), resultantes da calcinação de calcários, calcários magnesianos e dolomitos.

A massa de CO_2 produzida por unidade de cal fabricada pode ser estimada pelos pesos moleculares e o conteúdo de cal dos produtos. Com base na reação de calcinação, um mol de CO_2 é formado para cada mol de cal virgem produzido pela calcinação do carbonato de cálcio. Nos casos em que dolomita é calcinada, o fator de emissão é baseado na proporção dos óxidos de cálcio e magnésio.

Para mensurar as emissões da cal, os fatores de emissão de CO_2 são apresentados conforme a Tabela 2.4 do IPCC (2006, v. 3, cap. 3), conforme descrito no Quadro 5.7. Em ambos os casos as fórmulas supõem cal pura, mas em alguns casos a pureza pode variar de 85% a 95%. Foi adotado neste Inventário o valor de 95% para pureza da cal.

Quadro 5.7. Fatores de emissão da cal virgem e cal dolomítica.

Categorias	Produto	Fatores de emissão	Referência
2.A.2	Cal virgem	$0,785 \frac{tCO_2}{t \text{ cal virgem}}$	Tabela 2.4 (IPCC, 2006, v. 3, cap. 2)
2.A.2	Cal dolomítica	$0,913 \frac{tCO_2}{t \text{ cal dolomítica}}$	Tabela 2.4 (IPCC, 2006, v. 3, cap. 2)

Na prática, como há mistura de calcários, calcários magnesianos e dolomitos, as cales resultantes têm conteúdos variáveis de CaO e de CaO.MgO. No Brasil, a seguinte classificação é adotada:

Tabela 5.3. Classificação da cal.

Classificação	% CaO total
Calcítica	90 – 100
Magnesiana	65 – 90
Dolomítica	58,2 – 65

Fonte: Elaboração própria, conforme ABNT.

Utilizando-se as relações estequiométricas, pode-se chegar à correspondência entre percentual de CaO total com a composição da cal, considerando-se uma participação variável entre CaO e CaO.MgO:

Tabela 5.4. Relação entre o percentual total de CaO na cal e sua composição.

% CaO total	CaO	CaO.MgO
58,2	0,0%	100,0%
65,0	16,3%	83,7%
90,0	76,1%	23,9%

Na falta de uma caracterização completa das cales no país, adotaram-se para este NIR os valores médios de percentual de CaO total, resultando nas proporções de CaO e CaO.MgO constantes da Tabela 5.5. Para se chegar aos fatores de emissões finais, considera-se ainda a pureza de 95% das cales produzidas.

Tabela 5.5. Fatores de emissão segundo classificação das cales.

Classificação da cal	CaO médio	CaO.MgO médio	FE (t CO ₂ /t cal)
Calcítica	88,0%	12,0%	0,760
Magnesiana	46,2%	53,8%	0,811
Dolomítica	8,2%	91,8%	0,857

Outra informação importante para fins deste Inventário é a composição da cal produzida no país. De acordo com informações da ABPC, a cal virgem é basicamente calcítica. A cal hidratada é dividida em calcítica, 20%, e dolomítica, 80%. Esse percentual de 80% da cal dolomítica pode ser ainda subdividido entre dolomítica propriamente dita, 30%, e magnesiana, 50%.

Dados de atividades e outros parâmetros

A Associação Brasileira de Produtores de Cal (ABPC) foi a principal fonte de informação sobre os números do setor até 2014, sendo base também para o Sumário Mineral do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), e, posteriormente para o Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos (MME, 2020a; 2020b; 2022b), no período abrangido pelo NIR 2024.

Foram obtidos dados sobre a produção de cal virgem e hidratada da ABPC, que reporta informação das empresas associadas, das empresas de mercado cativo e avalia as não associadas (Tabela 5.6). As empresas de mercado cativo são as que suprem suas necessidades com produção própria, basicamente as grandes siderúrgicas, que têm na cal um insumo estratégico de larga importância, a ponto de justificar a manutenção de instalações próprias de produção. Em 2009, as empresas associadas foram responsáveis por 51% da produção nacional, o mercado cativo possuía 22% e as não associadas tiveram uma participação estimada em 27%. A partir de 2010, quando alguns fornos de siderúrgicas passaram a vender para o mercado aberto, a ABPC mudou a forma da informação, indicando apenas o mercado cativo e o mercado aberto, com participações de 13% e 87%, respectivamente. A partir de 2015, apenas a produção total é disponibilizada no Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos (MME, 2020a; 2022b), sendo a divisão entre os tipos feita segundo a de 2014. Pela falta de dados de produção para 2021 e 2022, foi mantida a produção citada em MME (2022b) para 2020.

Tabela 5.6. Produção de cal no Brasil.

Ano	Cal virgem – produção informada				Cal hidratada – produção informada			Total geral
	Produtores associados CV ¹	Não associados CV ³	Produção cativa CV ²	Total de cal virgem	Produtores associados CH ¹	Não associados CH ³	Total de cal hidratada	
1990	1.335	646	1.048	3.029	978	893	1.871	4.900
1991	1.359	658	1.008	3.025	1.067	908	1.975	5.000
1992	1.351	689	1.236	3.276	1.013	951	1.964	5.240
1993	1.327	790	1.375	3.492	1.052	1.090	2.142	5.634
1994	1.498	599	1.378	3.475	1.122	828	1.950	5.425
1995	1.444	546	1.427	3.417	1.273	754	2.027	5.444
1996	1.465	546	1.466	3.477	1.416	754	2.170	5.647
1997	1.527	560	1.549	3.636	1.343	771	2.114	5.750
1998	1.418	512	1.523	3.453	1.306	734	2.040	5.493
1999	1.354	935	1.470	3.759	1.225	765	1.990	5.749
2000	1.595	1.491	1.546	4.632	1.244	682	1.926	6.558
2001	1.592	1.421	1.392	4.405	1.221	682	1.903	6.308
2002	1.696	1.380	1.558	4.634	1.240	607	1.847	6.481
2003	1.783	1.388	1.589	4.760	1.270	587	1.857	6.617
2004	2.145	1.366	1.589	5.100	1.278	830	2.108	7.208

Ano	Cal virgem – produção informada				Cal hidratada – produção informada			Total geral
	Produtores associados CV ¹	Não associados CV ³	Produção cativa CV ²	Total de cal virgem	Produtores associados CH ¹	Não associados CH ³	Total de cal hidratada	
2005	2.189	1.521	1.392	5.102	1.165	720	1.885	6.987
2006	2.420	1.162	1.570	5.152	1.157	748	1.905	7.057
2007	2.474	1.246	1.670	5.390	1.228	775	2.003	7.393
2008	2.536	1.238	1.635	5.409	1.201	815	2.016	7.425
2009	2.167	920	1.490	4.577	1.203	865	2.068	6.645
2010	4.677		995	5.672	2.089		2.089	7.761
2011	5.243		963	6.206	2.029		2.029	8.235
2012	5.346		962	6.308	2.005		2.005	8.313
2013	5.219		1.184	6.403	2.016		2.016	8.419
2014	4.932		1.253	6.185	1.967		1.967	8.152
2015	5.022		1.276	6.297	2.003		2.003	8.300
2016	5.022		1.276	6.297	2.003		2.003	8.300
2017	5.022		1.276	6.297	2.003		2.003	8.300
2018	5.022		1.276	6.297	2.003		2.003	8.300
2019	4.901		1.245	6.146	1.954		1.954	8.100
2020	4.901		1.245	6.146	1.954		1.954	8.100
2021	4.901		1.245	6.146	1.954		1.954	8.100
2022	4.901		1.245	6.146	1.954		1.954	8.100

Legenda: Unidade: mil toneladas. Notas: ¹ Produção informada à ABPC pelas empresas associadas, até 2009; a partir de 2010, incluído no mercado aberto; ² Produção própria informada à ABPC por CSN, Cosipa, Açominas, Usiminas, CST, White Martins e Cia. Nacional de Álcalis, até 2009; ³ Valores estimados. A partir de 2010, o valor está incluído no mercado aberto.

Também foi necessário identificar, no caso da cal hidratada, a parcela relativa à água para que fosse subtraída da produção total, sendo assim obtida a produção seca (cal virgem) correspondente. Cada tonelada de cal virgem dá origem a 1,27 toneladas de cal hidratada,³⁹ o que equivale a dizer que 21,3% do peso da cal hidratada é constituído de água.

Diante disso e com as informações obtidas anteriormente, pode-se apresentar os tipos de cal e respectivas quantidades de produção, descontada a água, presentes na Tabela 5.7.

Tabela 5.7. Tipos de cales produzidas, sem água.

Ano	Equivalente em cal calcítica (sem água)	Equivalente em cal magnesiana (sem água)	Equivalente em cal dolomítica (sem água)
	mil t		
1990	3.324	736	442
1991	3.336	778	467
1992	3.585	773	464
1993	3.829	843	506
1994	3.782	768	461

³⁹ Essa informação provém das edições anteriores do Inventário Nacional e é compatível com o valor de 1,3 do Anuário Estatístico do Setor Transformação de Não Metálicos (MME, 2020a).

Ano	Equivalente em cal calcítica (sem água)	Equivalente em cal magnesiana (sem água)	Equivalente em cal dolomítica (sem água)
	mil t		
1995	3.736	798	479
1996	3.819	854	513
1997	3.969	832	499
1998	3.774	803	482
1999	4.072	783	470
2000	4.935	758	455
2001	4.705	749	450
2002	4.925	727	436
2003	5.052	731	439
2004	5.432	830	498
2005	5.399	742	445
2006	5.452	750	450
2007	5.705	789	473
2008	5.726	794	476
2009	4.903	814	489
2010	6.001	822	493
2011	6.526	799	479
2012	6.624	789	474
2013	6.720	794	476
2014	6.495	774	465
2015	6.613	788	473
2016	6.613	788	473
2017	6.613	788	473
2018	6.613	788	473
2019	6.453	769	462
2020	6.453	769	462
2021	6.453	769	462
2022	6.453	769	462

5.3.1.3 Produção de Vidro

Similarmente aos processos de produção do cimento e da cal, existem outros usos nos quais o calcário (CaCO_3) e a dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) são submetidos a altas temperaturas e onde CO_2 é liberado, ao mesmo tempo em que a cal também produzida entra em diversas outras reações. Da mesma forma, existe o uso de barrilha (Na_2CO_3), que também sofre igual decomposição no processo de fabricação de vidro.

A quantidade de CO_2 emitida pela calcinação do calcário e da dolomita para a produção de vidro pode ser estimada a partir do consumo e pureza das matérias-primas, por meio da estequiometria dos processos químicos. Com base na reação de calcinação, um mol de CO_2 é formado para cada mol de calcário. Assim, os fatores de emissão de CO_2 para o uso do calcário, dolomita e barrilha foram estimados conforme consta no Quadro 5.8.

Quadro 5.8. Fatores de emissão do calcário, dolomita e barrilha.

Categorias	Produto	Fatores de emissão	Referência

2.A.3	Calcário	$(0,440 \times f) \frac{t \text{ CO}_2}{t \text{ calcário}}$	Tabela 2.1 (IPCC, 2006, v.3, cap. 2)
2.A.3	Dolomita	$(0,477 \times f) \frac{t \text{ CO}_2}{t \text{ dolomita}}$	Tabela 2.1 (IPCC, 2006, v.3, cap. 2)
2.A.3	Barrilha	$(0,415 \times f) \frac{t \text{ CO}_2}{t \text{ barrilha}}$	Tabela 2.1 (IPCC, 2006, v.3, cap. 2)

Em que:

f é a fração indicativa da pureza do calcário (t em tonelada de CaCO_3 /t minério), sendo considerada igual a 1, caso a pureza não seja conhecida.

Dados de atividades e outros parâmetros

Os dados desagregados da produção de vidro foram obtidos no Anuário Estatístico – Setor de Transformação de Não Metálicos (MME, 2019; 2022b). As estimativas de produção foram apresentadas de acordo com as seguintes tipologias:

- Embalagens de vidro, utilizadas no Setor de Bebidas, em frascos e garrafas, principalmente para cervejas; no Setor de Alimentos e, por último, na embalagem de produtos não alimentícios (farmacêuticos e cosméticos);
- Vidros especiais (técnicos), compreendendo as lãs e fibras de vidro (para isolamento e indústria têxtil), os tijolos e blocos de vidro, os isoladores elétricos de vidro, as ampolas para garrafas térmicas, os bulbos de lâmpadas, os vidros para tubo de imagem e as ampolas farmacêuticas para medicamentos;
- Vidros planos, fabricados em chapas, utilizados, principalmente, pela construção civil, seguida pela indústria automobilística, moveleira e decorações de interiores, principalmente espelhos; e
- Vidros domésticos, aqueles usados em utensílios como louças de mesa, copos, xícaras, e objetos de decoração como vasos.

Como as séries de dados se interpõem nessas três publicações, foram admitidos sempre os números mais atuais, considerados revistos. Assim, considerou-se para os dados anuais de produção: a) 1997-2001 (MME, 2006); b) 2002-2003 (MME, 2007); c) 2004-2007 (MME, 2009); e d) 2008-2011 (MME, 2012). Nesse cálculo, a produção de 2002 a 2008 foi estimada como 95% da capacidade instalada para as embalagens e como 70% para os demais tipos.

Para os anos anteriores, de 1991 a 1996, utilizaram-se os dados de evolução do setor, segundo o sistema IBGE-Sidra (Tabela 5.8); para 1990, na falta de outra informação, foi repetido o ano de 1991.

Tabela 5.8. Variação percentual por tipologia em relação ao ano anterior.

IBGE-Sidra	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Embalagens – % sobre ano anterior	67,22	123,95	92,09	131,94	92,92	100,40
Restante – % sobre ano anterior	86,80	129,93	101,34	114,58	113,35	118,02

Para a produção de vidro de 2012 até 2022 – compreendendo embalagens de vidro, vidros técnicos, planos e domésticos – foram utilizados igualmente os dados do IBGE (2024b), que apresentam a variação da fabricação de vidro e de produtos do vidro (Tabela 5.9).

Tabela 5.9. Variação percentual por tipologia em relação ao ano anterior.

IBGE-Sidra	2012	2013	2014	2015	2016	2017
% sobre ano anterior	-6,7	16,6	-5,6	-4,2	-6,0	3,1
IBGE-Sidra	2018	2019	2020	2021	2022	
% sobre ano anterior	3,7	-1,5	-15,1	15,0	-1,8	

Como a produção de vidro apresentada inclui parte de vidro reciclado, esta precisa ser deduzida do total para se chegar à quantidade de vidro virgem, responsável pelas emissões de CO₂ pela calcinação do calcário e da dolomita. Os Anuários apresentam os percentuais de reciclagem de embalagens para todos os anos, desde 1991, e números precisos para as quantidades recicladas dessas embalagens em 2005 e em 2006: 457.000 t e 448.000 t, respectivamente. Considerando a estimativa do setor nesses dois anos para extrapolar a reciclagem nos demais anos, tendo em vista que se desconhece a reciclagem para todos os tipos e reconhecendo que a reciclagem das embalagens é a maior parte, foi tomada a quantidade reciclada das embalagens e dividida pela produção total. Seguindo o mesmo raciocínio, calculou-se o percentual de reciclagem para todos os demais anos, sendo mantido constante o percentual reciclado a partir de 2011. A consolidação dos dados pode ser observada na Tabela 5.10.

Tabela 5.10. Produção e reciclagem da indústria do vidro, de 1990 a 2022.

Ano	Embalagens de vidro (t)	Reciclagem de embalagens	Produção nacional (t)	Reciclagem média de vidro	Produção virgem (t)
1990	942.352	15%	1.397.871	10,7%	1.248.299
1991	942.352	15%	1.397.871	10,7%	1.248.299
1992	633.449	18%	1.028.840	11,7%	908.466
1993	785.160	25%	1.298.891	16,0%	1.091.069
1994	723.054	33%	1.243.669	20,3%	991.204
1995	953.997	35%	1.550.518	22,8%	1.197.000
1996	886.454	37%	1.562.611	22,2%	1.215.711
1997	890.000	39%	1.688.000	21,8%	1.320.016
1998	833.000	40%	1.673.000	21,1%	1.319.997
1999	869.000	40%	1.875.000	19,7%	1.505.625
2000	911.000	41%	2.067.000	19,2%	1.670.136
2001	883.000	42%	2.071.000	19,0%	1.677.510
2002	1.039.000	44%	2.412.000	20,1%	1.927.188
2003	970.000	45%	2.389.000	19,4%	1.925.534
2004	958.000	45%	2.571.000	17,8%	2.113.362

Ano	Embalagens de vidro (t)	Reciclagem de embalagens	Produção nacional (t)	Reciclagem média de vidro	Produção virgem (t)
2005	969.000	45%	2.623.000	17,6%	2.161.352
2006	973.000	46%	2.318.000	20,5%	1.842.810
2007	1.042.000	47%	2.363.000	22,0%	1.843.140
2008	904.000	47%	2.351.000	19,2%	1.899.608
2009	913.000	47%	2.375.000	19,2%	1.919.000
2010	982.000	47%	2.611.000	18,7%	2.122.743
2011	1.090.000	47%	3.000.000	18,1%	2.457.000
2012	1.016.970	47%	2.799.000	18,1%	2.292.381
2013	1.185.787	47%	3.263.634	18,1%	2.672.916
2014	1.119.383	47%	3.080.870	18,1%	2.523.233
2015	1.072.369	47%	2.951.474	18,1%	2.417.257
2016	1.008.027	47%	2.774.385	18,1%	2.272.222
2017	1.039.276	47%	2.860.391	18,1%	2.342.661
2018	1.077.729	47%	2.966.226	18,1%	2.429.339
2019	1.061.563	47%	2.921.733	18,1%	2.392.899
2020	901.267	47%	2.480.551	18,1%	2.031.571
2021	1.036.457	47%	2.852.634	18,1%	2.336.307
2022	1.017.801	47%	2.801.286	18,1%	2.294.253

Segundo os Anuários, entre os componentes do vidro virgem, o calcário entra na proporção de 10%, a dolomita 2% e a barrilha 15%, em média. Considerando estas participações, pôde-se calcular a quantidade de calcário e dolomita utilizada, e as emissões de CO₂ referentes à calcinação desses materiais.

Tabela 5.11. Uso de calcário, barrilha e dolomita na indústria do vidro, de 1990 a 2022.

Ano	Uso de calcário (t)	Uso de dolomita (t)	Uso de barrilha (t)
1990	124.830	24.966	187.245
1991	124.830	24.966	187.245
1992	90.847	18.169	136.270
1993	109.107	21.821	163.660
1994	99.120	19.824	148.681
1995	119.700	23.940	179.550
1996	121.571	24.314	182.357
1997	132.002	26.400	198.002
1998	132.000	26.400	198.000
1999	150.563	30.113	225.844
2000	167.014	33.403	250.520

Ano	Uso de calcário (t)	Uso de dolomita (t)	Uso de barrilha (t)
2001	167.751	33.550	251.627
2002	192.719	38.544	289.078
2003	192.553	38.511	288.830
2004	211.336	42.267	317.004
2005	216.135	43.227	324.203
2006	184.281	36.856	276.422
2007	184.314	36.863	276.471
2008	189.961	37.992	284.941
2009	191.900	38.380	287.850
2010	212.274	42.455	318.411
2011	245.700	49.140	368.550
2012	229.238	45.848	343.857
2013	267.292	53.458	400.937
2014	252.323	50.465	378.485
2015	241.726	48.345	362.589
2016	227.222	45.444	340.833
2017	234.266	46.853	351.399
2018	242.934	48.587	364.401
2019	239.290	47.858	358.935
2020	203.157	40.631	304.736
2021	233.631	46.726	350.446
2022	229.425	45.885	344.138

5.3.1.4 Outras utilizações de carbonatos em processos

5.3.1.4.1 Cerâmica

As emissões relacionadas ao processo de fabricação de cerâmica resultam da calcinação de carbonatos na argila, além da adição de aditivos. Semelhante aos processos de produção de cimento e cal, os carbonatos são aquecidos a altas temperaturas em um forno, produzindo óxidos e CO₂.

A metodologia *Tier 1* aplica uma composição única para a massa de carbonatos presente na argila. Neste NIR 2024, foram levantadas informações sobre a proporção dos óxidos de cálcio (CaO) e magnésio (MgO), o que configura metodologia *Tier 2*, conforme Equação 5.6, constante no Quadro 5.9.

Quadro 5.9. Equação para estimar emissões de CO₂ do carbonato de cálcio.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.6	CO ₂	2.A.4	$\text{Emissões de CO}_2 = (EF_{CaCO_3} \times M_{CaCO_3}) + (EF_{MgCO_3} \times M_{MgCO_3})$	Equação 2.15 (IPCC, 2006, v. 3, cap. 2)

Em que:

EF_{CaCO_3} é o fator de emissão de CO₂ do carbonato de cálcio;

M_{CaCO_3} é a massa de carbonato de cálcio, calculada a partir da quantidade de CaO; E_{FMgCO_3} é o fator de emissão de CO_2 do carbonato de magnésio; e M_{MgCO_3} é a massa de carbonato de magnésio, calculada a partir da quantidade de MgO.

O IPCC (2006) apresenta um valor-padrão de 10% de conteúdo de carbonatos. No entanto, para este Inventário foram pesquisadas publicações que apresentassem a composição química das argilas usadas no país. Os óxidos CaO e MgO são apresentados em porcentagem. Sua origem são os carbonatos de calcário e magnésio, respectivamente. Esses carbonatos, uma vez calcinados, emitem CO_2 , que é uma parte do percentual da chamada “perda ao fogo”. Com base nos percentuais de CaO e MgO, chega-se ao percentual de $CaCO_3$ e $MgCO_3$, usando-se os seguintes pesos atômicos constantes na Tabela 5.12. A relação $CaCO_3/CaO$ será obtida multiplicando-se o percentual de CaO da amostra por 1,785 e a relação $MgCO_3/MgO$, por 2,092.

Tabela 5.12. Pesos atômicos de cal e carbonatos.

Substância	Peso atômico
CaO	56,08
MgO	40,31
$CaCO_3$	100,09
$MgCO_3$	84,32

Dados de atividades e outros parâmetros

Para obter as informações de produção de cerâmica no Brasil, foram usados os dados do IBGE (IBGE, 2016). Inicialmente, as informações disponíveis foram de 2005 a 2013.⁴⁰ Para conversão para uma unidade única de massa foram considerados os seguintes fatores:

- Código NCM⁴¹ 2342.2030: Ladrilhos, placas e azulejos de cerâmica para pavimentação ou revestimento, esmaltados (lado superior ou igual a 7cm) → 16,8 kg/m² ou 0,0168 t/m²;
- Código NCM 2342.2040 Ladrilhos e placas de cerâmica para pavimentação ou revestimento, não esmaltados (lado superior ou igual a 7cm) → 16,8 kg/m² ou 0,0168 t/m²;
- Código NCM 2342.2045 Pastilhas, cubos e artigos semelhantes de cerâmica, para mosaicos, esmaltados ou não (lado inferior a 7 cm) → 16,8 kg/m² ou 0,0168 t/m²;
- Código NCM 2342.2050 Telhas de cerâmica → 2,0 kg/unidade ou 2,0 t/mil unidades;
- Código NCM 2342.2065 Tijolos perfurados, tapa-vigas e outros tijolos de cerâmica para construção, exceto refratários → 2,0 kg/unidade ou 2,0 t/mil unidades; e
- Código NCM 2349.2110 Pias, banheiras, bidês e semelhantes para uso sanitário, de cerâmica ou porcelana → 13,0 kg/unidade ou 13,0 t/mil unidades.

Como os códigos NCM 2349.2070 e NCM 2349.2075 foram descontinuados pelo IBGE a partir de 2014 e representam pouco relativamente aos outros itens, eles foram desconsiderados para este Inventário. Para completar as séries dos códigos NCM 2342.2010, NCM 2342.2080, NCM 2349.2010, NCM 2349.2045 e NCM 2349.2100, foram feitas interpolações quando a falta de dados era nos anos de 2006 a 2012; quando a falta era em 2005, tomou-se como referência o mesmo número de 2006.

⁴⁰ Tabela 5809. Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e os produtos – CNAE 2222 até 2822 – Prodlist Indústria 2013. *Link:* <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5809>.

⁴¹ Nomenclatura Comum do Mercosul.

A produção a partir de 2014⁴² também foi obtida em SIDRA/IBGE, sendo que para completar a série do código NCM 2349.2100, foi feita interpolação entre 2013 (da série anterior) e 2015. A produção de 2005 a 2022 é apresentada na Tabela 5.13 e Tabela 5.14. Exceção ocorreu com a produção em 2022, que, pela indisponibilidade de dados, foi estimada a partir da extrapolação da tendência da produção verificada entre 2014-2021.

Para extrapolar essa série para os anos anteriores até 1990, ano inicial do Inventário, foi feita uma correlação da produção de cerâmica e a energia usada pela Subcategoria Cerâmica entre 2005 e 2022, conforme Balanço Energético Nacional (Tabela A.V.1 e Tabela A.V.2, Apêndice V). Para abranger a melhoria contínua de eficiência no consumo de insumos energéticos do setor, foi escolhido um modelo de correlação exponencial (Figura A.V.1, Apêndice V). Com essa relação, pôde-se obter a produção de cerâmica total de 1990 a 2004, sendo que para separá-la entre as 17 categorias para os anos anteriores a 2005, usou-se a média de participação de 2005 a 2022, referente à produção, em termos de massa, conforme a Tabela A.V.3 do Apêndice V. Em seguida, as 17 categorias obtidas do IBGE/SIDRA foram agrupadas em quatro apenas, conforme consta no Quadro A.V.1 (Apêndice V).

Assim, foi obtida a produção anual para as quatro subcategorias, que podem ser apresentadas na Tabela 5.15.

⁴² Tabela 6705 – Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e os produtos – Prodlist Indústria. *Link:* <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6705>.

Tabela 5.13. Produção total de cerâmica por NCM, em toneladas, de 2005 a 2013.

Código NCM	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
2341.2025	8.578	11.205	38.460	36.461	36.111	15.200	14.078	14.271	29.009
2341.2040	332.545	771.620	885.454	1.137.516	632.375	855.875	1.038.425	448.605	452.169
2342.2010	898	898	1.764	1.290	816	1.092	492	714	935
2342.2030	8.968.013	9.785.001	10.011.188	11.296.512	10.984.223	12.621.184	14.009.544	14.589.073	14.637.828
2342.2040	100.987	74.725	189.347	171.102	358.327	266.666	271.493	296.532	242.867
2342.2045	314.770	313.909	488.282	311.893	452.796	590.437	546.478	325.321	253.475
2342.2050	3.272.646	4.569.920	4.024.140	4.438.102	4.625.378	4.833.174	5.241.092	4.859.466	5.075.088
2342.2065	6.374.466	7.764.682	8.026.712	9.353.462	8.959.064	10.144.398	10.609.710	11.937.622	13.853.984
2342.2080	49.228	47.041	49.448	56.298	63.149	12.049	15.484	6.718	5.331
2349.2010	742	1.193	6.780	3.267	3.025	2.783	16.371	20.990	18.225
2349.2030	32.165	31.913	44.068	22.214	18.210	26.856	38.993	32.601	51.586
2349.2045	123	8.895	846	3.691	2.294	2.313	2.313	2.332	460
2349.2050	13.633	16.746	19.243	47.641	44.468	37.544	31.132	37.256	41.579
2349.2080	2.721	2.859	3.376	1.097	1.078	1.026	1.111	1.557	5.039
2349.2090	34.459	36.171	32.811	32.065	30.232	42.482	39.569	23.529	18.596
2349.2100	1.979	1.979	981	859	852	845	3.955	4.079	4.204
2349.2110	307.970	347.568	332.059	282.503	276.055	314.535	342.238	415.961	455.234
Total	19.815.923	23.786.326	24.154.959	27.195.973	26.488.453	29.768.460	32.222.478	33.016.625	35.145.611

Tabela 5.14. Produção total de cerâmica por NCM, em toneladas, de 2014 a 2022.

Código NCM	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
2341.2025	31.450	27.496	6.808	5.149	8.267	11.820	0	35.756	31.438
2341.2040	480.690	359.673	3.667.425	1.950.287	4.288.077	3.932.982	4.206.478	5.270.232	4.633.844
2342.2010	595	385	490	550	704	843	2.001	2.069	1.819
2342.2030	15.126.268	14.772.640	13.464.749	13.434.915	13.995.959	13.745.734	12.787.700	15.808.336	13.899.457
2342.2040	310.599	443.802	543.609	579.811	521.898	1.300.739	1.678.606	1.186.194	1.042.959
2342.2045	292.343	295.162	166.205	96.101	116.790	118.363	109.512	54.421	47.850
2342.2050	6.045.664	5.765.134	5.488.932	4.899.306	3.528.860	3.907.692	3.738.462	4.523.130	3.976.956
2342.2065	16.460.558	14.695.994	11.338.594	10.349.708	10.585.996	12.973.184	9.385.766	11.792.074	10.368.164
2342.2080	3.297	2.216	1.279	2.533	1.526	5.553	6.048	470.550	413.730
2349.2010	11.699	14.894	8.204	5.098	5.753	14.642	17.271	29.441	25.886
2349.2030	87.573	53.311	63.831	104.424	68.535	63.831	67.637	85.457	75.138
2349.2045	6.550	801	1.241	855	0	4.627	8.373	3.476	3.056
2349.2050	50.731	38.539	0	37.107	39.044	430.364	406.410	622.978	547.753
2349.2080	5.846	6.772	4.268	66.579	112.008	0	480.865	587.604	516.650
2349.2090	21.074	22.986	18.965	87.887	35.876	75.178	55.936	45.779	40.251
2349.2100	3.477	2.750	2.558	4.767	5.922	1.446	1.319	1.905	1.675
2349.2110	468.806	519.480	455.039	398.619	339.599	369.629	309.283	448.734	394.549
Total	39.407.220	37.022.034	35.232.196	32.023.697	33.654.814	36.956.627	33.261.667	40.968.136	36.021.175

Tabela 5.15. Produção total de cerâmica por tipo, em mil toneladas, de 1990 a 2022.

Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Cerâmica vermelha	5.146	5.125	5.290	5.909	6.193	6.339	6.996	7.631	8.013	8.259	8.777	8.777
Cerâmica de revestimento	4.059	4.043	4.172	4.661	4.885	5.000	5.518	6.019	6.321	6.514	6.923	6.923
Louça de mesa	98	98	101	113	118	121	134	146	153	158	168	168
Louça sanitária	111	110	114	127	133	136	151	164	172	178	189	189
Total	9.414	9.376	9.677	10.811	11.330	11.596	12.798	13.960	14.660	15.109	16.057	16.057
Tipo	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Cerâmica vermelha	9.220	9.678	10.212	10.039	13.167	13.033	15.026	14.320	15.865	16.936	17.288	19.435
Cerâmica de revestimento	7.273	7.634	8.055	9.384	10.174	10.689	11.780	11.795	13.478	14.828	15.211	15.134
Louça de mesa	176	185	195	85	99	101	108	97	111	117	101	121
Louça sanitária	198	208	220	308	348	332	283	276	315	342	416	455
Total	16.868	17.706	18.683	19.816	23.786	24.155	27.196	26.488	29.768	32.222	33.017	35.146
Tipo	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022			
Cerâmica vermelha	23.034	20.866	20.512	17.213	18.419	20.847	17.356	22.123	19.452			
Cerâmica de revestimento	15.729	15.512	14.175	14.111	14.635	15.165	14.576	17.049	14.990			
Louça de mesa	175	125	91	302	261	575	1.021	1.347	1.185			
Louça sanitária	469	519	455	399	340	370	309	449	395			
Total	39.407	37.022	35.232	32.024	33.655	36.957	33.262	40.968	36.021			

Os fatores de emissão seguem a relação estequiométrica constante na Tabela 5.16.

Tabela 5.16. Fatores de emissão para carbonatos.

Fator de emissão	Unidade
0,440	t CO ₂ /t CaCO ₃
0,522	t CO ₂ /t MgCO ₃

Assim, desde que se tenham as quantidades de óxidos CaO e MgO na argila, pode-se calcular o CO₂ emitido na fabricação das cerâmicas, em termos de t CO₂/t argila consumida. Para as quantidades de óxidos CaO e MgO na argila, foram obtidos 20 trabalhos, com 32 referências estaduais, conforme a Tabela A.V.4 (Apêndice V).

Para simplificar, trabalhou-se numa média por região, sendo que a região Norte, sem trabalhos identificados, foi feita igual à região Nordeste. Os fatores de emissão por Unidade Federativa (UF) estão na coluna da direita (Tabela A.V.4, Apêndice V), com o fator de 110% embutido, sendo estes considerados na contabilização de emissões do setor.

Finalmente, como objetivou-se chegar à emissão total a partir da emissão por UF, foi necessário saber a participação de cada UF nas quatro categorias sumarizadas anteriormente. As distribuições puderam ser obtidas a partir do Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos (MME, 2022b).

5.3.1.4.2 Outros usos de barrilha

A barrilha (carbonato neutro de sódio, Na₂CO₃) é usada como material de consumo em muitas indústrias, incluindo a manufatura de vidro, sabões e detergentes, produção de papel e de polpa de celulose e tratamento de água. O CO₂ é emitido a partir do uso da barrilha e pode ser emitido durante sua produção, dependendo do processo industrial usado para fabricá-la. Quatro diferentes processos podem ser usados comercialmente para produzir barrilha. Três deles são referidos como processos naturais e usam trona como material de consumo básico. O quarto, o processo *Solvay*, é classificado como processo sintético.

Os processos naturais são os únicos que sabidamente produzem emissões de CO₂ durante a fabricação de barrilha. A produção brasileira, descontinuada a partir de 2002, usava o processo sintético e, portanto, nenhuma emissão líquida foi produzida a partir daquele ano.

Em termos da metodologia para estimar emissões, são seguidos os mesmos passos listados na Seção 5.3.1.3.

Dados de atividades e outros parâmetros

Para definição do consumo de barrilha é necessário levantar a produção, importação e exportação do produto. Os Anuários da Abiquim (1995, 1997, 2000, 2005, 2008, 2012) foram utilizados como fonte de informação, com estatísticas até 2014. A partir de 2015, na falta de dados atualizados, foi extrapolada a importação com base nos dados de 2010 a 2014, e foi considerada constante a exportação verificada em 2014 até 2022.

A Tabela 5.17 apresenta a produção, importação, exportação e consumo de barrilha considerado na estimativa de emissões. Para evitar dupla contagem, foram abatidos dos valores da coluna consumo, os valores de barrilha consumidos na produção de vidro, já relatados na Tabela 5.11, para se calcularem as emissões de CO₂.

Tabela 5.17. Produção, exportação, importação e consumo de barrilha, 1990 a 2022.

Ano	Produção	Importação	Exportação	Consumo
	t			
1990	195.893	242.788	0	438.681
1991	207.607	253.610	0	461.217
1992	220.596	179.785	0	400.381
1993	231.390	218.954	10	450.334
1994	219.471	231.827	255	451.043
1995	203.950	392.071	2	596.019
1996	211.043	306.932	9	517.966
1997	206.273	334.398	3	540.668
1998	201.866	358.459	4	560.321
1999	208.834	352.073	4	560.903
2000	190.616	393.845	4	584.457
2001	194.837	430.797	400	625.234
2002	-	424.780	609	424.170
2003	-	471.938	558	471.381
2004	-	473.063	1	473.062
2005	-	597.888	2	597.886
2006	-	742.140	2	742.139
2007	-	804.105	2.192	801.913
2008	-	861.195	20	861.175
2009	-	770.854	560	770.294
2010	-	954.675	47	954.629
2011	-	904.506	602	903.904
2012	-	1.062.560	704	1.061.856
2013	-	1.041.162	4.810	1.036.352
2014	-	1.237.081	1.302	1.235.779
2015	-	1.250.438	1.302	1.249.136
2016	-	1.320.585	1.302	1.319.283
2017	-	1.390.732	1.302	1.389.430
2018	-	1.460.879	1.302	1.459.577
2019	-	1.531.026	1.302	1.529.724
2020	-	1.601.173	1.302	1.599.871
2021	-	1.671.320	1.302	1.670.018
2022	-	1.741.467	1.302	1.740.165

5.3.1.4.3 Produção de magnésia não metalúrgica

O óxido de magnésio (MgO), ou magnésia, é produzido a partir da mineração e calcinação da magnesita (carbonato de magnésio, $MgCO_3$). Também é viável obtê-lo de outros minerais, notadamente a dolomita, ou diretamente de salmouras e da água marinha.

Como insumo, é empregado: a) em revestimentos refratários; b) na agropecuária, como corretivo, fertilizante e aditivo para rações; c) nas metalúrgicas, em ligas de alumínio; d) na indústria química, na obtenção de compostos de magnésio; e e) na construção civil, no cimento sorel e em placas substitutas do *drywall*, entre outras dezenas de aplicações (MME, 2020a).

A indústria siderúrgica é a principal consumidora de refratários, absorvendo aproximadamente 70% da produção de refratários em termos de volume. Outras indústrias que apresentam elevado consumo agregado de refratários são fundição de ferro e aço, metalurgia de metais não ferrosos, como alumínio, cimento e cal, vidro, química e outros (MME, 2020a).

As emissões de CO₂ são calculadas a partir da quantidade de magnesita calcinada, com o fator de emissão de 0,52197 t CO₂/t magnesita, padrão do IPCC (2006). Uma vez que não há informações da pureza do minério, não foi aplicado um fator de redução.

Dados de atividades e outros parâmetros

Para se chegar à quantidade de magnesita beneficiada (consumo aparente do país), deve-se acrescentar à produção nacional de magnesita a quantidade importada e subtrair a exportada.

De 1990 a 1998, obtiveram-se os dados de produção, importação e exportação de magnesita beneficiada por meio do Balanço Mineral Brasileiro 2001 (Brasil, 2001). A partir de 1999, os dados foram obtidos de várias edições do Sumário Mineral (MME, 2019). Diante da inexistência de dados atualizados, consideraram-se constantes os valores apresentados em MME (2020b) em 2019 para o período de 2020 a 2022.

Tabela 5.18. Produção, exportação, importação e consumo de magnesita beneficiada, 1990 a 2022.

Ano	Produção	Importação	Exportação	Consumo aparente
	t			
1990	345.415	1.873	92.408	254.880
1991	337.306	2.570	40.735	299.141
1992	284.357	4.618	107.837	181.138
1993	232.683	3.513	78.832	157.364
1994	279.489	16.580	93.041	203.028
1995	315.978	87.014	141.515	261.477
1996	316.697	133.561	94.181	356.077
1997	497.624	126.043	92.403	531.264
1998	342.485	121.967	88.092	376.360
1999	259.834	67.173	46.718	280.289
2000	279.876	79.930	7.590	352.216
2001	265.749	7.609	56.657	216.701
2002	302.230	7.443	67.727	241.946
2003	306.444	9.331	37.948	277.827
2004	366.174	8.013	98.440	275.747
2005	386.759	13.293	63.625	336.427
2006	382.718	15.247	88.168	309.797
2007	399.314	17.562	98.838	318.038
2008	421.333	19.871	124.031	317.173
2009	409.909	16.443	129.245	297.107
2010	483.882	52.147	148.649	387.380

Ano	Produção	Importação	Exportação	Consumo aparente
	t			
2011	476.805	57.812	157.267	377.350
2012	479.304	52.643	159.794	372.153
2013	1.388.866	58.449	172.574	1.274.741
2014	1.423.211	83.837	485.527	1.021.521
2015	1.621.425	278.875	388.290	1.512.010
2016	1.652.424	148.435	428.211	1.372.648
2017	2.034.000	148.435	428.211	1.754.224
2018	1.700.000	148.435	428.211	1.420.224
2019	1.700.000	148.435	428.211	1.420.224
2020	1.700.000	148.435	428.211	1.420.224
2021	1.700.000	148.435	428.211	1.420.224
2022	1.700.000	148.435	428.211	1.420.224

5.3.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Indústria Metalúrgica (2.A) são citados na Seção 2.5 deste documento.

5.3.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CO₂ da Indústria Mineral (2.A) é apresentada no Apêndice II.

O processo de atualização do Inventário Nacional considerou a revisão das séries históricas de dados de atividade diante da publicação de documentos atualizados que abrangeram produção, exportação, importação e dos produtos dos segmentos do Subsetor Indústria Mineral. Em síntese, os principais ajustes decorrem de:

- *Cimento (2019-2020)*: revisão da produção de clínquer e de cimento;
- *Cal (2019-2020)*: revisão da produção de cal;
- *Vidro (2018-2020)*: revisão da produção por tipologia de vidro, assim como uso de calcário, barrilha e dolomita associados;
- *Cerâmica (2017-2020)*: revisão da produção dos diferentes produtos cerâmicos, assim como consumo de energia pelo setor; e
- *Magnesita beneficiada (2018-2019)*: revisão da produção, importação e exportação (Brasil, 2022).

Considerando os resultados consolidados do Inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, a maior proporção dos ajustes é verificada em 2020, com 1,5% de diferença entre emissões estimadas. De fato, na edição anterior do Inventário (Brasil, 2022), que cobriu emissões de 1990 a 2020, a indisponibilidade de dados na base SIDRA/IBGE, principal referência para dados de atividade da Indústria Mineral, demandou extrapolações particularmente para o biênio 2019-2020. Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de apenas 0,12%, e no período de 1990 a 2020, de 0,02%, o que demonstra a consistência da série temporal do subsetor (Figura 5.4).

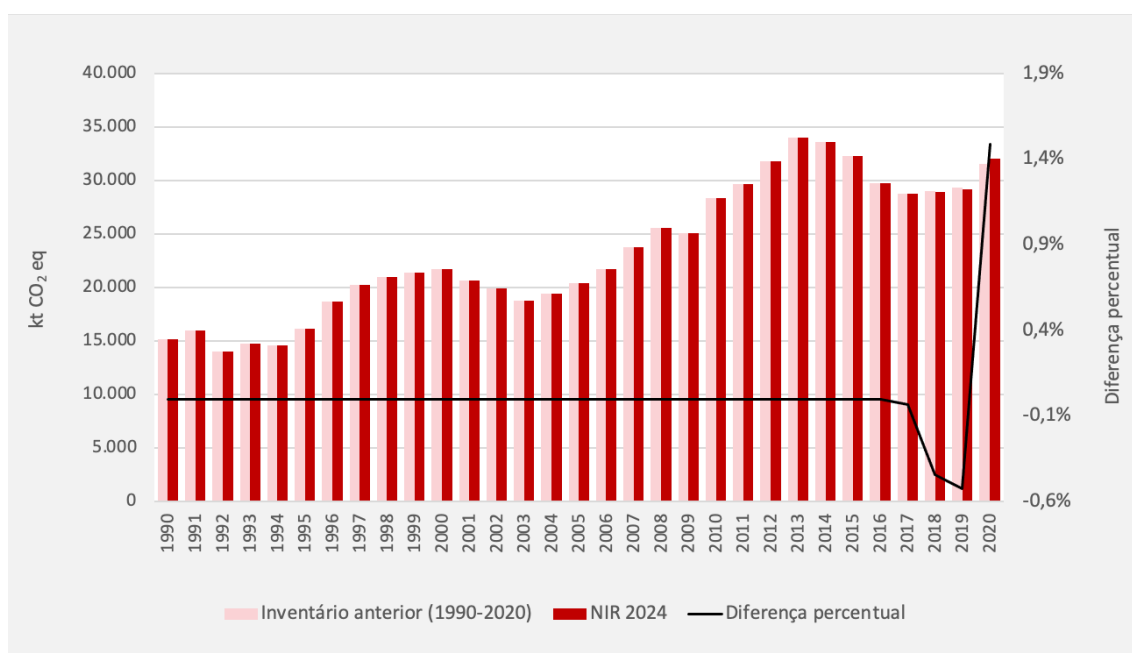


Figura 5.4. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Indústria Mineral (2.A) entre os inventários.

5.3.4 Plano de melhoria

A experiência acumulada na elaboração periódica dos Inventários Nacionais de GEE propiciou a proposição de uma série de medidas de melhoria da consistência e maior detalhamento dos resultados do Inventário no particular da Indústria Mineral (2.A). O Quadro 5.10 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para implementação em futuras edições do Inventário deste subsetor.

Quadro 5.10. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do subsetor Indústria Mineral (2.A).

Subsetor	Categoria	Melhoria
2.A. INDÚSTRIA MINERAL	Geral (todas as categorias)	- Alinhar Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias com as Associações Setoriais, visando incentivar a coleta e obtenção sistemática de dados de atividade para a elaboração do Inventário em base bienal. - Alinhar Acordo de Cooperação Técnica ou parcerias com entidades governamentais, com intuito de incentivar a produção anual de estatísticas setoriais de produção para disponibilizar na base SIDRA.
	2.A.1. Produção de Cimento	Aprofundar estudos para avaliação de dados sobre teores de CaO e MgO que compõem a produção do clínquer por planta, quantidade de clínquer produzida por planta, quantidade de cimento produzida por tipo e compostos minerais como gesso, calcário, escória, <i>fly ash</i>, pozolanas e CKD utilizados para produção do cimento.

Subsetor	Categoria	Melhoria
	2.A.2. Produção de Cal	Alinhar Acordo de Cooperação Técnica ou parcerias, com intuito de incentivar a produção anual de estatísticas setoriais de produção para disponibilização nacional.
	2.A.3. Produção de Vidro	- Alinhar parceria visando incentivar a elaboração sistemática dos Anuários do Setor de Transformação de Não Metálicos. - Avaliar estudos sobre dados anuais de reciclagem por tipo de vidro.
	2.A.4. Outras utilizações de carbonatos em processos	- Alinhar parceria visando incentivar a elaboração sistemática dos Anuários do Setor de Transformação de Não Metálicos. - Avaliar a possibilidade de estabelecer parceria com Associações do Setor Cerâmico visando incentivar a atualização dos fatores de emissão e participação por subcategorias de produção em âmbito subnacional.

5.4 Indústria Química (CRT 2.B)

No Subsetor Indústria Química (2.B), as emissões resultam de seus processos produtivos. As categorias estimadas no Inventário foram: Produção de Amônia (2.B.1); Produção de Ácido Nítrico (2.B.2); Produção de Ácido Adípico (2.B.3); Caprolactama, Glioxal e Produção de Ácido Glioxílico (2.B.4); Produção de Carbureto (2.B.5); Produção de Petroquímica e Negro de Fumo (2.B.8); e Produção de Fluoroquímicos (2.B.9). A Produção de Dióxido de Titânio (2.B.6) não emite GEE, em decorrência da rota tecnológica utilizada no país. Para a categoria Produção de Carbonato de Sódio (2.B.7), não houve atividade produtiva verificada no período inventariado.

Em 2022, a Indústria Química apresentou emissão de 7.021 kt CO₂ eq, que correspondeu a 9% das emissões de IPPU, com diminuição de 2% se comparado com 2020 (Figura 5.5). A categoria Produção de Petroquímica e Negro de Fumo (2.B.8) foi a mais representativa, e correspondeu a 95% do total do subsetor (2.B). Na sequência, as emissões pela Produção de Amônia (2.B.1), Produção de Ácido Nítrico (2.B.2) e Produção de Carbureto (2.B.5) foram as mais representativas, com 2%, 2% e 1%, respectivamente.

Entre 2020 e 2022, entre as emissões do Subsetor Indústria Química (2.B), as de CO₂ caíram 2%, as de CH₄ em 4% e as de NO_x em 8%. Por sua vez, as emissões de N₂O cresceram 1%, NMVOC em 2%, e as de CO, 15%.

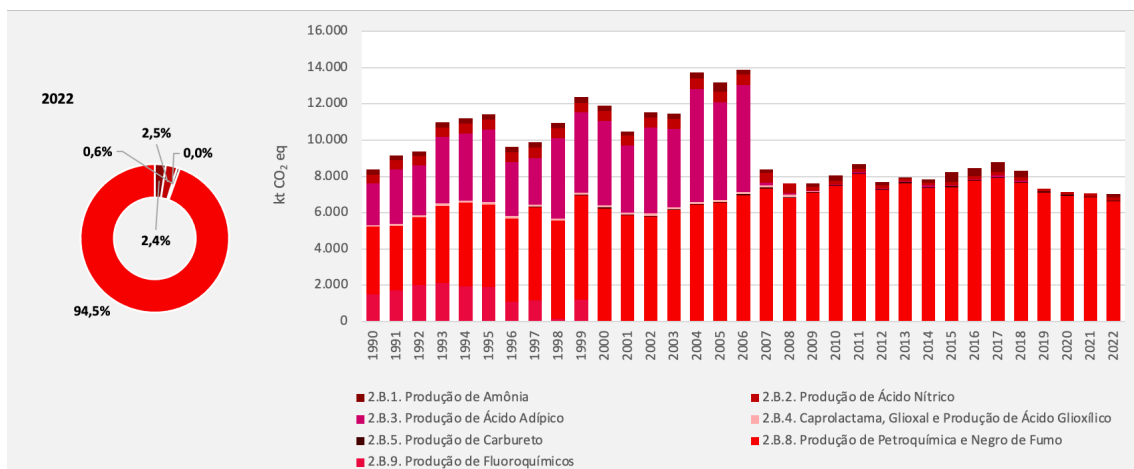


Figura 5.5. Emissões da Indústria Química (2.B), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

No que se refere a CO₂, observa-se que, em todo o período, a principal categoria emissora foi a Produção de Petroquímica e Negro de Fumo (2.B.8) que, em 2022, contribuiu com 97% das emissões desse gás no subsetor. Nesta categoria, destacaram-se as emissões referentes à produção de Eteno (77% da categoria).

No caso de CH₄, o total das emissões referiu-se à categoria Produção de Petroquímica e Negro de Fumo (2.B.8), com destaque para produção de Eteno (92% da categoria). As emissões de N₂O advieram das categorias Produção de Ácido Nítrico (2.B.2) e Produção de Ácido Adípico (2.B.3), que representaram 99% e 1% em 2022, respectivamente.

Em relação ao CO, as emissões estiveram relacionadas com a categoria Produção de Ácido Adípico (2.B.3). As emissões de NO_x foram oriundas da Produção de Ácido Nítrico (2.B.2), Produção de Ácido Adípico (2.B.3) e Produção de Petroquímica e Negro de Fumo (2.B.8), com 68%, 28% e 4%, respectivamente, em 2022. Por fim, as emissões de NMVOC foram oriundas da categoria Outros Produtos Químicos (2.B.10) e da Produção de Petroquímica e Negro de Fumo (2.B.8), com contribuições de 81% e 19%, respectivamente, em 2022.

5.4.1 Aspectos metodológicos

As metodologias aplicadas nas estimativas de emissões de CO₂, N₂O e CH₄ a partir dos processos industriais químicos seguiram o IPCC (2006). Já as emissões dos gases CO, NO_x e NMVOC, foram estimadas por meio do IPCC (1997).

Os dados sobre a produção dos químicos foram obtidos em SIDRA/IBGE (IBGE, 2024b) e Anuários estatísticos Abiquim (Abiquim, 1993; 1997; 2000; 2005; 2008; 2009; 2012; 2013; 2016; 2020), publicação sob coordenação da Associação que reúne os fabricantes de produtos químicos no país. Os dados de 2017 a 2022 foram obtidos em contato direto com a Abiquim (Abiquim, 2024), e as informações recebidas são mantidas em confidencialidade, sendo esta uma condição para sua obtenção.

5.4.1.1 Produção de Amônia

A amônia é um dos produtos químicos básicos, produzido em grandes quantidades, utilizado como fonte de nitrogênio. É matéria-prima para a fabricação de ureia, o principal fertilizante nitrogenado, e para a produção de ácido nítrico, intermediário na produção de nitrato de amônio fertilizante e nitrato de amônio explosivo.

Pela metodologia do IPCC (2006), as emissões de CO₂ da produção de amônia devem ser descontadas apenas da parte utilizada para a fabricação de ureia, parte essa que foi contabilizada sob o uso desse fertilizante no Setor Agropecuária.

Para as emissões de CO₂ foi aplicado *Tier 3*, conforme o IPCC (2006), com a medição de combustíveis utilizados como matérias-primas no processo pelas próprias empresas. Por sigilo industrial, as fábricas não divulgaram esses dados básicos, podendo-se apenas indicar os fatores de emissão médios referentes a três das rotas existentes no país:

- Resíduo asfáltico: 2,0 t CO₂/t de amônia;
- Gás de refinaria: 1,3 t CO₂/t de amônia; e
- Gás natural: 1,2 t CO₂/t de amônia.

Considerando-se as matérias-primas utilizadas no Brasil e seus respectivos fatores de emissão acima, obteve-se um valor médio para o fator de emissão nacional de 1,46 t de CO₂/t de amônia, que foi aplicado para todos os anos do período 1990 a 2022 do NIR 2024.

Para o desconto do CO₂ utilizado para a produção de ureia, foi utilizado o mesmo fator de emissão de 0,20 t C/t ureia adotado no Setor Agropecuária, conforme o padrão do IPCC (2006), associado à conversão de C para CO₂ com o fator de 44/12.

Dados de atividades e outros parâmetros

A produção de amônia foi fornecida pela Abiquim para o período de 1990 a 2022, sendo solicitada confidencialidade dos dados de 2017 a 2022. Quanto à produção de ureia, a base de dados SIDRA/IBGE fornece dados de 2005 a 2022. Para os anos anteriores, tomou-se uma correlação média com a quantidade de amônia produzida entre 2005 e 2007, aplicando-a em seguida de 1990 a 2004. A Tabela 5.19 apresenta a produção de amônia e de ureia no país.

Tabela 5.19. Produção de amônia e ureia, 1990 a 2022.

<i>Ano</i>	<i>Produção de amônia</i>	<i>Produção de ureia</i>
	<i>t</i>	<i>t</i>
1990	1.152.563	1.904.707
1991	1.012.110	1.672.596
1992	1.038.436	1.716.102
1993	1.153.336	1.905.984
1994	1.156.830	1.911.758
1995	1.222.348	2.020.032
1996	1.201.047	1.984.831
1997	1.252.722	2.070.228
1998	1.176.431	1.944.151
1999	1.331.113	2.199.775
2000	1.139.109	1.882.473
2001	955.998	1.579.867
2002	1.073.161	1.773.488
2003	1.157.575	1.912.989
2004	1.324.479	2.188.812
2005	1.316.154	1.908.586
2006	1.347.748	2.331.134
2007	1.278.118	2.272.463
2008	1.240.527	2.659.423
2009	1.079.145	1.919.919
2010	1.191.042	1.967.508
2011	1.366.231	2.346.966
2012	1.204.377	2.111.578
2013	1.236.209	2.379.181
2014	1.107.156	1.979.452
2015	1.423.005	2.076.816
2016	1.327.214	2.020.461
2017	C	1.560.869
2018	C	2.081.138
2019	C	1.647.462

Ano	Produção de amônia	Produção de ureia
	t	t
2020	C	1.094.523
2021	C	1.716.854
2022	C	1.417.773

Fontes: Elaborado a partir de Abiquim (2017; 2024) e SIDRA/IBGE (2017; 2024b). Notação: C – Confidencial.

5.4.1.2 Produção de Ácido Nítrico

O ácido nítrico (HNO_3) é um composto inorgânico usado principalmente na fabricação de fertilizantes sintéticos. É o composto mais importante como insumo na fabricação de ácido adípico, como intermediário na produção de ácido nítrico concentrado, para agente de nitração de compostos orgânicos e na fabricação de explosivos.

Para as emissões de N_2O foram utilizados diferentes métodos, dependendo da planta e apenas para as fábricas que emitem N_2O .

Para aquelas plantas que realizaram projetos de MDL,⁴³ foi possível a aplicação do método mais acurado, *Tier 3* do IPCC (2006). Tal método utiliza dados de medições diretas que resultam em fatores de emissões específicos para cada planta. Já para as demais foi utilizado o método *Tier 1*, com aplicação dos fatores de emissão padrão do IPCC (2006).

Os fatores de emissão utilizados nas estimativas são abertos por tipo de tecnologia e indicados como valores-padrão ou medidos:

- Planta de baixa pressão: 4,89 kg N_2O /t HNO_3 – valor medido.
- Plantas de média pressão:
 - 8,14 kg de N_2O /t HNO_3 – valor medido.
 - 6,01 kg de N_2O /t HNO_3 – valor medido.
 - 7,00 kg de N_2O /t HNO_3 – valor-padrão (IPCC, 2006).
- Planta a vácuo: 5 kg N_2O /t HNO_3 – valor-padrão (IPCC, 2006).

Após julho de 2007, com a implementação de um projeto MDL em uma planta de média pressão, o fator de emissão medido dessa planta foi reduzido de 6,01 kg N_2O /t HNO_3 para 0,52 kg N_2O /t HNO_3 , indicando a redução de GEE nesse processo.

Já para as emissões de NO_x , foi aplicado o fator de emissão 1,75 kg NO_x /t HNO_3 . Se trata de valor abaixo do padrão adotado pelo IPCC que é 12 kg NO_x /t HNO_3 do IPCC (1997), tendo em vista o controle de emissões desses gases no país.

Na unidade que utiliza tecnologia de alta pressão, integrada à produção de amônia, os óxidos de nitrogênio, incluído o N_2O , são destruídos em um sistema que utiliza queima de combustíveis.

Dados de atividades e outros parâmetros

A produção total de ácido nítrico foi fornecida pela Abiquim para o período de 1990 a 2022, sendo solicitada confidencialidade dos dados de 2017 a 2022. No caso da produção que emite N_2O , foram utilizados dados de Abiquim (2017) até 2007, sendo estimadas as emissões de 2008 a 2022 com base nos projetos de MDL (UNFCCC, 2024).

⁴³ PAN2 e PAN4, da Fosfertil; e Paulínia, da Rhodia (UNFCCC, 2024).

Tabela 5.20. Produção de ácido nítrico, 1990 a 2022.

Ano	Produção total de ácido nítrico	Produção de ácido nítrico que emite N ₂ O
	t	t
1990	389.426	295.824
1991	404.823	313.909
1992	398.608	310.526
1993	416.789	325.567
1994	554.265	326.489
1995	574.216	332.842
1996	612.031	335.850
1997	611.729	343.127
1998	532.949	332.560
1999	525.011	335.069
2000	540.087	336.025
2001	619.759	331.805
2002	641.626	346.225
2003	539.844	349.566
2004	559.918	357.524
2005	612.609	363.422
2006	601.618	355.706
2007	594.336	356.661
2008	580.386	390.832
2009	577.555	423.757
2010	558.078	360.083
2011	546.028	352.060
2012	492.408	311.591
2013	480.076	312.725
2014	522.626	308.731
2015	517.350	302.939
2016	505.675	305.910
2017	C	314.297
2018	C	315.323
2019	C	313.279
2020	C	312.504
2021	C	320.007
2022	C	320.007

Fonte: Elaborado a partir de Abiquim (2017; 2024) e UNFCCC (2024). Notação: C – Confidencial.

5.4.1.3 Produção de Ácido Adípico

O ácido adípico é um sólido cristalino branco que é utilizado como intermediário na fabricação de fibras sintéticas, plásticos, poliuretanos, elastômeros e lubrificantes sintéticos. Comercialmente é o mais importante ácido alifático dicarboxílico, usado na fabricação de poliéster e nylon 6.6.

A única planta de ácido adípico, no Brasil, utiliza a tecnologia de produção de dois estágios, sendo que o segundo estágio emitia óxido nitroso (N_2O). No fim de 2005, foi registrado na UNFCCC projeto de MDL de destruição de N_2O dessa fábrica, o que ocorreu a partir de 2007. Foi construída uma instalação dedicada à conversão, em alta temperatura, de óxido nitroso em nitrogênio, no processo de decomposição térmica deste GEE.

Para as emissões de N_2O foi aplicado o método mais acurado, *Tier 3* do IPCC (2006). Tal método utiliza os dados de produção da própria planta e o fator de emissão medido diretamente por amostragens periódicas. Tais medições foram realizadas, visando ao projeto de MDL, que requer dados medidos para sua execução. Assim, as emissões de óxido nitroso foram aferidas por determinado período, que refletiu o padrão usual de operação da planta.

O fator de emissão medido corresponde a 0,270 t N_2O /t ácido adípico foi aplicado ao período 1990-2006. Após a implementação do projeto MDL, houve uma redução significativa nas emissões e o fator de emissão implícito, também obtido por medições, variou de 0,00640 t N_2O /t ácido adípico a 0,00155 t N_2O /t ácido adípico.

Em relação aos GEE precursores, foram estimados com fatores de emissão nacionais, em função do controle de emissões desses gases no país. As emissões de monóxido de carbono (CO) foram estimadas com o fator de 16 kg CO/t ácido adípico, e para emissões de NO_x foi aplicado o fator de emissão 5 kg NO_x /t ácido adípico.

Dados de atividades e outros parâmetros

A Tabela 5.21 apresenta um resumo da produção nacional de ácido adípico. Os dados provêm da Abiquim até 2007 e, a partir de 2008, dos relatórios do MDL (UNFCCC, 2024). Destaca-se que, diante da indisponibilidade de relatórios de monitoramento para 2021 e 2022, aplicou-se a produção verificada em 2020 àqueles anos.

Tabela 5.21. Produção de ácido adípico, 1990 a 2022.

Ano	Produção de ácido adípico
	t
1990	31.951
1991	41.676
1992	38.538
1993	51.264
1994	51.825
1995	55.864
1996	41.554
1997	35.767
1998	62.055
1999	61.572
2000	64.862
2001	51.486
2002	65.931
2003	59.979
2004	86.958
2005	75.147
2006	82.614

Ano	Produção de ácido adípico
	t
2007	88.808
2008	85.021
2009	87.196
2010	86.286
2011	85.813
2012	64.792
2013	63.337
2014	51.257
2015	46.643
2016	44.428
2017	65.582
2018	59.088
2019	59.265
2020	51.563
2021	51.563
2022	51.563

Fonte: Elaborado a partir de Abiquim (2017; 2024) e UNFCCC (2024).

5.4.1.4 Produção de Caprolactama

O uso industrial primário da caprolactama é como um monômero na produção de nylon-6. Esse químico também é usado na fabricação de plásticos, cerdas, filmes, coberturas, carpetes, couro sintético, plastificantes, tintas automotivas. Uma característica é que é biodegradável e atinge uma remoção de até 94% da demanda química de oxigênio em sistemas de lodos ativados. O Brasil possuía planta dedicada à produção destes produtos, a qual encerrou atividades em 2009. Ademais, o país não produz glioxal e ácido glioxílico.

A produção brasileira de caprolactama parte da hidrogenação do benzeno a ciclohexano, oxidação a ciclohexanol e ciclohexanona com ácido nítrico, etapa em que é gerado o óxido nitroso, seguida da desidrogenação do ciclohexanol produzido e posterior reação com sulfato.

Para as emissões de N₂O, foi aplicado o método *Tier 3* do IPCC (2006). Tal método utiliza as medições de N₂O realizadas pelas plantas (Abiquim, 2015). O fator de emissão médio resultante dessas medições, aplicado para todo o período, foi de 6 kg N₂O/t caprolactama.

Dados de atividades e outros parâmetros

A Tabela 5.22 apresenta a produção nacional de caprolactama, sendo que o valor nulo a partir de 2010 é em razão do encerramento das atividades da planta.

Tabela 5.22. Produção de caprolactama, 1990 a 2022.

Ano	Produção de Caprolactama
	t
1990	42.059
1991	47.193
1992	41.699
1993	50.824
1994	50.838
1995	52.608
1996	54.712
1997	56.024
1998	42.973
1999	50.498
2000	56.005
2001	48.550
2002	57.519
2003	48.847
2004	50.472
2005	49.655
2006	44.906
2007	49.592
2008	55.395
2009	13.282
2010 – 2022	0

Fonte: Elaborado a partir de Abiquim (2017).

5.4.1.5 Produção de Carbureto

O carbureto de cálcio (CaC_2) é produzido a partir da calcinação do calcário (CaCO_3) e da subsequente redução da cal (CaO) com coque de petróleo ou carvão vegetal. Esses dois tipos de agentes redutores são utilizados no Brasil.

Tanto o processo de calcinação quanto o de redução emitem CO_2 . O uso de matérias-primas como o coque de petróleo e o carvão vegetal no processo produtivo do CaC_2 gera emissões de monóxido de carbono (CO) e CO_2 , porém apenas as emissões provenientes do redutor fóssil – coque de petróleo – são consideradas neste Inventário, sendo as emissões relativas ao uso do carvão vegetal consideradas renováveis. No Brasil, o gás CO é reaproveitado para fins energéticos.

Em torno de 67% do carbono contido no coque de petróleo fica retido no produto final (CaC_2), porém as aplicações do CaC_2 produzido no Brasil acabam resultando em mais emissões. São elas:

- Aplicação siderúrgica: dessulfuração do aço no Brasil e no exterior; e
- Produção de acetileno no Brasil e no exterior.

Portanto, o carbono estocado no CaC_2 acaba sendo emitido como CO_2 quando utilizado.

As emissões de CO_2 foram estimadas utilizando-se o método *Tier 1* (IPCC, 2006), com os dados de consumo de coque de petróleo para estimar as emissões associadas à produção do carbureto de cálcio. Para as emissões relativas ao consumo de carbureto (e.g. aplicação em siderurgia e fabricação de acetileno), a quantidade produzida foi diminuída de uma pequena parte que é

exportada, estimada em 15%, para todos os anos do relatório. Em ambos os casos, são aplicados os fatores de emissão padrão: 1,7 t CO₂/t coque consumido no processo e 1,10 t CO₂/t CaC₂ consumido.

Dados de atividades e outros parâmetros

Os dados de produção e uso de combustíveis são confidenciais (White Martins, 2010). Assim, as emissões a partir de 2011 foram assumidas de acordo com a produção verificada em 2010, que foi de 53.604 t.

5.4.1.6 Produção de Petroquímica e Negro de Fumo

A indústria petroquímica utiliza combustíveis fósseis como gás natural ou produtos de refinaria como nafta, por exemplo, como matérias-primas. O mesmo ocorre no processo produtivo do negro de fumo, apesar de não ser considerado um produto petroquímico.

Dados de atividades e outros parâmetros

Os dados de produção de petroquímicos e negro de fumo foram fornecidos pela Abiquim, contudo, sendo solicitada a confidencialidade das informações.

5.4.1.6.1 Metanol

O principal uso do metanol é na produção do formaldeído aplicado na produção de resinas para uso na indústria de móveis e compensados. Também é usado na produção de biodiesel, embora nessa aplicação o metanol seja reciclável.

As tecnologias de produção de metanol precisam de hidrogênio (H), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂). No Brasil, o processo utilizado até 2016 foi a síntese em baixas e altas pressões, cujas matérias-primas são o gás natural (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂). A unidade foi desativada em julho de 2016, portanto, são estimadas emissões de 1990 a 2016.

Os principais GEE emitidos são CO₂ e o CH₄. As emissões de CO₂ foram estimadas utilizando-se o método *Tier 1* do IPCC (2006). Tal método utiliza os dados da produção nacional de metanol e aplica o fator de emissão-padrão de 0,267 t CO₂/t metanol, levando-se em conta o processo que fora utilizado no Brasil. As emissões de CH₄ também utilizaram o método *Tier 1*, com fator de emissão de 2,3 kg CH₄/t metanol.

5.4.1.6.2 Eteno (ou Etileno)

O eteno é o hidrocarboneto primário produzido em maior quantidade no país e um dos principais da cadeia de valor da indústria petroquímica. É utilizado no processo de produção de plásticos, incluindo os polietilenos de alta e baixa densidade, cloreto de polivinila, sendo também usado como matéria-prima para fabricação de cloreto de vinila, óxido de eteno, etilbenzeno e dicloroetano.

Universalmente, é produzido através do craqueamento de matérias-primas petroquímicas. A produção de etileno também gera, como substâncias secundárias, propileno, butadieno e compostos aromáticos. A rota tecnológica utilizada no Brasil é o tradicional processo de craqueamento de nafta, entretanto em 2004 foi introduzido, pela primeira vez, o gás natural como matéria-prima do processo de pirólise.

A partir de 2010, a indústria química incorporou o etanol como matéria-prima para a produção de eteno: o etanol, portanto o produto derivado do eteno de etanol, o polietileno, sequestra carbono, considerando-se a abordagem de ciclo de vida.

Os principais gases emitidos são dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), além do gás NMVOC.

As emissões de CO₂ foram estimadas utilizando-se o método *Tier 1* do IPCC (2006). Tal método utiliza os dados da produção nacional de eteno e aplica o fator de emissão-padrão de 1,73 kg CO₂/t eteno. De acordo com a metodologia, as emissões calculadas com esse fator devem ser corrigidas, no caso para a América do Sul, por um fator de 1,1 para corrigir para o *mix* de produção da linha do processo de craqueamento a vapor, que inclui, além do eteno, propileno, butadieno, aromáticos e outros químicos.

As emissões de CH₄ também utilizaram o método *Tier 1*, com um fator de emissão de 3 kg CH₄/t eteno, que foi aplicado até 2005.

A partir de 2006, com a entrada em operação da planta que utiliza gás natural, os fatores passaram a ser calculados a partir das medições específicas das plantas do consumo de matérias-primas fósseis. Para o CO₂ os fatores de emissão de 2006 em diante passaram a ser 1,74 kg CO₂/t eteno, enquanto para o CH₄ foram de 3,54 kg de CH₄/t de eteno entre 2006 e 2009 e de 3,25 kg de CH₄/t de eteno a partir de 2010.

Para gases de efeito estufa precursor foi usado o fator de emissão-padrão do IPCC (1997), de 1,4 kg NMVOC/t eteno.

5.4.1.6.3 *Dicloroetano e Cloreto de Vinila (MVC)*

O dicloroetano (1,2 dicloroetano) é um hidrocarboneto clorado, apresentando-se como um líquido oleoso de cor clara com odor adocicado de clorofórmio. É utilizado como intermediário na produção de Cloreto de Vinila (MVC), solventes, hidrocarbonetos policlorados, etilenoglicol e outros, sendo também utilizado como solvente para graxas, óleos e gorduras, limpeza industrial, aditivo para combustíveis e em formulações de solventes, entre outros usos.

A produção de MVC e dicloroetano no Brasil utiliza a rota tecnológica de cloração direta e oxicloração do eteno, sendo usado o cloreto de hidrogênio gerado no craqueamento do dicloroetano. A planta de produção de MVC e dicloroetano pode operar como “processo balanceado” entre os dois produtos. Como o processo não atinge 100% de conversão do eteno, uma pequena porcentagem da matéria-prima não é convertida. Assim, os gases exaustos são tratados para eliminar os compostos clorados formados em reações secundárias. O eteno não reagido é convertido em CO₂ e os compostos clorados sofrem um processo de redução catalítica. Os gases limpos são enviados para a atmosfera atendendo as exigências do órgão de controle ambiental.

Os GEE emitidos são o CO₂ e o CH₄, além do NMVOC.

Para as emissões de CO₂ e de CH₄, foi utilizado *Tier 1* do IPCC (2006). O fator de emissão de 0,294 t CO₂/t MVC foi usado para estimar as emissões de CO₂ da produção integrada dicloroetano – cloreto de vinila. Da mesma forma, o fator de emissão de CH₄ foi de 0,0226 kg CH₄/t MVC e cobre as emissões da produção integrada dos dois compostos.

As emissões de NMVOC foram estimadas com os mesmos fatores de emissão usados no Inventário Inicial (MCT, 2004) de 8,5 kg NMVOC/t MVC, e de 2,2 kg NMVOC/t dicloroetano (IPCC, 1997).

5.4.1.6.4 Óxido de eteno

O principal uso de óxido de eteno, ou etileno, no mundo é na produção de etilenoglicol, comumente conhecido por seu uso como um refrigerante automotivo e anticongelante. Esse produto químico também é utilizado na produção de polímeros de poliéster, como intermediário na produção de éteres, álcoois superiores e aminas. Já no Brasil, o principal uso é na produção de glicóis.

Ele pode ser produzido por meio de duas rotas tecnológicas. A primeira inicia-se com a reação do cloro sobre o eteno na presença de água, seguida da desidrocloração da cloridrina de eteno formada. A segunda utiliza oxidação direta do eteno por meio do ar. Esta última é o processo adotado na produção do óxido de eteno no Brasil.

Os GEE emitidos são o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4).

Para as emissões de CO_2 foi utilizado o método *Tier 2* do IPCC (2006), quando se usa o balanço de massa do carbono total das matérias-primas utilizadas no processo produtivo. O fator de emissão assim calculado foi de 0,52 t CO_2 /t óxido de eteno, relacionado principalmente com a seletividade e eficiência do catalisador utilizado no processo de produção e foi aplicado para todos os anos do período 1990 a 2022. Nas emissões de CH_4 foi utilizado o *Tier 1*, com o fator de emissão de 1,79 kg CH_4 /t óxido de eteno.

5.4.1.6.5 Acrilonitrila

A acrilonitrila é utilizada na manufatura de fibras acrílicas, sínteses orgânicas, fumigantes, surfactantes e corantes. Os compostos mais conhecidos que a utilizam são: a) borrachas de NBR (butadieno-acrilonitrila); b) resinas ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno); e c) mistura ABS/PA.

O processo de produção instalado no Brasil utiliza a tecnologia *Sohio* de reação catalítica de propeno, amônia e ar, usados como matérias-primas. O processo produz acrilonitrila como produto primário e acetonitrila e ácido cianídrico como produtos secundários. A amoniação do propeno não rende 100% de acrilonitrila e por isso uma pequena fração do propeno é convertida em CO_2 por oxidação direta ou convertida em outros hidrocarbonetos por reações paralelas ocorridas durante o processo de amoniação.

Os gases emitidos nesses processos são o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4), além do NMVOC.

Para as emissões de CO_2 foi utilizado o método *Tier 2* do IPCC (2006), usando o balanço de massa do carbono total das matérias-primas utilizadas no processo produtivo. O fator de emissão calculado foi de 0,2325 t CO_2 /t acrilonitrila, tendo sido aplicado para todos os anos do período 1990 a 2022. Nas emissões de CH_4 foi utilizado o método *Tier 1*, com o fator de emissão-padrão de 0,18 kg CH_4 /t acrilonitrila. As emissões dos gases de efeito estufa precursores foram estimadas pelo IPCC 1997, com o fator de emissão de 1 kg NMVOC/t acrilonitrila.

5.4.1.6.6 Negro de fumo

O principal uso do negro de fumo é como aditivo na borracha para a fabricação de pneumáticos. Outro uso importante é como pigmento na fabricação de tintas.

Os processos de produção de negro de fumo partem da oxidação parcial de hidrocarbonetos gasosos ou líquidos, sendo que no Brasil o resíduo aromático é a principal matéria-prima associada com óleo combustível pesado (naftênico), na etapa de geração do negro de fumo. Como matéria-prima secundária, utiliza-se gás natural ou óleo combustível. Durante o processo de produção é gerado um gás de purga que contém dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4) e outros compostos orgânicos voláteis. Tal gás de purga é utilizado como

combustível para a geração de calor, quando então essas duas últimas substâncias são convertidas em CO₂.

Os GEE emitidos são o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄).

Para as emissões de CO₂, foi utilizado o método *Tier 1* do IPCC (2006), com valor-padrão de 2,62 t CO₂/t negro de fumo. Nas emissões de CH₄ também foi utilizado o método *Tier 1*, com o fator de emissão-padrão de 0,06 kg CH₄/t negro de fumo. Para os gases de efeito estufa precursores, mantiveram-se as estimativas do Inventário Inicial (MCT, 2004), quando apenas foram consideradas emissões de NO_x, com o fator de emissão de 0,14 kg NO_x/t negro de fumo.

5.4.1.7 Produção de Fluoroquímicos

No Brasil, no período de 1990 a 2022, não houve produção de gases fluorados, com exceção do HCFC-22, produzido aqui até 1999. Embora esse gás também seja de efeito estufa, não é contabilizado no presente Inventário, pois já é controlado pelo Protocolo de Montreal, criado para reduzir as emissões dos gases destruidores da camada de ozônio. Para esse Inventário o interesse é no processo produtivo do gás, no qual há a geração de outro composto gasoso, o HFC-23, potente gás de efeito estufa.

A estimativa de emissão de HFC-23 foi feita com o fator de emissão-padrão de 4% da produção de HCFC-22 (IPCC, 2006).

Dados de atividades e outros parâmetros

A produção de HCFC-22 está mostrada na Tabela 5.23.

Tabela 5.23. Produção de HCFC-22.

Ano	Produção de HCFC-22
	t
1990	3.006
1991	3.438
1992	4.090
1993	4.307
1994	3.915
1995	3.826
1996	2.226
1997	2.383
1998	326
1999	2.429
2000 – 2022	0

Fonte: Elaborado a partir de Prozon (1999).

5.4.1.8 Outros produtos químicos

Nesta categoria se enquadra o coque calcinado de petróleo, assim como outros produtos químicos não listados no IPCC (2006), mas cuja produção emite GEE precursores, tais como: ABS,

anidrido ftálico, borracha de butadieno estireno (SBR), estireno, etilbenzeno, formaldeído, policloreto de vinila – PVC, poliestireno, polietileno PEAD, polietileno PEBD, polietileno, PELBD, polipropileno e propeno. As emissões correspondentes de NO_x, NMVOC e CO são cobertas apenas pelo IPCC 1997.

Para as emissões de CH₄ oriundas da produção de coque de petróleo, foi utilizado o método *Tier 1* do IPCC 1997, utilizando o fator-padrão de 0,5 kg CH₄/t coque produzido.

Para os demais produtos químicos desta seção, foram calculadas as emissões de GEE precursores com fatores de emissão utilizados no Inventário Inicial (MCT, 2004), listados na Tabela 5.24. Em geral são fatores-padrão do IPCC 1997, mas alguns foram derivados de tecnologias sugeridas pelo *Corinair* (anidrido ftálico, policloreto de vinila – PVC e poliestireno) ou determinados pelos autores e pela Abiquim (borracha de butadieno estireno – SBR).

Tabela 5.24. Fatores de emissão de NMVOC para outros produtos químicos.

Produto químico	(kg NMVOC/t produto químico)
ABS	27,2
Anidrido ftálico	1,3
Borracha de butadieno estireno (SBR)	5,8
Estireno	18
Etilbenzeno	2
Formaldeído	5
Policloreto de vinila (PVC)	1,5
Poliestireno	3,3
Polietileno PEAD	6,4
Polietileno PEBD	3
Polietileno PELBD	2
Polipropileno	12
Propeno	1,4

Dados de atividades e outros parâmetros

A Tabela 5.25 apresenta um resumo do consumo de rochas fosfáticas – para a produção de ácido fosfórico – e da produção de outras substâncias químicas.

Tabela 5.25. Dados de produção de outros produtos químicos.

Ano	Resinas ABS	Anidrido ftálico	Borracha de butadieno-estireno (SBR)	Estireno	Etilbenzeno	Formaldeído	Policloreto de vinila PVC (cloreto de polivinila)	Poliestireno	Policetileno PEAD	Policetileno PEB*	Policetileno PELBD	Polipropileno	Propeno
	kt												
1990	27	28	185	302	441	156	530	125	322	629	0	301	821
1991	26	77	189	280	314	179	484	145	162	551	0	180	779
1992	28	77	196	254	287	206	485	125	311	570	0	375	827
1993	32	76	192	223	238	245	422	143	430	609	104	478	975
1994	32	91	209	262	346	257	593	133	479	609	133	522	1.086
1995	33	75	221	273	407	276	581	149	495	595	150	558	1.077
1996	0	87	211	236	259	282	627	131	529	561	170	590	1.085
1997	0	86	239	232	250	292	632	133	644	664	177	636	1.219
1998	0	74	206	228	263	312	632	139	693	649	174	708	1.271
1999	0	90	244	227	240	368	658	165	764	659	266	787	1.264
2000	0	88	237	405	437	326	648	176	891	647	334	848	1.409
2001	0	91	205	403	439	287	538	239	819	636	270	832	1.340
2002	0	95	233	400	422	322	602	314	811	608	313	891	1.390
2003	0	98	246	388	428	467	604	292	811	672	359	1.012	1.559
2004	0	103	261	445	468	506	630	319	833	673	407	1.130	1.747
2005	0	85	212	405	395	477	640	317	812	682	442	1.212	1.731
2006	0	103	0	460	446	447	676	361	1.018	681	635	1.235	1.834
2007	0	113	0	430	446	473	686	376	1.022	691	685	1.293	1.876
2008	0	97	0	324	303	528	699	345	925	590	606	1.262	1.698
2009	0	101	0	455	369	625	689	367	976	636	674	1.486	2.086
2010	0	106	0	440	399	488	725	396	985	652	743	1.586	2.192
2011	0	88	0	424	378	479	696	376	940	622	709	1.835	2.363
2012	0	102	0	442	280	493	759	380	1.010	669	762	1.647	2.151
2013	0	90	0	440	283	557	866	384	1.034	684	780	1.627	2.128
2014	0	85	0	467	250	617	874	378	964	638	727	1.592	2.183
2015	0	72	0	464	263	688	783	389	1.097	726	828	1.510	2.059
2016	0	67	0	485	284	689	854	400	1.121	742	845	1.592	2.070
2017	0	68	0	497	284	650	1.222	400	1.097	767	845	1.842	1.624
2018	0	66	0	550	284	674	1.182	400	1.101	748	845	1.772	1.556
2019	0	66	0	449	284	672	1.072	400	1.067	665	845	1.795	1.334
2020	0	66	0	462	284	771	1.213	400	1.102	763	845	1.727	1.093
2021	0	66	0	568	284	885	1.466	400	1.094	736	845	1.746	1.195
2022	0	66	0	521	284	864	1.387	400	1.091	722	845	1.705	964

Fonte: Elaborado a partir de Abiquim (2017; 2020; 2024); SIDRA/IBGE (2024b). Exceções: A partir de 2010, a Abiquim apenas disponibilizou a produção de polietileno; daí em diante, estimou-se a divisão em PEAD, PEBD ou PELBD segundo a proporção entre esses tipos em 2010. Ademais, não foram fornecidos dados para anidrido ftálico, etilbenzeno, poliestireno e PELBD de 2017 a 2022, motivo pelo qual se considerou a produção constante a partir de 2016.

5.4.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de garantia de qualidade/controle de qualidade (QA/QC) para o Subsetor Indústria Química (2.B) foram aplicados de acordo com o plano de QA/QC descrito na Seção 2.5 deste NIR, estando em consonância com o Volume 1, Capítulo 6 das Diretrizes do IPCC de 2006.

5.4.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CO₂, CH₄ e N₂O da Indústria Química (2.B) é apresentada no Apêndice II.

A atualização do inventário abrangeu a revisão das séries históricas de dados de atividade diante do acesso a dados, particularmente obtidos junto à Abiquim, relativos à produção nos diferentes segmentos da Indústria Química, assim como em SIDRA/IBGE (Abiquim, 2024; IBGE, 2024b). Em síntese, os principais ajustes decorrem de:

- *Amônia (2017-2020)*: revisão dos dados de produção anteriormente extrapolados em Brasil (2022) pela ausência de informações;
- *Ureia (2017-2020)*: revisão dos dados de produção anteriormente extrapolados em Brasil (2022) pela ausência de informações;
- *Ácido nítrico (2017-2020)*: revisão da produção de ácido nítrico e da produção de ácido nítrico que emite N₂O com base nos projetos de MDL;
- *Ácido adípico (2019-2020)*: revisão da produção com base nos projetos de MDL;
- *Petroquímicos e negro de fumo (2017-2020)*: revisão dos dados de produção anteriormente extrapolados em Brasil (2022) pela ausência de informações; e
- *Outros produtos químicos (2019-2020)*: revisão dos dados de produção anteriormente extrapolados em Brasil (2022) pela ausência de informações.

Relativamente ao Inventário anterior, a maior proporção dos ajustes neste NIR é verificada em 2019 e 2020, com -14% e -17% de variação nas emissões da Indústria Química (2.B), respectivamente. Essa diferença decorre do fato de que foram acessados dados diretamente da ABIQUIM neste Inventário, o que não foi possível em Brasil (2022), sendo utilizadas extrapolações para o biênio supracitado. Sobretudo, o impacto sobre emissões decorre da queda na produção de amônia e eteno, e inexistência de produção de metanol com relação aos valores estimados em Brasil (2022). Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de 8%, e no período de 1990 a 2020, foi de apenas de 1%, assim demonstrando a consistência da série temporal do subsetor (Figura 5.6).

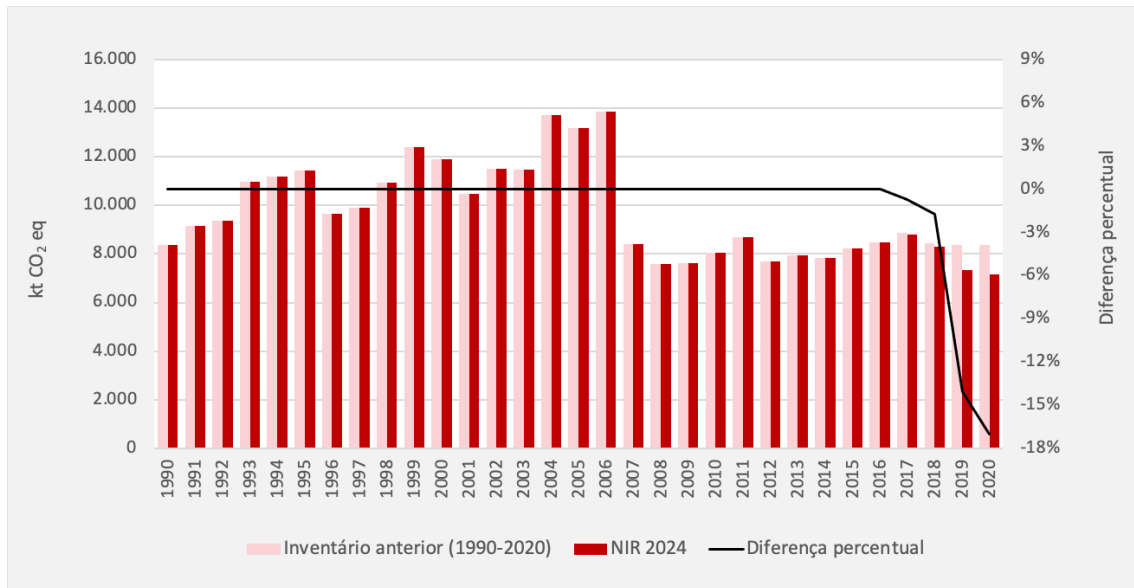


Figura 5.6. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Indústria Química (2.B) entre os inventários.

5.4.4 Plano de melhoria

A elaboração sistemática dos Inventários Nacionais de GEE permitiu acumular conhecimento que permite propor medidas visando ao aprimoramento dos resultados do Inventário no particular da Indústria Química (2.B). O Quadro 5.11 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para implementação em futuras edições do Inventário deste subsetor.

Quadro 5.11. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do subsetor Indústria Química (2.B).

Subsetor	Categoria	Melhoria
2.B. INDÚSTRIA QUÍMICA	Geral (todas as categorias)	Alinhar Acordo de Cooperação Técnica, com intuito de promover a elaboração anual de estatísticas anuais de produção para disponibilização nacional.
	2.B.2. Produção de Ácido Nítrico	Estabelecer diálogo com empresas detentoras de projetos de MDL para avaliação da possibilidade de acesso aos dados de remoções dos projetos.
	2.B.3. Produção de Ácido Adípico	
	2.B.5. Produção de Carbureto	Alinhar Acordo de Cooperação Técnica para obtenção de dados recentes de produção de carbureto.
	2.B.8. Produção de Petroquímica e Negro de Fumo	Alinhar Acordo de Cooperação Técnica com vistas a facilitar a obtenção anual de dados de produção petroquímicos e negro de fumo, bem como outros produtos químicos.
	2.B.10. Outros Produtos Químicos	

5.5 Indústria Metalúrgica (CRT 2.C)

As emissões do Subsetor Indústria Metalúrgica (2.C) referem-se às categorias: Produção de Ferro e Aço (2.C.1); Produção de Ferroligas (2.C.2); Produção de Alumínio (2.C.3); Produção de Magnésio (2.C.4); e Outros Não Ferrosos, fora Alumínio e Magnésio (2.C.7), sendo que nesta última também foram incluídas as emissões da Produção de Chumbo (2.C.5). Não há emissão de GEE na categoria Produção de Zinco (2.C.6), pois no Brasil não se utilizam redutores nesse processo.

Em 2022, houve emissão de 52.226 kt CO₂ eq no subsetor,⁴⁴ que correspondeu a 51% das emissões em IPPU (Figura 5.7). De 2020 a 2022, as emissões da Indústria Metalúrgica (2.C) aumentaram 7%. A categoria mais representativa do subsetor foi a Produção de Ferro e Aço (2.C.1), responsável por 92% das emissões. As categorias Produção de Alumínio (2.C.3), Outros Não Ferrosos, fora Alumínio e Magnésio (2.C.7) e Produção de Ferroligas (2.C.2) corresponderam a 3%, 3% e 1%, respectivamente, com a emissão restante sendo alocada à categoria Produção de Magnésio (2.C.4).

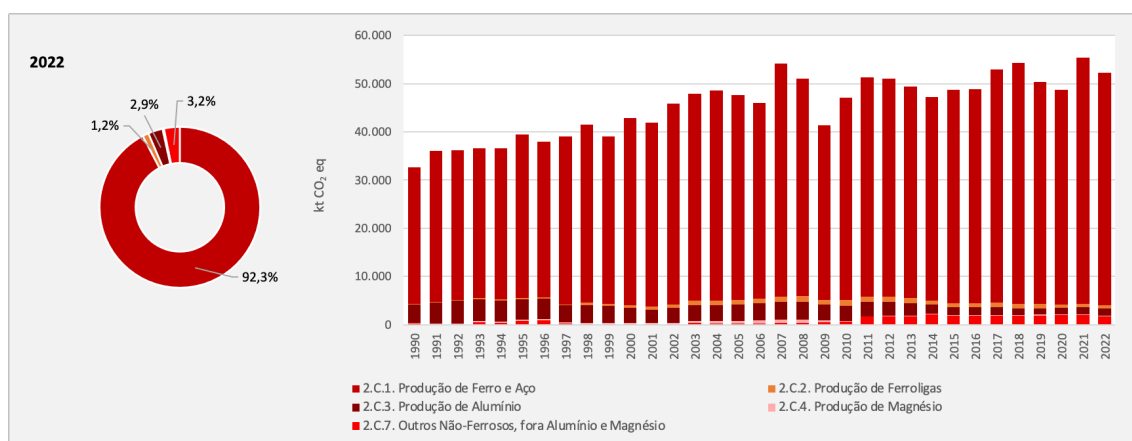


Figura 5.7. Emissões da Indústria Metalúrgica (2.C), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

No que se refere a CO₂, observa-se que a principal categoria emissora foi a Produção de Ferro e Aço (2.C.1), com contribuição de 93% em 2022. A maior parte das emissões de CO₂ oriundas da fabricação de aço ocorreu durante a produção de ferro-gusa no alto-forno, ou seja, na etapa de redução do minério de ferro. As categorias Produção de Ferroligas (2.C.2), Produção de Alumínio (2.C.3) e Outros Não Ferrosos, Fora Alumínio e Magnésio (2.C.7) corresponderam a 1%, 2% e 3%, respectivamente, seja pela redução de matérias-primas, seja pelo consumo de anodos.

As emissões de CH₄ e N₂O foram provenientes da Produção de Ferro e Aço (2.C.1); enquanto as de CO e de NO_x estiveram relacionadas à Produção de Ferro e Aço e de Alumínio (2.C.3).

5.5.1 Aspectos metodológicos

5.5.1.1 Produção de Ferro e Aço

A siderurgia usa o carbono para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro. Uma fração desse carbono é incorporada aos produtos; e a outra parte, após a combustão, é emitida

⁴⁴ De acordo com a metodologia do IPCC (2006), as emissões de CO₂ provenientes do consumo de combustíveis de biomassa são informadas, porém não são contabilizadas no total de emissões do setor.

na forma de dióxido de carbono (CO₂), seja diretamente nos gases siderúrgicos ou após sua queima.

Até 75% das emissões de CO₂ oriundas da fabricação de aço ocorrem durante a produção de ferro-gusa no alto-forno, ou seja, na etapa de redução do minério de ferro. O percentual restante resulta do transporte de matérias-primas, da geração de energia elétrica e calor. As emissões apresentadas nesta categoria contemplam somente o processo de produção, excluindo a geração de energia elétrica e transporte, que são contabilizadas no Setor Energia (CRT 1).

No Brasil são empregadas as seguintes rotas tecnológicas para produção de aço:

- Integradas: alto-forno + aciaria LD;
- Redução direta: redução direta + forno a arco elétrico (EAF); e
- Semi-integradas: forno a arco elétrico (EAF).

5.5.1.1.1 Produção de ferro e aço nas usinas integradas e semi-integradas

No Brasil, a produção de ferro-gusa e aço por usinas integradas/semi-integradas utiliza coque de petróleo, carvão-vapor de poder calorífico maior ou igual a 5.900 kcal/kg, carvão metalúrgico e coque de carvão mineral como principais combustíveis redutores.

Pela disponibilidade de dados detalhados, as emissões de CO₂ puderam ser obtidas por meio de um balanço de carbono geral, de acordo com a Equação 5.7:

Quadro 5.12. Equação para estimar emissões de CO₂ das usinas integradas e semi-integradas de ferro-gusa e aço.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.7	CO ₂	2.C.1	$E_{CO_2} = \left[\sum_i Q_{Entrada_i} * C_{Entrada_i} - \sum_j Q_{Saída_j} * C_{Saída_j} \right] * \frac{44}{12} / 1000$	IABr (2020); Brasil (2021c)

Em que:

- ECO₂ = emissões de CO₂ (Gg);
 Q_Entrada_i = quantidade da entrada (matéria-prima) i, em toneladas;
 C_Entrada_i = quantidade de carbono na entrada (matéria-prima) i, em t C / t matéria-prima;
 Q_Saída_j = quantidade da saída (produto) j, em toneladas; e
 C_Saída_j = quantidade de carbono na saída (produto) j, em t C / t produto.

Segundo o IPCC (2006), a produção de cal das indústrias integradas deve ser reportada na categoria Produção de Cal (2.A.2), que engloba toda a produção de cal do país. No entanto, deve ser contabilizado o carbono contido no calcário e da dolomita, que se calcina dentro dos fornos.

As emissões dos gases não CO₂ da produção de ferro e aço das usinas integradas foram calculadas com a abordagem *Tier 1* do IPCC (2006). Para a produção de sinter, são calculadas as emissões de CH₄, sendo que, no Brasil, de acordo com o IABr (2020), apenas a produção de sinter que utiliza o antracito como insumo gera tais emissões. Com referência aos gases de aciaria e de alto-

forno consumidos na produção, foram calculadas as emissões de CH₄ e N₂O, também com fatores de emissão-padrão.

Dados de atividades e outros parâmetros

No que se refere aos processos emissores de CO₂, foram obtidos valores detalhados das matérias-primas que entram nos diversos processos, bem como os produtos de cada um deles, na cadeia de produção do aço, desde suas fases iniciais (usinas integradas), de 2007 a 2016 (IABR, 2017; 2020). Para o período de 2017 a 2022, o balanço foi estimado proporcionalmente à produção de aço bruto, conforme IABR (2023). Tais valores não são individualizados pelas diversas indústrias, mas por todo o setor e com divisão entre os seguintes processos:

- Coqueria;
- Sinterização;
- Alto-forno;
- Aciaria BOF e EAF;
- Energia (produção de energia elétrica e vapor);
- Laminação e acabamentos;
- Calcinação (apenas o uso de combustível);
- Outros consumidores;
- *Flare*; e
- Termelétrica.

Foram contabilizadas em emissões dos seguintes processos no Setor Energia (CRT 1): Coqueria, Energia, Laminação e acabamentos, Outros consumidores, *Flare* e Termelétrica, exceto quando o combustível utilizado era gás de alto-forno ou gás de aciaria, ambos os gases totalmente considerados em IPPU. Já o consumo do gás de coqueria é considerado apenas no Setor Energia, mesmo se utilizado nos demais processos. As emissões dos combustíveis Alcatrão, GLP, Gás Natural, Óleo leve e Óleo pesado utilizados em alguns dos processos acima foram contabilizadas apenas no Setor Energia (CRT 1).

Para os anos de 1990 a 2006, havia a série de dados fornecida pelo IABR por ocasião do Inventário apresentado na Segunda Comunicação Nacional (MCT, 2010), envolvendo os processos de Coqueria, Sinterização, Alto-forno/Aciaria. As entradas e saídas necessárias para o balanço de carbono desta categoria estão apresentadas nas Tabelas A.V.5, A.V.6 e A.V.7 (Apêndice V).

Observou-se, no entanto, que alguns processos ou substâncias de entrada e saída não foram disponibilizados no primeiro período (1990-2006) relativamente ao segundo (2007-2017), o que acarretou a necessidade de compatibilização entre os dois, com a estimativa do que faltava no primeiro período, conforme descrito a seguir.

Para o balanço de carbono, foram utilizados os seguintes fatores, em cada material utilizado (Tabela 5.26) e para conversão em toneladas, foram consideradas as densidades dos gases indicadas na Tabela 5.27.

Tabela 5.26. Conteúdo de carbono dos materiais.

Material	Carbono no material (t C/t)	Fonte
Aço Bruto	0,010	IPCC (2006), Tabela 4.3
Alcatrão	0,924	WSA v. 7 ou ISO 14404-1

Material	Carbono no material (t C/t)	Fonte
Antracito	0,716	IPCC (2006), Tabela 4.3
Calcário cru	0,120	WSA v. 7 ou ISO 14404-1
Carvão FEA	0,888	WSA v. 7 ou ISO 14404-1
Carvão metalúrgico	0,834	WSA v. 7 ou ISO 14404-1
Carvão PCI	0,806	WSA v. 7 ou ISO 14404-1
Coque	0,888	WSA v. 7 ou ISO 14404-1
Coque de petróleo	0,870	IPCC (2006), Tabela 4.3
Coque fino (<i>coke breeze</i>)	0,888	WSA v. 7 ou ISO 14404-1
Dolomita crua	0,128	WSA v. 7 ou ISO 14404-1
Eletrodo	0,999	WSA v. 7 ou ISO 14404-1
Ferro-gusa	0,047	WSA v. 7 ou ISO 14404-1
Gás de aciaria (BOFG / LDG)	0,350	IPCC (2006), Tabela 4.3
Gás de alto-forno (BFG)	0,170	IPCC (2006), Tabela 4.3
Gás de coqueria (COG)	0,470	IPCC (2006), Tabela 4.3
Gás natural	0,730	IPCC (2006), Tabela 4.3
GLP	0,814	WSA v. 7 ou ISO 14404-1
Grafite	0,820	IPCC (2006), Tabela 4.3
Óleo BTX	0,804	IPCC (2006), Tabela 4.3
Óleo leve	0,860	IPCC (2006), Tabela 4.3
Óleo pesado	0,852	IPCC (2006), Tabela 4.3
Pó de CDQ	0,888	WSA v. 7 ou ISO 14404-1
Sucata de aço	0,010	IABr (2020)

Tabela 5.27. Densidade e poder calorífico dos gases da siderurgia.

Material	Densidade (t/dam ³)	Fonte	NCV (GJ/t)	Fonte
Gás de Aciaria (BOFG)	1,190	IPCC & WSA	7,06	IPCC (2006) Tabela 1.2
Gás de Alto-forno (BFG)	1,336	IPCC & WSA	2,47	IPCC (2006) Tabela 1.2

Após as devidas conversões para toneladas de carbono, as entradas necessárias para o balanço de carbono estão na Tabela 5.28, relativamente aos processos de Sinterização, Alto-forno, Aciaria e Calcinação (apenas o consumo de combustível), acrescidas dos valores de carbono relativo aos consumos de gás de aciaria e de alto-forno nos demais processos das indústrias integradas de ferro e aço.

Já para os dados de entrada do balanço de carbono de 1990 a 2006, apresentados na Tabela 5.29, faltam os referentes aos seguintes materiais, comparado com o período posterior: Gás de aciaria, Gás de alto-forno, Grafite, Gusa (convertido a aço ou não) e Pó do CDQ (em inglês, *Coke Dry Quenching*). Além disso, as quantidades referentes ao Gás de alto-forno são muito inferiores, porque faltam as usadas em outros processos não relatados, por isso essa série foi recalculada.

Para eliminar a inconsistência entre os dois períodos, foram consideradas as relações entre itens básicos do segundo período e a produção de aço bruto, para que uma média fosse aplicada no primeiro. Optou-se por considerar a média das relações dos anos 2007 a 2011, ou seja, dos cinco anos mais próximos da série incompleta.

As seguintes médias foram obtidas para os valores de entrada de carbono:

- Consumo de gusa → 32,5876 t C/kt aço;
- Gás de Aciaria → 11,5715 t C/kt aço;
- Gás de Alto Forno → 144,5887 t C/kt aço;
- Grafite → 0,0880 t C/kt aço; e
- Pó do CDQ → 0,8419 t C/kt aço.

Com a produção de aço bruto no Brasil, pôde-se complementar a série do carbono das entradas de 1990 a 2006 (Tabela 5.30), e com as saídas de carbono, os dados para 2007 a 2022 estão na Tabela 5.31.

Para o período de 1990 a 2006, as seguintes médias foram obtidas para os valores de saída de carbono:

- Ferro-gusa não convertido a aço → 2,15% do total de gusa;
- Ferro-gusa que vai para aciaria → 97,85% do total de gusa;
- Gás de Aciaria → 24,0967 t C/ kt aço; e
- Gás de Alto-Forno → 245,1713 t C/ kt aço.

Pôde-se, aplicando tais valores às entradas de produtos constantes em MCT (2010), complementar a série das saídas de carbono de 1990 a 2006, conforme a Tabela 5.32.

Tabela 5.28. Entradas de carbono consideradas, relativamente às entradas de matéria-prima, de 2007 a 2022.

Entradas (matérias-primas)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Antracito	545.419	395.700	273.590	373.420	334.889	303.220	261.023	295.558	330.677	257.423
Calcário	392.050	385.279	289.249	369.173	410.946	409.728	402.230	393.456	414.298	358.412
Carvão FEA consumido na aciaria elétrica	3.579	2.822	0	0	0	0	0	0	0	0
Carvão PCI consumido no alto-forno	2.601.184	2.553.482	1.775.163	2.275.960	2.220.927	2.116.908	2.241.783	2.427.108	2.821.879	2.894.725
Consumo de gusa	1.101.588	1.125.297	886.989	1.051.724	1.156.422	1.139.333	1.101.030	1.134.408	1.188.677	1.103.361
Coque de petróleo	461.513	469.879	455.156	39.372	77.762	50.388	65.680	21.120	19.627	28.336
Coque metalúrgico	7.582.445	8.091.333	6.489.881	7.962.114	8.983.741	8.745.085	8.258.602	8.100.969	8.333.663	8.110.331
Dolomita	85.950	102.547	108.772	145.610	150.747	195.261	217.894	237.789	205.586	198.980
Eletrodo	13.864	13.274	10.778	14.403	14.850	14.026	15.301	15.342	11.399	12.198
Gás de aciaria	881.509	423.317	363.824	494.463	581.519	555.166	524.400	550.750	537.198	723.606
Gás de alto-forno	6.917.581	5.768.936	4.940.131	5.754.519	6.821.801	6.931.522	6.353.660	7.002.309	7.187.685	6.716.399
Grafite	4.173	3.638	1.960	2.276	2.423	2.413	8.289	3.571	3.404	13.908
Moinha de coque	837.156	994.485	801.881	1.014.082	1.178.838	1.130.119	1.156.656	1.105.684	1.050.007	988.939
Pó do CDQ	7.539	11.785	10.972	52.044	59.067	44.419	25.512	12.876	12.077	10.549
Sucata	60.548	51.795	48.965	47.459	54.023	56.400	74.444	66.456	59.365	56.023
Total	21.496.098	20.393.571	16.457.312	19.596.620	22.047.954	21.693.989	20.706.504	21.367.397	22.175.540	21.473.191

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c). Unidade: t C.

Continuação. Entradas de carbono consideradas, relativamente às entradas de matéria-prima, de 2007 a 2022.

Entradas (matérias-primas)	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Antracito	296.288	301.647	277.469	267.637	307.304	290.418
Calcário	408.337	415.722	382.401	368.851	423.519	400.247
Carvão FEA consumido na aciaria elétrica	0	0	0	0	0	0
Carvão PCI consumido no alto-forno	3.186.118	3.243.743	2.983.745	2.878.023	3.304.574	3.122.997
Consumo de gusa	1.199.020	1.220.705	1.122.861	1.083.076	1.243.598	1.175.266
Coque de petróleo	24.203	24.641	22.666	21.863	25.103	23.724
Coque metalúrgico	8.708.408	8.865.910	8.155.275	7.866.313	9.032.175	8.535.883
Dolomita	241.583	245.953	226.239	218.222	250.565	236.797
Eletrodo	13.656	13.903	12.789	12.336	14.164	13.386
Gás de aciaria	727.963	741.129	681.725	657.570	755.028	713.541
Gás de alto-forno	7.343.989	7.476.813	6.877.519	6.633.832	7.617.029	7.198.494
Grafite	14.162	14.418	13.263	12.793	14.689	13.882
Moinha de coque	1.161.655	1.182.665	1.087.870	1.049.324	1.204.844	1.138.641
Pó do CDQ	0	0	0	0	0	0
Sucata	57.540	58.580	53.885	51.976	59.679	56.400
Total	23.382.923	23.805.830	21.897.706	21.121.816	24.252.269	22.919.675

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c). Unidade: t C.

Tabela 5.29. Entradas de carbono consideradas, relativamente às entradas de matéria-prima, de 1990 a 2006.

Entradas (matérias-primas)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Antracito	169.680	172.487	180.438	221.346	238.965	246.076	249.222	288.966	291.968
Calcário	211.074	218.427	209.645	214.700	218.055	219.880	231.399	246.845	300.565
Carvão FEA consumido na aciaria elétrica	6.977	5.178	6.056	6.267	5.559	5.335	5.506	6.544	6.796
Carvão PCI consumido no alto-forno	155.659	167.965	171.302	191.252	148.579	488.596	491.783	738.250	1.346.304
Coque de petróleo	35.000	31.342	33.943	35.982	39.379	36.341	68.366	105.302	102.314
Coque metalúrgico	6.343.938	6.952.656	7.097.033	7.106.397	7.229.430	7.546.495	7.044.262	7.248.197	7.254.700
Dolomita	108.258	118.213	130.963	133.160	136.794	134.680	136.668	145.126	186.197
Eletrodo	8.250	7.188	7.878	8.407	10.283	10.341	10.069	10.960	9.747
Moinha de coque	830.110	846.103	865.140	794.949	817.962	840.482	860.437	873.151	775.946
Sucata	36.205	33.086	36.369	39.221	40.385	37.295	39.044	42.848	40.919
Total das entradas	7.905.151	8.552.644	8.738.766	8.751.681	8.885.391	9.565.519	9.136.756	9.706.189	10.315.456

Continuação. Entradas de carbono consideradas, relativamente às entradas de matéria-prima, de 1990 a 2006.

Entradas (matérias-primas)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Antracito	183.488	257.917	320.083	325.903	337.958	408.928	422.110	436.985
Calcário	289.759	324.477	300.537	288.300	339.243	326.988	294.268	339.785
Carvão FEA consumido na aciaria elétrica	7.946	9.802	11.345	10.040	9.043	10.652	10.836	8.845
Carvão PCI consumido no alto-forno	1.447.613	2.097.614	2.024.181	2.165.102	2.485.672	2.661.850	2.512.579	2.375.955
Coque de petróleo	278.187	320.669	365.316	413.663	424.578	314.268	438.808	449.821
Coque metalúrgico	6.365.225	7.038.251	6.714.329	7.508.713	7.596.784	7.451.853	7.162.774	6.724.855
Dolomita	141.338	104.927	149.427	160.761	182.786	210.367	205.820	100.850
Eletrodo	11.780	12.081	12.183	12.404	14.133	14.689	14.036	13.748
Moinha de coque	798.885	769.968	698.896	786.962	741.672	752.967	718.713	655.167
Sucata	48.875	48.688	52.491	54.338	60.016	63.167	61.303	59.871
Total das entradas	9.573.095	10.984.394	10.648.788	11.726.186	12.191.886	12.215.728	11.841.247	11.165.881

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c). Unidade: t C.

Tabela 5.30. Entradas de carbono, de 1990 a 2006, com complementação das entradas faltantes.

Entradas (matérias-primas)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Antracito	169.680	172.487	180.438	221.346	238.965	246.076	249.222	288.966	291.968
Calcário	211.074	218.427	209.645	214.700	218.055	219.880	231.399	246.845	300.565
Carvão FEA consumido na aciaria elétrica	6.977	5.178	6.056	6.267	5.559	5.335	5.506	6.544	6.796
Carvão PCI consumido no alto-forno	155.659	167.965	171.302	191.252	148.579	488.596	491.783	738.250	1.346.304
Consumo de gusa	662.842	718.047	756.667	794.939	806.989	797.456	803.093	831.927	811.337
Coque de petróleo	35.000	31.342	33.943	35.982	39.379	36.341	68.366	105.302	102.314
Coque metalúrgico	6.343.938	6.952.656	7.097.033	7.106.397	7.229.430	7.546.495	7.044.262	7.248.197	7.254.700
Dolomita	108.258	118.213	130.963	133.160	136.794	134.680	136.668	145.126	186.197
Eletrodo	8.250	7.188	7.878	8.407	10.283	10.341	10.069	10.960	9.747
Gás de aciaria	235.368	254.970	268.684	282.274	286.553	283.168	285.169	295.408	288.096
Gás de alto-forno	2.940.975	3.185.918	3.357.268	3.527.081	3.580.545	3.538.250	3.563.257	3.691.191	3.599.836
Grafite	1.790	1.939	2.044	2.147	2.180	2.154	2.169	2.247	2.191
Moinha de coque	830.110	846.103	865.140	794.949	817.962	840.482	860.437	873.151	775.946
Pó do CDQ	17.124	18.550	19.548	20.536	20.848	20.601	20.747	21.492	20.960
Sucata	36.205	33.086	36.369	39.221	40.385	37.295	39.044	42.848	40.919
Total das entradas	11.763.248	12.732.069	13.142.976	13.378.659	13.582.504	14.207.149	13.811.191	14.548.454	15.037.876

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c). Unidade: t C.

Continuação. Entradas de carbono, de 1990 a 2006, com complementação das entradas faltantes.

Entradas (matérias-primas)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Antracito	183.488	257.917	320.083	325.903	337.958	408.928	422.110	436.985
Calcário	289.759	324.477	300.537	288.300	339.243	326.988	294.268	339.785
Carvão FEA consumido na aciaria elétrica	7.946	9.802	11.345	10.040	9.043	10.652	10.836	8.845
Carvão PCI consumido no alto-forno	1.447.613	2.097.614	2.024.181	2.165.102	2.485.672	2.661.850	2.512.579	2.375.955
Consumo de gusa	834.863	917.277	885.334	972.868	1.018.252	1.050.445	1.011.025	976.638
Coque de petróleo	278.187	320.669	365.316	413.663	424.578	314.268	438.808	449.821
Coque metalúrgico	6.365.225	7.038.251	6.714.329	7.508.713	7.596.784	7.451.853	7.162.774	6.724.855
Dolomita	141.338	104.927	149.427	160.761	182.786	210.367	205.820	100.850
Eletrodo	11.780	12.081	12.183	12.404	14.133	14.689	14.036	13.748
Gás de aciaria	296.450	325.714	314.372	345.455	361.570	373.001	359.004	346.793
Gás de alto-forno	3.704.219	4.069.882	3.928.155	4.316.539	4.517.900	4.660.742	4.485.837	4.333.265
Grafite	2.255	2.477	2.391	2.628	2.750	2.837	2.731	2.638
Moinha de coque	798.885	769.968	698.896	786.962	741.672	752.967	718.713	655.167
Pó do CDQ	21.568	23.697	22.872	25.133	26.305	27.137	26.119	25.230
Sucata	48.875	48.688	52.491	54.338	60.016	63.167	61.303	59.871
Total das entradas	14.432.449	16.323.442	15.801.912	17.388.808	18.118.663	18.329.891	17.725.961	16.850.446

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c). Unidade: t C.

Tabela 5.31. Saídas de carbono consideradas, de 2007 a 2022.

Saídas (produtos)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Aço bruto	340.276	337.745	268.728	330.483	356.744	347.895	341.054	339.734	334.286	311.136
Ferro-gusa não convertido a aço	20.640	39.228	17.840	25.840	26.749	32.159	34.970	46.217	24.346	31.905
Ferro-gusa que vai para aciaria	1.208.021	1.236.808	972.559	1.180.592	1.271.869	1.248.338	1.223.376	1.267.611	1.294.923	1.218.541
Gás de aciaria	917.527	762.093	645.133	746.088	869.483	993.157	883.674	1.148.982	1.273.241	912.018
Gás de alto-forno	8.224.221	8.388.857	6.673.267	7.945.040	8.813.381	8.969.228	8.526.547	8.896.742	8.975.778	8.432.214
Total das saídas	10.710.684	10.764.731	8.577.527	10.228.044	11.338.228	11.590.777	11.009.621	11.699.286	11.902.573	10.905.814

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c). Unidade: t C.

Continuação. Saídas de carbono consideradas, de 2007 a 2022.

Saídas (produtos)	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Aço bruto	341.326	347.499	319.645	308.320	354.016	334.563
Ferro-gusa não convertido a aço	38.317	39.010	35.883	34.611	39.741	37.557
Ferro-gusa que vai para aciaria	1.334.474	1.358.610	1.249.712	1.205.432	1.384.088	1.308.036
Gás de aciaria	1.017.868	1.036.277	953.216	919.441	1.055.711	997.702
Gás de alto-forno	9.031.243	9.194.583	8.457.604	8.157.930	9.367.012	8.852.321
Total das saídas	11.763.227	11.975.978	11.016.060	10.625.734	12.200.568	11.530.181

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c). Unidade: t C.

Tabela 5.32. Saídas de carbono consideradas, de 1990 a 2006, com complementação das saídas faltantes.

Saídas (produtos)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Aço bruto	208.142	224.720	237.048	248.895	253.360	249.752	251.686	261.114	253.717
Ferro-gusa não convertido a aço	16.064	18.289	19.136	19.544	20.067	20.397	20.043	20.677	20.607
Ferro-gusa que vai para aciaria	730.625	831.800	870.339	888.872	912.648	927.687	911.591	940.426	937.206
Gás de Aciaria	490.135	530.956	559.513	587.814	596.724	589.675	593.843	615.164	599.939
Gás de alto-forno	4.986.855	5.402.192	5.692.741	5.980.684	6.071.340	5.999.622	6.042.026	6.258.957	6.104.050
Total das saídas	6.431.820	7.007.957	7.378.777	7.725.808	7.854.138	7.787.133	7.819.189	8.096.338	7.915.518

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c). Unidade: t C.

Continuação. Saídas de carbono consideradas, de 1990 a 2006, com complementação das saídas faltantes.

Saídas (produtos)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Aço bruto	261.415	286.579	276.340	304.047	318.443	329.569	316.502	306.085
Ferro-gusa não convertido a aço	19.596	22.050	21.349	23.397	24.420	25.179	24.379	23.242
Ferro-gusa que vai para aciaria	891.264	1.002.879	970.962	1.064.136	1.110.630	1.145.168	1.108.791	1.057.053
Gás de aciaria	617.335	678.275	654.655	719.382	752.941	776.746	747.597	722.170
Gás de alto-forno	6.281.046	6.901.083	6.660.764	7.319.325	7.660.764	7.902.972	7.606.395	7.347.687
Total das saídas	8.070.656	8.890.866	8.584.070	9.430.288	9.867.197	10.179.634	9.803.664	9.456.237

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c). Unidade: t C.

No que trata de gases não-CO₂, os fatores de emissão constam na Tabela 5.33. Para se ter a quantidade desses gases em termos de energia, foram utilizados seus conteúdos de carbono por massa (t C/t) informados na Tabela 5.26 e suas densidades energéticas (GJ/t) dadas pelo IPCC (2006), conforme a Tabela 5.34, juntamente com os valores de consumo relativamente às entradas de matéria-prima apresentados em Brasil (2021c) e BEN (EPE, 2023) (Tabela 5.28 e Tabela 5.30).

Tabela 5.33. Fatores de emissão para gases não-CO₂ para a categoria da produção de ferro e aço.

Gás	CH ₄	N ₂ O
	kg/TJ	
Gás de aciaria	1	0,1
Gás de alto-forno	1	0,1

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (2006), v. 2, Tabela 2.3.

Tabela 5.34. Densidades energéticas dos gases siderúrgicos.

Combustível	Fator de emissão (GJ/t)
Gás de aciaria	7,06
Gás de alto-forno	2,47

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (2006), v. 2, Tabela 1.2.

Para a produção de sinter, apenas a que usa antracito, foi usado o fator de emissão de 0,07 kg CH₄/t sinter, conforme guia IPCC (2006, v.3, cap. 4, Tabela 4.2). Os valores foram fornecidos pelo IABr para os anos de 2007-2016. Para completar a série, foi feita uma extrapolação usando-se a média da proporção entre essa produção de sinter e a produção de aço bruto no Brasil, calculada como 55,4%, e aplicando-se à produção de aço bruto constante na Tabela 5.35.

Tabela 5.35. Produção de aço bruto, consumo de gás de aciaria e de alto-forno e produção de sinter que usa antracito, 1990-2022.

Ano	Produção de aço bruto	Consumo de gás de aciaria	Consumo de gás de alto-forno	Produção de sinter que usa antracito
	kt	TJ	TJ	kt
1990	20.340	4.748	42.731	11.271
1991	22.034	5.143	46.290	12.210
1992	23.219	5.420	48.779	12.867
1993	24.394	5.694	51.246	13.517
1994	24.764	5.780	52.023	13.722
1995	24.471	5.712	51.409	13.560
1996	24.644	5.752	51.772	13.656
1997	25.529	5.959	53.631	14.146
1998	24.897	5.811	52.303	13.796
1999	25.619	5.980	53.820	14.196

Ano	Produção de aço bruto	Consumo de gás de aciaria	Consumo de gás de alto-forno	Produção de sinter que usa antracito
	kt	TJ	TJ	kt
2000	28.148	6.570	59.133	15.598
2001	27.168	6.341	57.074	15.055
2002	29.854	6.968	62.717	16.543
2003	31.247	7.293	65.642	17.315
2004	32.234	7.524	67.718	17.862
2005	31.025	7.242	65.177	17.192
2006	29.970	6.995	62.960	16.607
2007	34.028	17.781	100.508	18.985
2008	33.774	8.539	83.819	20.347
2009	26.873	7.339	71.777	15.800
2010	33.048	9.974	83.610	19.278
2011	35.674	11.730	99.117	18.927
2012	34.789	11.198	100.711	16.558
2013	34.105	10.578	92.315	17.719
2014	33.973	11.109	101.739	17.609
2015	33.429	10.836	104.433	17.761
2016	31.114	14.596	97.585	19.727
2017	34.778	14.684	106.704	22.768
2018	35.407	14.950	108.634	23.180
2019	32.569	13.751	99.926	21.322
2020	31.415	13.264	96.386	20.567
2021	36.071	15.230	110.671	23.615
2022	34.089	14.393	104.590	22.317

Como indicado anteriormente, as emissões de GEE das coquerias são alocadas no Setor Energia, mais precisamente na Subcategoria 1.A.1.c – Produção de combustíveis sólidos e outras indústrias de energia (IPCC, 2006). Ressalta-se que as emissões das coquerias foram calculadas com base nas informações oficiais disponíveis no BEN. Todavia observou-se que, uma vez que as coquerias estão localizadas dentro das plantas siderúrgicas, o BEN não é capaz de apresentar os gases industriais (alto-forno e aciaria) desagregados. Dessa maneira, para este Inventário, a diferença das emissões entre o cálculo a partir dos dados do BEN e o cálculo pelos dados do IABr (que inclui os gases industriais) foi alocada no Setor IPPU.

5.5.1.1.2 Produção de ferro e aço nas usinas dedicadas

No Brasil, a produção de ferro-gusa também ocorre em usinas dedicadas exclusivamente a esse produto, seja voltado para fundição, seja para aciaria. O material de fundição é utilizado pelas indústrias de autopeças em forjados, enquanto o de aciaria é predominantemente exportado. Para a produção de ferro-gusa é consumida aproximadamente 1,68 tonelada de minério de ferro e em torno de 3 m³ de carvão vegetal por tonelada de gusa produzido.

No Brasil, a produção de ferro-gusa por usinas dedicadas utiliza somente carvão vegetal, ideal para fornos de menor porte, comparados com os usados nas indústrias integradas, e o processo inicial contempla as mesmas etapas da produção de gusa por essas últimas.

As emissões foram calculadas apenas com o consumo de carvão vegetal e aplicação dos fatores de emissão dos diversos gases resultantes do processo de redução. O consumo é apresentado

diretamente no BEN (EPE, 2023), no Subsetor Ferro e Aço, no qual esse combustível é utilizado apenas nas guseiras dedicadas. Os fatores de emissão estão na Tabela 5.36, sendo que, para o CO₂, ainda deve ser abatida a quantidade correspondente ao carbono contido no ferro-gusa.

Tabela 5.36. Fatores de emissão para a produção de gusa usando carvão vegetal.

Gás	FE
	kg/TJ
CO ₂ biomassa	106.519
CH ₄	200
N ₂ O	4
CO	4.000
NO _x	100
NMVOC	100

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (1996; 2006).

O consumo de carvão vegetal foi obtido no BEN (EPE, 2023), em mil tep. Para a conversão em terajoule, foi usado o fator de 41,868 TJ/mil tep. Para o ferro-gusa foi considerado o conteúdo médio carbono de 4% em termos de massa.

5.5.1.2 Produção de Ferroligas

Ferroligas é um termo usado para descrever ligas concentradas de ferro e um ou mais metais, tais como silício, manganês, cromo, molibdênio, vanádio e tungstênio. As ferroligas à base de manganês são utilizadas na fabricação de aço e ferro fundido; o ferrosilício atua como desoxidante e é destinado à produção de aços comuns; as ligas de níquel e cromo têm como aplicação principal a fabricação de aço inoxidável; ligas especiais como a liga de nióbio são usadas em aços especiais para aplicações aeronáuticas, optoeletrônicas e supercondutores.

As fábricas de ferroligas produzem compostos concentrados que são despachados para as aciarias para serem incorporados às diversas ligas de aço. A produção de ferroligas envolve o processo metalúrgico de redução, que resulta em emissões de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄).

Durante a fusão das ferroligas, a reação de redução ocorre em alta temperatura. Os redutores carbonados são geralmente carvão e coque, mas também é comumente utilizado o carvão vegetal como fonte de carbono primária ou secundária de carbono, emissão a qual é contabilizada no Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (CRT 4).

A metodologia para o cálculo das emissões de CO₂ e de CH₄ usou a abordagem *Tier 1*, com base na utilização dos redutores, conforme Equação 5.8. Os fatores de emissão aplicados constam na Tabela 5.37.

Quadro 5.13. Equação para medir emissões de CO₂ pela produção de ferroligas.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.8	CO ₂	2.C.2	$E_{CO_2} = \sum_i (\text{Combustível redutor}_i \cdot EF_i) / 10^3$	Equação 4.15 (IPCC, 2006, v.3, cap. 4)

Em que:

E_{CO_2} = emissões de CO_2 (Gg);

Combustível reductor_i = consumo do combustível reductor do tipo i informado no BEU para aquecimento direto (TJ); e

EF_i = fator de emissão do reductor do tipo i (kg CO_2 / TJ).

Tabela 5.37. Fatores de emissão de CO_2 para os redutores usados na produção de ferroligas.

Fornos (AD)	t CO_2 /t reductor
Coque de petróleo	3,5
Carvão betuminoso (CV6000)	3,1
Coque de carvão mineral	3,3
Carvão vegetal	3,5

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (2006).

Para as emissões de CH_4 também se usou a abordagem *Tier 1*, com base apenas na quantidade das ferroligas à base de silício. O fator de emissão utilizado foi de 1 kg CH_4 /t FeSi (ferrosilício).

Dados de atividades e outros parâmetros

Para o cálculo das emissões de CO_2 foram usados os consumos de combustível informados no BEN (EPE, 2023) e reportados no Setor Energia. Além disso, foram considerados os dados de produção listados na Tabela 5.38.

Tabela 5.38. Produção de ferroligas, 1990 a 2022.

Ano	Ferroligas à base de manganês	Ferroligas à base de silício	Ferroligas à base de cromo	Ferroligas à base de níquel	Ferroligas à base de nióbio	Ferroligas especiais/ outras	Total
t							
1990	170.504	229.408	83.753	0	0	323.998	807.663
1991	169.103	190.864	82.225	0	0	387.086	829.278
1992	178.937	243.838	91.100	0	0	410.937	924.812
1993	201.518	238.864	83.892	0	0	405.509	929.783
1994	199.667	198.505	77.163	0	0	371.001	846.336
1995	130.207	243.824	95.840	0	0	286.754	756.625
1996	215.260	236.838	72.609	0	0	299.205	823.912
1997	152.530	212.183	67.429	0	0	274.058	706.200
1998	267.007	166.278	72.507	26.389	30.973	36.478	599.632
1999	233.644	200.833	90.784	19.807	28.557	52.003	625.628
2000	292.581	189.935	142.352	19.315	27.359	65.080	736.622
2001	576.251	159.345	90.327	17.966	37.411	42.339	923.639
2002	339.166	145.910	133.697	19.874	36.450	50.952	726.049
2003	438.393	156.824	179.408	19.874	37.303	70.899	902.701
2004	465.600	177.245	188.836	20.338	35.863	114.887	1.002.769
2005	598.648	199.856	170.303	23.707	58.616	120.453	1.171.583
2006	573.426	220.214	166.547	28.865	65.886	107.824	1.162.762

Ano	Ferroligas à base de manganês	Ferroligas à base de silício	Ferroligas à base de cromo	Ferroligas à base de níquel	Ferroligas à base de nióbio	Ferroligas especiais/outras	Total
t							
2007	419.230	225.303	167.540	29.171	71.676	107.088	1.020.008
2008	388.010	182.790	199.324	26.694	81.591	105.262	983.671
2009	154.094	174.467	90.632	31.600	48.888	60.066	559.747
2010	305.808	247.306	172.794	8.465	77.246	97.758	909.377
2011	295.923	210.910	145.122	16.750	81.860	74.509	825.074
2012	330.419	203.881	181.425	31.342	80.187	87.587	914.841
2013	311.000	158.000	174.180	37.237	46.555	0	726.972
2014	303.000	127.000	188.682	34.501	51.737	0	704.920
2015	129.000	0	173.467	21.286	51.874	0	375.627
2016	124.000	0	150.240	44.538	44.390	0	363.168
2017	149.000	0	171.531	43.800	58.690	0	423.021
2018	168.000	0	175.061	42.310	55.726	0	441.097
2019	151.000	0	136.780	45.544	57.418	0	390.742
2020	147.133	0	146.850	53.382	59.110	0	406.476
2021	0	0	141.995	58.011	60.803	0	260.808
2022	0	0	137.140	62.639	62.495	0	262.274

Fonte: Até 1997, Associação Brasileira dos Produtores de Ferroligas e de Silício Metálico (ABRAFE); após 1998, Anuários Estatísticos do Setor Metalúrgico (MME, 2000; 2005; 2010; 2013; 2019; 2021; 2022a).

5.5.1.3 Produção de Alumínio

O Inventário apresenta as estimativas de emissões de CO₂ provenientes do consumo dos anodos no processo produtivo do alumínio primário, assim como contabiliza emissões de perfluorcarbono (PFCs) da redução eletrolítica. Os gases PFCs contabilizados compreendem o perfluormetano (CF₄) e o perfluoretano (C₂F₆), cujas emissões ocorrem durante o efeito anódico. Ainda, considera emissões de CO e NO_x oriundas da obtenção de alumínio primário.

As plantas em operação no período abrangido por este Inventário adotaram as rotas produtivas *Soberberg*, com anodo em pasta, e *Prebaked Anode*, com anodo pré-cozido. A indústria chegou a contar com sete plantas, contudo a partir de 2016, reduziu o parque industrial do setor para duas unidades fabris.

As emissões de CO₂ foram estimadas a partir de uma abordagem *Tier 1*, *Tier 2* e *Tier 3*.

O método *Tier 1* de CO₂ usa apenas a classificação ampla da tecnologia *Prebaked Anode* ou *Soderberg*, com utilização de fatores de emissão-padrão aplicados à produção, conforme a Equação 5.9. Neste caso, o guia IPCC (2006), apresenta os valores de 1,6 t CO₂/t alumínio para *Prebaked Anode* e 1,7 t CO₂/t alumínio para *Soderberg*.

Quadro 5.14. Equação para estimar emissões de CO₂ na produção de alumínio (*Tier 1*).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.9	CO ₂	2.C.3	$E_{CO2} = EF_P \cdot MP_P + EF_S \cdot MP_S$	Equação 4.20 (IPCC, 2006, v.3, cap. 4)

Em que:

E_{CO_2} = emissões de CO₂ do consumo do anodo e/ou consumo de pasta (t CO₂);
 EF_P = fator de emissão específico para a tecnologia *Prebaked Anode* (t CO₂/t alumínio);
 MP_P = quantidade de alumínio produzida a partir do processo *Prebaked Anode* (t alumínio);
 E_S = fator de emissão específico para a tecnologia *Soderberg* (t CO₂/t alumínio); e
 MP_S = quantidade de alumínio produzida a partir do processo *Soderberg* (t alumínio).

No método *Tier 2*, considera-se que o conteúdo de carbono no consumo do anodo (tecnologia *Prebaked Anode*) ou da pasta (tecnologia *Soderberg*) é totalmente convertido em CO₂. Valores típicos da indústria para impurezas são aplicados nos dois casos (Equação 5.10).

Quadro 5.15. Equação para estimar emissões de CO₂ a partir do consumo de anodo pré-cozido.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.10	CO ₂	2.C.3	$E_{CO_2} = NAC \cdot MP \cdot \frac{100 - S_a - Ash_a}{100} \cdot \frac{44}{12}$	Equação 4.21 (IPCC, 2006, v.3, cap. 4)

Em que:

E_{CO_2} = emissões de CO₂ a partir do consumo do anodo pré-cozido (t CO₂);
 MP = quantidade de alumínio produzida pelo processo *Prebaked Anode* (t alumínio);
 NAC = consumo líquido de anodo pré-cozido por tonelada de alumínio (t C / t alumínio);
 S_a = conteúdo de enxofre nos anodos cozidos (%);
 Ash_a = conteúdo de cinzas nos anodos cozidos (%);
 $44/12$ = relação das massas moleculares CO₂/C (adimensional).

As emissões da queima de combustíveis fósseis usados na produção dos anodos cozidos foram consideradas no Setor Energia. Entretanto, duas outras fontes de emissões de CO₂ estão associadas com os fornos de cozimento de anodos – a combustão de voláteis no piche e do material de empacotamento do forno de cozimento (Equação 5.11 e Equação 5.12). O IPCC (2006) apresenta valores-padrão para a tecnologia *Prebaked Anode*, conforme a Tabela 5.39.

Quadro 5.16. Equação para estimar emissões de CO₂ a partir da combustão de voláteis no piche.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.11	CO ₂	2.C.3	$E_{CO_2} = (GA - H_w - BA - WT) \cdot \frac{44}{12}$	Equação 4.22 (IPCC, 2006, v.3, cap. 4)

Em que:

E_{CO_2} = emissões de CO₂ a partir da combustão de voláteis no piche (t CO₂);
 GA = peso original dos anodos antes do cozimento (t);
 H_w = conteúdo de hidrogênio dos anodos antes do cozimento (t);
 BA = produção de anodo cozido (t);
 WT = resíduo de alcatrão coletado (t); e
 $44/12$ = relação das massas moleculares CO₂/C (adimensional).

Quadro 5.17. Equação para estimar emissões de CO₂ a partir da combustão do material de empacotamento no forno de cozimento.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.12	CO ₂	2.C.3	$E_{CO_2} = PCC \cdot BA \cdot \frac{100 - S_{pc} - Ash_{pc}}{100} \cdot \frac{44}{12}$	Equação 4.23 (IPCC, 2006, v.3, cap. 4)

Em que:

E_{CO_2} = emissões de CO₂ a partir da combustão do material de empacotamento no forno de cozimento (t CO₂);

PCC = consumo de material de empacotamento (t/t BA);

BA = produção de anodo cozido (t);

S_{pc} = conteúdo de enxofre no material de empacotamento (%);

Ash_{pc} = conteúdo de cinzas no material de empacotamento (%); e

44/12 = relação das massas moleculares CO₂/C (adimensional).

Tabela 5.39. Valores-padrão para parâmetros da tecnologia *Prebaked Anode* (Tier 2).

Tecnologia <i>Prebaked Anode</i>	
Fator (Tier 2)	CWPB/SWPB
S _a = conteúdo de enxofre nos anodos cozidos (%)	2
A _{sha} = conteúdo de cinzas nos anodos cozidos (%)	0,4
H _w = conteúdo de hidrogênio dos anodos antes do cozimento (t)	0,005*GA ¹
WT = resíduo de alcatrão coletado (t)	0,005*GA para fornos Riedhammer; 0 para outros
PCC = consumo de material de empacotamento (t/t BA)	0,015
S _{pc} = conteúdo de enxofre no material de empacotamento (%)	2
Ash _{pc} = conteúdo de cinzas no material de empacotamento (%)	2,5

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (2006). Notas: ¹ GA (*green anodes*) anodos antes do cozimento.

No caso das emissões relacionadas ao consumo da pasta (*Soderberg*), as emissões são calculadas segundo a Equação 5.13, considerando os parâmetros do IPCC (2006) constantes na Tabela 5.40.

Quadro 5.18. Equação para estimar emissões de CO₂ do consumo de pasta.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência

Equação 5.13 CO₂ 2.C.3
$$E_{CO_2} = (PC \cdot MP - \frac{CSM \cdot MP}{1000} - \frac{BC}{100} \cdot PC \cdot MP \cdot \frac{Sp + Ashp + Hp}{100} - \frac{100 - BC}{100} \cdot PC \cdot MP \cdot \frac{Sc + Ashc}{100} - MP \cdot CD) \cdot \frac{44}{12}$$
 Equação 4.24 (IPCC, 2006, v.3, cap. 4)

Em que:

E_{CO_2} = emissões de CO₂ do consumo de pasta (t CO₂);
 MP = quantidade de alumínio produzida no processo Soderberg (t alumínio);
 PC = consumo de pasta por tonelada de alumínio (t C / t alumínio);
 CSM = emissões de matéria de ciclohexano solúvel por tonelada de alumínio (kg / t alumínio);
 BC = conteúdo do ligante na pasta (%);
 Sp = conteúdo de enxofre no piche (%);
 Ashp = conteúdo de cinza no piche (%);
 Hp = conteúdo de hidrogênio no piche (%);
 Sc = conteúdo de enxofre no coque calcinado da pasta (%);
 Ashc = conteúdo de cinza no coque calcinado da pasta (%);
 CD = carbono na poeira sobrenadante das cubas Soderberg (%); e
 44/12 = relação das massas moleculares CO₂/C (adimensional).

Tabela 5.40. Valores-padrão para parâmetros da tecnologia *Soderberg* (*Tier 2*).

Fator (<i>Tier 2</i>)		
Parâmetros	VSS	HSS
CSM = emissões de matéria de ciclohexano solúvel (kg / t alumínio)	0,5	4,0
BC = conteúdo do ligante na pasta (%) pasta seca (úmida)	24,0 (27,0)	24,0 (27,0)
Sp = conteúdo de enxofre no piche (%)	0,6	0,6
Ashp = conteúdo de cinza no piche (%)	0,2	0,2
Hp = conteúdo de hidrogênio no piche (%)	3,3	3,3
Sc = conteúdo de enxofre no coque calcinado da pasta (%)	1,9	1,9
Ashc = conteúdo de cinza no coque calcinado da pasta (%)	0,2	0,2

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (2006).

No método *Tier 3*, usa-se o mesmo raciocínio do *Tier 2*, apenas substituindo-se os valores indicados na Tabela 5.39 por parâmetros medidos, ou específicos, para cada planta.

Para estimar as emissões de PFCs da produção do alumínio primário, no caso CF₄ e C₂F₆, o método *Tier 1* usa as subdivisões das tecnologias *Prebaked Anode* (CWPB ou SWPB) e *Soderberg* (VSS ou HSS), com fatores de emissão padrão (Tabela 5.41) aplicados à produção, em cada um dos casos, conforme a Equação 5.14 e a Equação 5.15.

Tabela 5.41. Fatores de emissão padrão para CF₄ e C₂F₆ na produção de alumínio primário.

	FECF ₄	FEC ₂ F ₆

Tecnologia	kg CF ₄ /t Al	kg C ₂ F ₆ /t Al
Prebaked Anode – CWPB	0,4	0,04
Prebaked Anode – SWPB	1,6	0,4
Soderberg – VSS	0,8	0,04
Soderberg – HSS	0,4	0,03

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (2006).

Quadro 5.19. Equação para estimar emissões de CF₄ pela produção de alumínio.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.14	CF ₄	2.C.3	$E_{CF_4} = \sum_i (EF_{CF_4,i} \cdot MP)$	Equação 4.25 (IPCC, 2006, v.3, cap. 4)

Em que:

E_{CF_4} = emissões de CF₄ pela produção de alumínio (kg CF₄);

EF_{CF_4} = fator de emissão padrão por tipo de tecnologia i para CF₄ (kg CF₄/ t alumínio); e

MP = quantidade de alumínio produzida por tipo de tecnologia (t alumínio).

Quadro 5.20. Equação para estimar emissões de C₂F₆ a partir da produção de alumínio.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.15	C ₂ F ₆	2.C.3	$E_{C_2F_6} = \sum_i (EF_{C_2F_6,i} \cdot MP)$	Equação 4.25 (IPCC, 2006, v.3, cap. 4)

Em que:

$E_{C_2F_6}$ = emissões de C₂F₆ pela produção de alumínio (kg C₂F₆);

$EF_{C_2F_6}$ = fator de emissão padrão por tipo de tecnologia i para C₂F₆ (kg C₂F₆/ t alumínio); e

MP = quantidade de alumínio produzida por tipo de tecnologia (t alumínio).

Há dois métodos *Tier 2* para calcular as emissões de CF₄: o da inclinação (*slope method* – Equação 5.16) e o da sobrevoltagem (*overvoltage method*), cada um com uma fórmula associada. Já as estimativas de C₂F₆ são calculadas como uma fração das emissões de CF₄ (Equação 5.17). Estas equações referem-se ao método da inclinação, único aplicado para as estimativas de emissões dos PFCs da indústria brasileira de alumínio.

Quadro 5.21. Equação para estimar emissões de CF₄ a partir da produção de alumínio.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.16	CF ₄	2.C.3	$E_{CF_4} = S_{CF_4} \cdot AEM \cdot MP$	Equação 4.26 (IPCC, 2006, v.3, cap. 4)

Em que:

E_{CF_4} = emissões de CF_4 a partir da produção de alumínio, kg CF_4 ;
 S_{CF_4} = coeficiente de inclinação para CF_4 (kg CF_4 /t alumínio) / (min-EA/célula-dia);
 AEM = minutos de efeito anódico por célula-dia, min-EA/célula-dia; e
 MP = quantidade de alumínio produzida (t alumínio).

Quadro 5.22. Equação para estimar emissões de C_2F_6 a partir da produção de alumínio.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.17	CF_4 / C_2F_6	2.C.3	$E_{C_2F_6} = E_{CF_4} \cdot F_{C_2F_6/CF_4}$	Equação 4.26 (IPCC, 2006, v.3, cap. 4)

Em que:

$E_{C_2F_6}$ = emissões de C_2F_6 da produção de alumínio, kg C_2F_6 ;
 E_{CF_4} = emissões de CF_4 a partir da produção de alumínio, kg CF_4 ; e
 $F_{C_2F_6/CF_4}$ = relação C_2F_6/CF_4 (kg C_2F_6 /kg CF_4).

Por sua vez, a Tabela 5.42 mostra os valores-padrão para o coeficiente de inclinação e a relação C_2F_6/CF_4 , por tecnologia, nesta abordagem *Tier 2*.

No método *Tier 3*, usa-se o mesmo raciocínio do *Tier 2*, apenas substituindo-se os valores indicados na Tabela 5.42 por parâmetros medidos, ou específicos, para cada planta.

Tabela 5.42. Coeficientes de inclinação para cálculo das emissões para CF_4 e C_2F_6 .

Tecnologia	Coeficiente de inclinação	FC_2F_6/CF_4 = relação C_2F_6/CF_4
	(kg CF_4 /t alumínio)/(min-EA/célula-dia)	kg C_2F_6 /kg CF_4
<i>Prebaked Anode</i> – CWPB	0,143	0,121
<i>Prebaked Anode</i> – SWPB	0,272	0,252
<i>Soderberg</i> – VSS	0,092	0,053
<i>Soderberg</i> – HSS	0,099	0,085

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (2006).

Para estimar as emissões de CO e NO_x , foi seguida a metodologia *Tier 1* (IPCC, 1997), segundo fatores de emissão da Tabela 5.43.

Tabela 5.43. Fatores de emissão para CO e NO_x na produção de alumínio primário.

Fonte de emissão	CO	NO_x
Processo eletrolítico	135	2,15
Cozimento de ânodos	400	NE

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (2006). Unidade: kg/t alumínio.

Finalmente, destaca-se que as empresas só forneceram cálculos detalhados dos fatores de emissão até o ano de 2007 ou 2008, o que demandou a adoção dos seguintes pressupostos:

- Para o CO₂, foram mantidos os fatores de emissão de 2007 de cada fábrica.
- Para o CF₄, foi tomada a média dos últimos três fatores de emissão de cada fábrica.
- Para o C₂F₆, considerou-se a relação C₂F₆/CF₄ existente em 2007 de cada fábrica.

Dados de atividades e outros parâmetros

As emissões de CO₂ e de PFCs foram estimadas para o período 1990 a 2022. Os resultados refletem a consolidação das medições realizadas pelas empresas em determinados períodos; e, quando não foi possível usar a medição, foram aplicados valores-padrão do IPCC (2006).

Cada planta utilizou a melhor abordagem (*Tier*) possível para o cálculo das emissões de seus processos de acordo com a Tabela 5.44.

Tabela 5.44. Abordagens aplicadas nas estimativas de emissões de CO₂ e PFCs por planta para o período 1990-2007.

Rota tecnológica		Planta	CO ₂	PFCs
Tipo	Subdivisão			
Soderberg	VSS e HSS	Novelis (BA)	<i>Tier 2</i>	<i>Tier 2</i>
	HSS	Novelis (MG)	<i>Tier 2</i>	<i>Tier 2</i>
	VSS	Alcoa (MG)	<i>Tier 2</i>	<i>Tier 3</i>
	VSS	CBA (SP)	<i>Tier 3</i>	<i>Tier 3</i>
Prebaked Anode	CWPB	Albras (PA)	<i>Tier 1</i>	<i>Tier 1</i> (1990-1996) <i>Tier 3</i> (1997-2007)
	CWPB	Alumar (MA)	<i>Tier 3</i>	<i>Tier 2</i>
	CWPB	Valesul (RJ)	<i>Tier 2</i>	<i>Tier 1</i>

Os dados coletados para as estimativas de emissões de PFCs compreenderam:

- As produções anuais de alumínio a partir dos registros das salas de cubas eletrolíticas das próprias empresas produtoras primárias.
- Os dados sobre duração e frequência dos efeitos anódicos das empresas Novelis, Alcoa, Votorantim Metais – CBA, Albras e Alumar. Para a empresa Valesul, as estimativas de emissões foram realizadas com o *Tier 1*.

Já os dados para as estimativas de emissões de CO₂ foram:

- As produções anuais de alumínio a partir dos registros das salas de cubas eletrolíticas das empresas.
- Os dados de consumo dos anodos de cada planta Novelis, Alcoa, VMetais – CBA e Alumar. As emissões relativas à empresa Albras foram estimadas com o *Tier 1*.

A coleta dos dados foi realizada com a colaboração das empresas produtoras de alumínio, referente ao período de 1990 a 2007/2008, para cada planta. A partir de 2008, foram obtidas em

ABAL (2013; 2019), Albras (2022) e CBA (2022) as quantidades produzidas de alumínio primário por tecnologia e planta (Tabela 5.45).

Tabela 5.45. Produção nacional de alumínio primário, por tipo de tecnologia, 1990-2022.

Detalhe	Produção brasileira de alumínio (toneladas)									
	Tecnologia <i>Soderberg</i>					Tecnologia <i>Prebaked Anode</i>				
Fábrica	Novelis	Novelis	Alcoa	CBA	Total	Albras	Alumar	Valesul		Total
Tipo tecn.	VSS+HSS	HSS	VSS	VSS	<i>Soderberg</i>	CWPB	CWPB	CWPB	<i>Prebaked Anode</i>	
Localidade	Aratu – BA	Ouro Preto – MG	Poços de Caldas – MG	Alumínio – SP		Barcarena – MG	São Luís – MA	Santa Cruz – RJ		
1990	56.382	50.896	88.512	174.013	369.803	193.997	264.324	92.749	551.070	920.873
1991	56.826	49.900	89.438	204.328	400.492	287.995	352.173	92.181	732.349	1.132.841
1992	56.533	50.615	89.646	216.431	413.225	335.192	357.386	93.014	785.592	1.198.817
1993	28.910	48.938	89.821	216.883	384.552	345.017	358.669	85.169	788.855	1.173.407
1994	29.890	42.580	90.401	221.804	384.675	347.419	362.630	90.696	800.745	1.185.420
1995	38.427	41.516	89.766	220.462	390.171	341.129	365.269	91.891	798.289	1.188.460
1996	49.033	44.369	88.761	220.007	402.170	339.661	363.579	91.581	794.821	1.196.991
1997	45.604	47.666	89.690	220.972	403.932	337.983	353.921	92.333	784.237	1.188.170
1998	53.648	48.869	90.922	221.047	414.486	344.697	355.296	92.859	792.852	1.207.338
1999	52.660	49.707	91.261	233.883	427.511	361.242	365.623	93.074	819.939	1.247.449
2000	56.631	50.302	91.733	240.078	438.744	369.209	369.059	92.572	830.840	1.269.584
2001	47.607	44.438	69.637	230.375	392.056	334.782	325.674	79.845	740.301	1.132.357
2002	52.210	49.575	87.220	246.435	435.440	416.140	370.520	92.883	879.543	1.314.983
2003	56.265	50.173	95.014	284.273	485.725	435.922	333.066	94.613	863.601	1.349.326
2004	57.823	50.950	90.693	345.365	544.831	440.458	377.084	95.361	912.903	1.457.734
2005	57.033	50.593	95.267	370.368	573.261	449.520	380.967	94.007	924.494	1.497.755
2006	58.442	51.439	96.120	404.922	610.922	459.886	437.596	95.845	993.327	1.604.249
2007	58.503	49.790	96.482	450.872	655.647	458.896	447.155	93.768	999.819	1.655.466
2008	58.704	44.778	97.203	465.743	666.429	459.289	451.628	85.724	996.641	1.663.070
2009	52.038	48.752	65.253	471.354	637.397	453.781	434.121	10.241	898.143	1.535.540
2010	40.870	48.168	88.327	472.018	649.383	451.117	433.203	0	884.320	1.533.703
2011	0	48.741	87.914	405.296	541.951	458.166	439.157	0	897.323	1.439.274
2012	0	46.500	85.900	454.893	587.293	446.669	402.400	0	849.069	1.436.362
2013	0	29.200	69.400	413.700	512.300	452.300	339.500	0	791.800	1.304.100
2014	0	18.000	17.500	318.500	354.000	441.000	167.000	0	608.000	962.000
2015	0	0	0	302.200	302.200	435.200	34.800	0	470.000	772.200
2016	0	0	0	343.900	343.900	446.100	0	0	446.100	790.000
2017	0	0	0	355.000	355.000	446.700	0	0	446.700	801.700
2018	0	0	0	351.500	351.500	307.500	0	0	307.500	659.000

Continuação. Produção nacional de alumínio primário, por tipo de tecnologia, 1990-2022

Detalhe	Produção brasileira de alumínio (toneladas)									
	Tecnologia <i>Soderberg</i>					Tecnologia <i>Prebaked Anode</i>				Total
Fábrica	Novelis	Novelis	Alcoa	CBA	Total	Albras	Alumar	Valesul	Total	
Tipo tecn.	VSS+HSS	HSS	VSS	VSS		CWPB	CWPB	CWPB	<i>Prebaked Anode</i>	
Localidade	Aratu – BA	Ouro Preto – MG	Poços de Caldas – MG	Alumínio – SP	<i>Soderberg</i>	Barcarena – MG	São Luís – MA	Santa Cruz – RJ		
2019	0	0	0	323.554	323.554	326.588	0	0	326.588	650.142
2020	0	0	0	306.192	306.192	378.918	0	0	378.918	685.110
2021	0	0	0	344.800	344.800	426.900	0	0	426.900	771.700
2022	0	0	0	347.000	347.000	405.000	0	0	405.000	752.000

5.5.1.4 Produção de Magnésio

O SF₆ é usado como gás de cobertura para evitar a oxidação do magnésio fundido durante a produção e a fundição de produtos de magnésio metálico e normalmente escapa para a atmosfera. O SF₆ é considerado um gás não reativo e se adapta idealmente a esse tipo de proteção, como “cobertura” para o magnésio fundido (daí o termo “gás de cobertura”). O consumo do gás usado, portanto, é considerado como estimativa das emissões. Contudo, a produção de magnésio pela Rima Industrial, única produtora de magnésio no Brasil, passou a utilizar SO₂ em vez de SF₆ em razão de um projeto MDL,⁴⁵ eliminando seu uso a partir do segundo semestre de 2009. O uso de dolomita – única matéria-prima usada no processo – também gera emissões de CO₂.

As emissões de SF₆ baseiam-se na quantidade do gás que era consumida antes do projeto MDL, quando 100% do gás era emitido após o uso. Segundo IPCC (2006), as emissões de CO₂ derivadas da calcinação da dolomita (CaCO₃.MgCO₃) utilizada devem ser reportadas nesta categoria. A abordagem usada foi *Tier 1*, com o fator de emissão de 5,13 t CO₂/t magnésio produzido (em decorrência de calcinação da dolomita).

Dados de atividades e outros parâmetros

Foi considerada a série informada para o Inventário apresentado na Terceira Comunicação Nacional (Brasil, 2016), que se estendeu até 2011. Para 2008 foram consideradas as mesmas emissões de SF₆ de 2007; e, para 2009, metade delas, já que o primeiro relatório de monitoramento indica início efetivo do projeto MDL apenas no segundo semestre de 2009. Para os anos de 2010 a 2021, os dados foram adquiridos nos relatórios do projeto MDL diretamente em UNFCCC (2024). O valor relativo a 2022 foi extrapolado a partir da tendência dos cinco anos anteriores.

Os dados de atividade são apresentados na Tabela 5.46.

Tabela 5.46. Produção de magnésio, 1990 a 2022.

Ano	Produção de magnésio
	t
1990	5.731
1991	5.805
1992	6.945
1993	10.046
1994	9.833
1995	10.043
1996	9.706
1997	12.692
1998	10.025
1999	9.753
2000	10.256
2001	9.291

⁴⁵ “Conversion of SF₆ to the alternative cover gas SO₂ at RIMA magnesium production”. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>.

Ano	Produção de magnésio
	t
2002	10.092
2003	10.693
2004	12.105
2005	14.337
2006	16.648
2007	18.181
2008	20.043
2009	21.904
2010	18.545
2011	17.848
2012	21.002
2013	23.183
2014	23.629
2015	25.087
2016	27.363
2017	26.471
2018	27.214
2019	28.144
2020	25.817
2021	29.420
2022	28.764

5.5.1.5 Produção de Chumbo

A produção no Brasil é de chumbo secundário. De acordo com o IPCC (2006), o processo utiliza redutores como carvão, gás natural e coque metalúrgico, podendo também usar coque de petróleo em fornos elétricos.

Como referido anteriormente, as emissões correspondentes ao processo produtivo são reportadas na categoria Outros Não Ferrosos, fora Alumínio e Magnésio (2.C.7).

5.5.1.6 Produção de Zinco

A produção nacional de zinco tem início com a realização do desmonte do minério das minas, com um teor metálico que varia de 3,6% a 20,0%. Depois de submetido a sucessivas britagens, o minério é moído e posteriormente passa pelo processo de flotação e filtragem para a obtenção do concentrado, cujo teor de zinco já alcança 45,0%. Só então é convertido pelo processo de lixiviação química (hidrometalurgia), seguida de deposição eletrolítica, em lingote de metal do tipo SHG (*Special High Grade*) com teor de zinco maior ou igual a 99,99% (Brasil, 2017).

Pelo exposto, este processo não usa redutores, portanto não emite CO₂ ou outros gases passíveis de serem reportados neste Inventário.

5.5.1.7 Outros não ferrosos (fora alumínio e magnésio)

Além do alumínio e do magnésio, outros metais não ferrosos são produzidos no Brasil, incluindo-se: chumbo (apenas produção secundária), cobre, estanho, níquel, silício metálico e zinco. A

produção desses metais não ferrosos, exceto o cobre e o zinco, utiliza combustíveis como redutores de óxidos em fornos em alguma fase do processo, emitindo CO₂.

Para as emissões dessa categoria, na falta de fatores de emissão específicos para não ferrosos, exceto alumínio, adotou-se a abordagem do uso dos combustíveis utilizados no BEN (EPE, 2023) e que, de acordo com o BEU (EPE, 2005), são usados como aquecimento direto, em geral como redutores.

A metodologia para o cálculo das emissões de CO₂ segue a Equação 5.18. Posteriormente, subtraíram-se as emissões de CO₂ da produção do alumínio, já reportadas, pois os combustíveis usados no processo são indicados conjuntamente no BEN com os dos outros não ferrosos.

Quadro 5.23. Equação para estimar emissões de CO₂ pela produção de não ferrosos.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.18	CO ₂	2.C.7	$E_{CO_2} = \sum_i (\text{Combustível redutor}_i \cdot EF_i) / 10^3$	EPE (2005; 2023)

Em que:

E_{CO_2} = emissões de CO₂ (Gg);

Combustível redutor i = consumo do combustível redutor do tipo i informado no BEU para aquecimento direto (TJ); e

EF_i = fator de emissão do redutor do tipo i (t CO₂/TJ).

Por falta de mais informações, o carbono contido nos não ferrosos não foi considerado. Os fatores de emissão de CO₂ utilizados são os mesmos usados no Setor Energia (CRT 1), seguindo a Tabela 5.47.

Tabela 5.47. Fatores de emissão de CO₂ para os redutores usados na produção de não ferrosos.

Fornos (AD)	kg CO ₂ /TJ
Coque de petróleo	97.500
Carvão betuminoso (CV6000)	94.600
Coque de carvão mineral	107.000
Carvão vegetal	106.519

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (2006).

Dados de atividades e outros parâmetros

Os combustíveis utilizados na produção de cada metal são informados na Tabela 5.48, sendo considerados redutores para os metais não ferrosos e excluídos do Setor Energia. A tabela inclui a informação do uso de coque de petróleo para a produção de alumínio, que deve ser subtraída do total desse combustível, pois as emissões já estão relatadas na respectiva categoria.

Tabela 5.48. Energéticos usados como redutores para a produção de metais não ferrosos.

Ano	Coque de Petróleo	Coque de Carvão Mineral	Carvão vegetal

	mil m³	mil t	mil t
1990	401,0	104,0	393,8
1991	447,0	98,0	315,9
1992	431,0	91,0	317,9
1993	474,0	253,9	174,9
1994	526,0	126,9	189,9
1995	547,0	243,9	225,9
1996	596,0	239,9	48,0
1997	492,0	117,0	40,0
1998	447,0	109,0	34,0
1999	462,0	109,0	4,0
2000	486,0	125,9	9,0
2001	437,0	125,9	9,0
2002	494,3	121,7	12,0
2003	578,0	157,0	12,0
2004	569,0	198,0	12,0
2005	587,2	201,3	12,2
2006	628,0	212,0	13,1
2007	668,3	219,0	13,7
2008	676,0	216,0	14,1
2009	676,0	199,8	13,1
2010	700,8	220,4	14,4
2011	843,8	335,4	13,9
2012	803,7	403,9	15,9
2013	751,5	400,0	17,5
2014	683,9	404,0	21,1
2015	586,7	355,5	16,4
2016	601,4	331,1	15,5
2017	597,8	348,8	16,7
2018	516,2	370,8	17,6
2019	514,0	378,9	16,9
2020	541,8	387,3	16,2
2021	506,5	464,7	17,1
2022	455,5	422,9	15,6

5.5.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de garantia de qualidade/controle de qualidade (QA/QC) para o Subsetor Indústria Metalúrgica (2.C) foram aplicados de acordo com o plano de QA/QC descrito na Seção 2.5 deste NIR, e em consonância com o as Diretrizes do IPCC (2006, v. 1, cap. 6).

5.5.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CO₂, CH₄, N₂O e PFCs da Indústria Metalúrgica (2.C) é apresentada no Apêndice II.

A atualização do Inventário abrangeu a revisão das séries históricas de dados de atividade diante do acesso a dados, em geral obtidos junto às Associações, como é o caso do IABr e da ABAL, relativos à produção de ferro e aço e alumínio, respectivamente, assim como em SIDRA/IBGE, BEN e UNFCCC (ABAL, 2019; IABR, 2017; 2023; EPE, 2023; IBGE, 2024b; UNFCCC, 2024). Em síntese, os principais ajustes decorrem de:

- *Ferro e Aço (2019-2020)*: revisão dos dados de produção anteriormente extrapolados em Brasil (2022) pela ausência de informações;
- *Ferroligas (2018-2020)*: revisão dos dados de produção anteriormente extrapolados em Brasil (2022) pela ausência de informações;
- *Alumínio (2018-2020)*: revisão da produção de alumínio a partir do anuário do setor e dados das empresas produtoras, os quais foram anteriormente extrapolados;
- *Magnésio (2019-2020)*: revisão da produção com base em projeto de MDL; e
- *Outros não ferrosos (2020)*: revisão dos dados de uso de combustíveis anteriormente extrapolados.

Relativamente ao Inventário anterior, a maior proporção dos ajustes neste NIR 2024 é verificada em 2019 e 2020, com -10% e -9% de variação nas emissões da Indústria Metalúrgica (2.C), respectivamente. Neste Inventário foram acessados dados que não estavam disponíveis anteriormente, o que reduziu o uso de extrapolações para estimar dados de atividade. De fato, foi perceptível o impacto da pandemia da COVID-19 nas estimativas, particularmente em 2020. O impacto sobre emissões decorre da queda, sobretudo, no nível de atividade do Setor Ferro e Aço, tendo em vista a adoção de medidas de contenção da circulação de trabalhadores que afetou a cadeia produtiva da construção civil. Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de 4%, e no período de 1990 a 2020, foi de apenas de 0,5%, assim demonstrando a consistência da série temporal do subsetor (Figura 5.8).

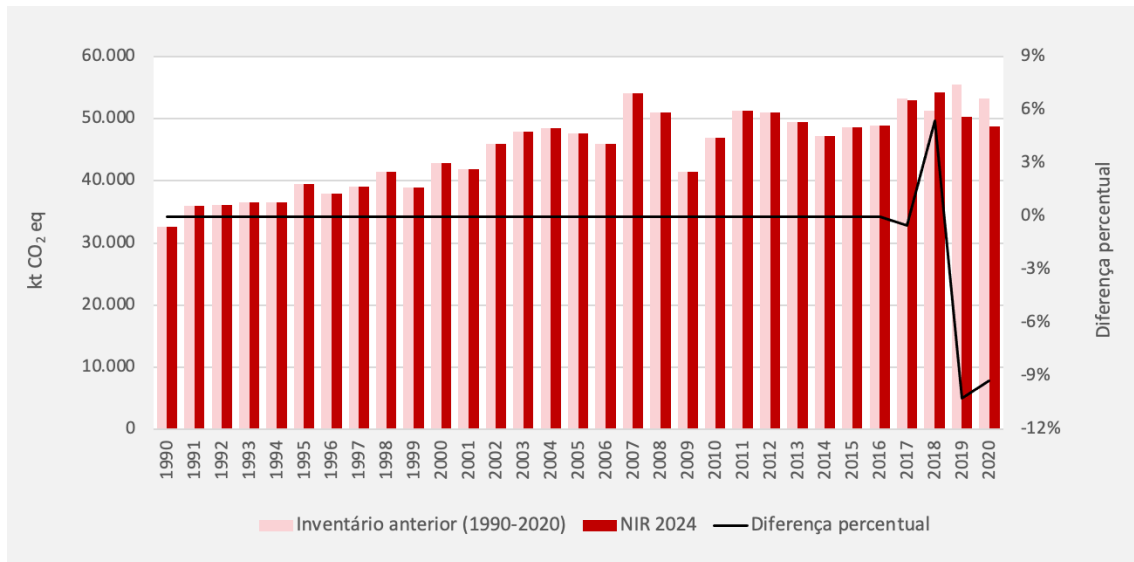


Figura 5.8. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Indústria Metalúrgica (2.C) entre os Inventários.

5.5.4 Plano de melhoria

Diante da experiência adquirida na elaboração dos Inventários Nacionais de GEE, a equipe técnica propôs medidas, visando ao aprimoramento dos resultados do Inventário no particular da Indústria Metalúrgica (2.C) (Quadro 5.24).

Quadro 5.24. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Indústria Metalúrgica (2.C).

Subsetor	Categoria	Melhoria
2.C. INDÚSTRIA METALÚRGICA	Geral (todas as categorias)	Alinhar parcerias com vistas a incentivar a atualização em base quadrienal do Balanço de Energia Útil.
	2.C.1. Produção de Ferro e Aço	Alinhar Acordo de Cooperação Técnica ou parceria para obtenção de dados de matérias-primas e carbono do setor, além de dados desagregados por planta relativos a gases industriais em alto-forno e aciaria.
	2.C.2. Produção de Ferroligas	Alinhar parceria visando incentivar a elaboração sistemática dos Anuários do Setor Metalúrgico.
	2.C.3. Produção de Alumínio	Alinhar parceria para fomentar o acesso a dados de produção de alumínio primário, assim como fatores de emissão e outros parâmetros, em base bienal.
	2.C.4. Produção de Magnésio	Estabelecer diálogo com a empresa detentora do projeto de MDL para facilitar o acesso a dados de remoções por projeto.

5.6 Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (CRT 2.D)

As emissões do Subsetor Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D) estão relacionadas às categorias: Uso de Lubrificantes (2.D.1) e Outros (2.D.3). As emissões associadas ao Uso de Cera de Parafina (2.D.2) foram incluídas na categoria Outros (2.D.3).

Em 2022, o subsetor emitiu 843 kt CO₂ eq, o que representou cerca de 1% do total de emissão de IPPU. De 2020 a 2022, as emissões de Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D) aumentaram 3%. A categoria Uso de Lubrificantes (2.D.1) representou 85% do total do subsetor.

Nessa categoria, são estimadas as emissões decorrentes do uso de lubrificantes em máquinas e equipamentos, apenas quando queimados em motores, sendo o restante estocado de forma definitiva. As emissões da categoria Outros (2.D.3), que complementa o subsetor, estão relacionadas com o uso não energético de alcatrão.

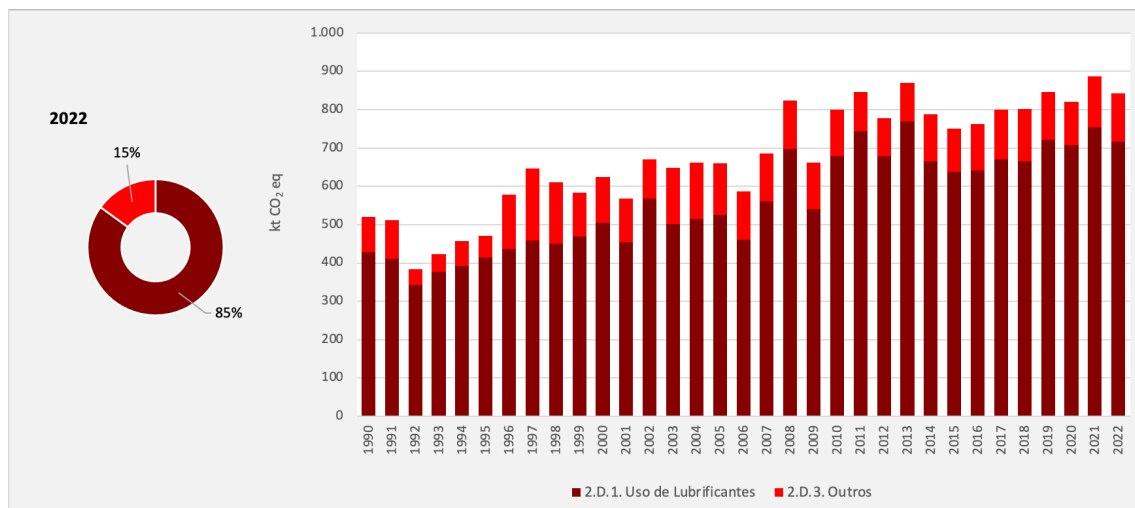


Figura 5.9. Emissões de Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

5.6.1 Aspectos metodológicos

5.6.1.1 Uso de lubrificantes

Os lubrificantes são derivados de petróleo, para uso em máquinas e equipamentos, com finalidade de evitar atritos, fora o uso em processos na indústria química. Embora a fonte de informação seja o BEN, lubrificantes são tratados no setor Energia, mas reportados em IPPU, de acordo com o IPCC (2006). Considera-se que 80% dos lubrificantes sejam estocados de forma definitiva e 20% emitidos nos motores dois tempos, nos quais são queimados junto ao combustível.

Para o cálculo das emissões de CO₂ pelo uso de lubrificantes, foi usado o fator de emissão padrão de 20 t C/TJ, que depois precisa ser multiplicado por 44/12 para conversão em dióxido de carbono.

Dados de atividades e outros parâmetros

O BEN apresenta valores de consumo de lubrificantes em mil m³ (EPE, 2023). Logo, é preciso usar os fatores de conversão para tep, que variaram anualmente, e o fator de 41,868 mil tep/TJ,

para conversão em terajoules (TJ). A Tabela 5.49 apresenta as quantidades consumidas e os fatores de conversão.

Tabela 5.49. Consumo de lubrificantes, fora uso da química, 1990 a 2022.

Ano	Consumo não energético (fora química)	Fator de conversão para tep
	mil m ³	tep / m ³
1990	783	0,89031
1991	753	0,89031
1992	626	0,89031
1993	689	0,89031
1994	718	0,89031
1995	757	0,89031
1996	800	0,89031
1997	840	0,89031
1998	820	0,89408
1999	854	0,89320
2000	921	0,89232
2001	829	0,89056
2002	1.037	0,89100
2003	917	0,89100
2004	941	0,89100
2005	960	0,89100
2006	843	0,89100
2007	1.025	0,89100
2008	1.276	0,89100
2009	1.012	0,87000
2010	1.242	0,89100
2011	1.392	0,87000
2012	1.271	0,87000
2013	1.439	0,87000
2014	1.244	0,87000
2015	1.194	0,87000
2016	1.201	0,87000
2017	1.253	0,87000
2018	1.244	0,87000
2019	1.350	0,87000
2020	1.324	0,87000
2021	1.411	0,87000
2022	1.341	0,87000

5.6.1.2 Outros

O alcatrão é um combustível secundário derivado do processamento do carvão mineral nas coquearias, com uso energético (com emissões contabilizadas no Setor Energia) e não energético (com emissões contabilizadas no Setor IPPU. Na falta de mais informações, considerou-se que,

conforme padrão do IPCC (1997), 75% do carbono seja estocado e o restante, 25%, finalmente emitido.

Para o cálculo das emissões de CO₂ pelo uso de alcatrão, foi usado o fator de emissão padrão de 22 t C/TJ, com posterior multiplicação por 44/12 para conversão em dióxido de carbono.

No caso das NVMOC, foi considerada a emissão baseada no uso de asfalto utilizado na pavimentação. Ademais, foram consideradas as emissões do gás natural seco; querosene iluminante; álcool anidro; álcool hidratado e solventes.

Diante do fornecimento dessas informações em EPE (2023), procedeu-se diretamente com a transformação de unidades dos valores informados no BEN para unidade de massa. No caso do uso do asfalto para pavimentação, há uma emissão de compostos voláteis na proporção de 320 kg NMVOC/t asfalto.

Dados de atividades e outros parâmetros

O BEN apresenta o consumo de alcatrão em mil m³ (EPE, 2023), para conversão foram utilizados os fatores de conversão para tep, que variaram anualmente, e o fator de 41,868 mil tep/TJ, para conversão em terajoules (TJ). A Tabela 5.50 apresenta os consumos e os fatores de conversão.

Tabela 5.50. Consumo de alcatrão, fora uso da química, 1990 a 2022.

Ano	Consumo não energético (fora química)	Fator de conversão para tep
	mil m ³	tep / m ³
1990	128	0,8547
1991	139	0,8547
1992	57	0,8547
1993	65	0,8547
1994	89	0,8547
1995	78	0,8547
1996	195	0,8547
1997	259	0,8547
1998	222	0,8547
1999	160	0,8547
2000	166	0,8547
2001	160	0,8547
2002	142	0,8550
2003	204	0,8550
2004	204	0,8550
2005	187	0,8550
2006	175	0,8550
2007	172	0,8550
2008	174	0,8550
2009	167	0,8550
2010	167	0,8550
2011	142	0,8550
2012	136	0,8550

Ano	Consumo não energético (fora química)	Fator de conversão para tep
	mil m ³	tep / m ³
2013	141	0,8550
2014	171	0,8550
2015	157	0,8550
2016	168	0,8550
2017	180	0,855
2018	189	0,855
2019	172	0,855
2020	156	0,855
2021	184	0,855
2022	175	0,855

Para as emissões de NMVOC, foram considerados os combustíveis listados em BEN (EPE, 2023) para o período de 1990 a 2022, juntamente com a respectiva informação de densidade, conforme na Tabela 5.51.

Tabela 5.51. Densidade dos combustíveis para cálculo das emissões NMVOC.

Querosene iluminante	790 kg/m ³
Álcool anidro	791 kg/m ³
Álcool hidratado	809 kg/m ³
Solventes	740 kg/m ³
Asfalto	1.040 kg/m ³
Outros não energéticos de petróleo	873 kg/m ³

Fonte: Elaborado a partir de EPE (2023).

5.6.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D) são citados na Seção 2.5 deste documento.

5.6.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CO₂ dos Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D) é apresentada no Apêndice II.

Foram revisadas as séries históricas de dados de atividade diante da publicação de dados atualizados do BEN (EPE, 2023). Em síntese, os principais ajustes decorrem de:

- *Lubrificantes (2020)*: revisão do consumo não energético de lubrificantes diante da revisão da série histórica do Balanço Energético Nacional; e
- *Alcatrão (2017)*: revisão no uso de alcatrão decorrente da revisão do dado no Balanço Energético Nacional.

Ao comparar os resultados consolidados do Inventário anterior com os resultados deste NIR 2024, a maior proporção de ajustes foi verificada em 2020, com 3% de diferença entre emissões estimadas. Trata-se de revisão no dado de consumo de lubrificantes do BEN, o que geralmente ocorre para anos recentes da série histórica, conforme citado no Inventário do Setor Energia. Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de apenas 1%, e no período de 1990 a 2020, de 0,14%, demonstrando a consistência da série temporal do subsetor (Figura 5.10).

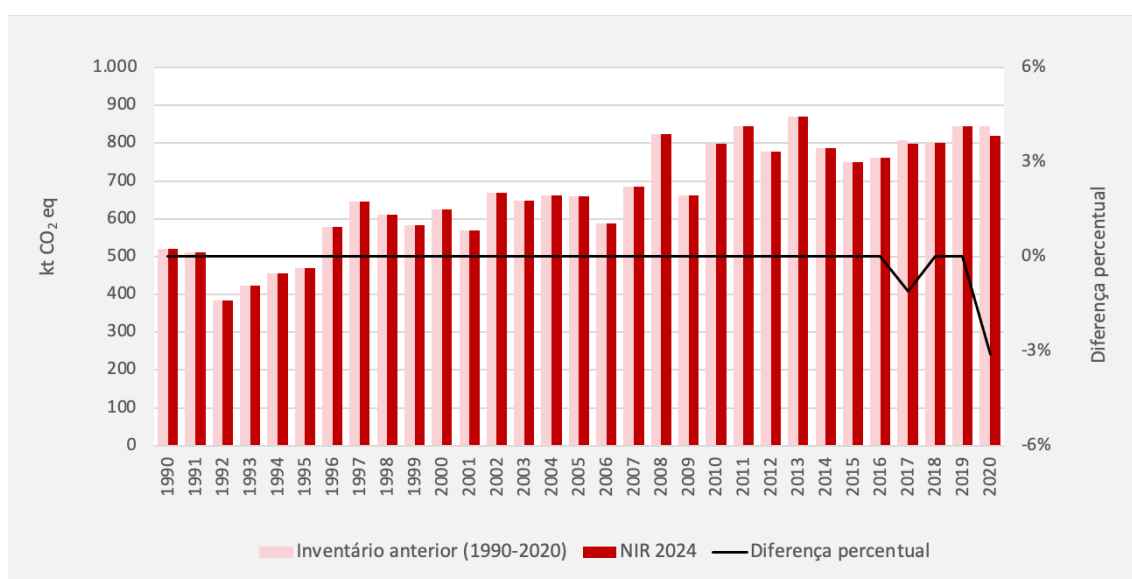


Figura 5.10. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D) entre os inventários.

5.6.4 Plano de melhoria

A experiência acumulada na elaboração periódica dos Inventários Nacionais de GEE propiciou a proposição de uma série de medidas de melhoria da consistência e maior detalhamento dos resultados do Inventário no particular do Subsetor Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D).

Quadro 5.25. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D).

Subsetor	Categoria	Melhoria
2.D. PRODUTOS NÃO ENERGÉTICOS DE COMBUSTÍVEIS E SOLVENTES	Geral	Aprofundar estudos sobre séries temporais do BEN que tratam do consumo de alcatrão e de solventes no período de 1990 a 2020.

5.7 Indústria Eletrônica (CRT 2.E)

O Subsetor Indústria Eletrônica (2.E) inclui processos avançados de fabricação de eletrônicos, tais como circuitos integrados ou semicondutores, *display* de tela plana com transistor de película fina (TFT, sigla em inglês), painéis fotovoltaicos, fluido de transferência de calor, entre outros. Esses processos utilizam compostos fluorados e, para este NIR 2024, foram identificadas e estimadas as emissões de HFC-23 (CHF₃) e CF₄.

Em razão da impossibilidade de desagregação dos dados, as emissões relacionadas às categorias Circuito Integrado ou Semicondutor (2.E.1) e *Display* de Tela Plana TFT (2.E.2) foram relatadas na categoria Outros (2.E.5). A fabricação de painéis fotovoltaicos no Brasil (emissões relatadas na categoria Painéis Fotovoltaicos – 2.E.3) ainda está em seu estágio inicial, não tendo sido possível estimar as emissões relacionadas a esse processo pela indisponibilidade de dados. No Brasil, não ocorrem emissões relacionadas à categoria Fluido de Transferência de Calor (2.E.4).

Em 2022, o subsetor emitiu 1,2 kt CO₂ eq, o que representou menos que 0,1% do total de emissão em IPPU. De 2020 a 2022, as emissões da Indústria Eletrônica (2.E) diminuíram 61%, fruto da queda do nível de atividade do subsetor no país, particularmente no se refere à indústria de semicondutores.

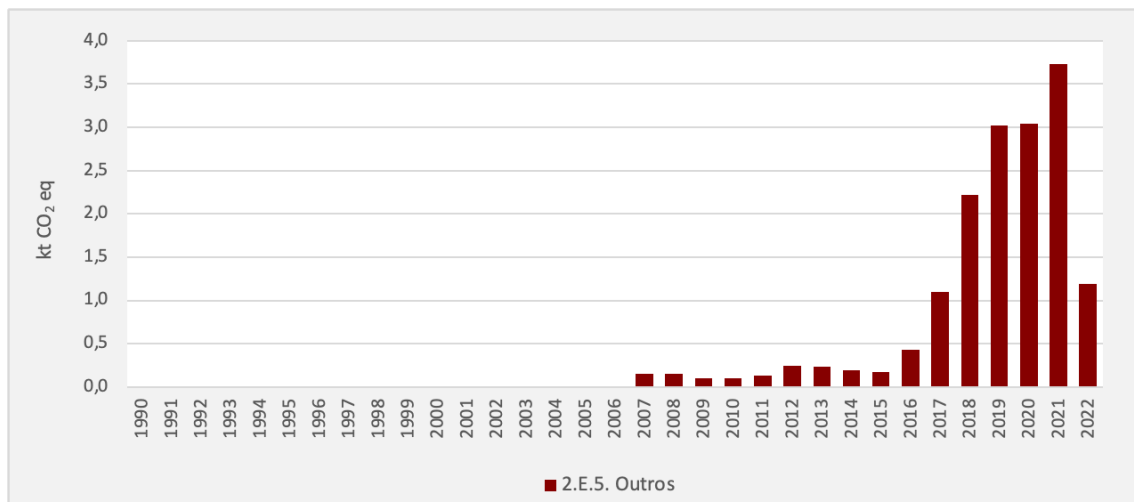


Figura 5.11. Emissões da Indústria Eletrônica (2.E), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

5.7.1 Aspectos metodológicos

A metodologia utilizada para a obtenção das estimativas de emissões nesse subsetor é a *Tier 2a* do Capítulo 6 do IPCC (2006). A emissão é obtida com os dados-padrão fornecidos pelo IPCC e a quantidade de gases CFs (compostos fluorados) utilizada para a fabricação de cada tipo de produto. As informações quanto à quantidade de CF de cada processo não podem ser obtidas. No

entanto, com base em dados retirados de outros *Tiers* do IPCC (2006), foi possível determinar quais CFs são utilizados na fabricação de cada tipo de equipamento.

Considerando-se que a indústria de semicondutores começou a operar no país apenas a partir de 2005 e que o gás HFC-23 começou a ser importado a partir de 2007, ele foi estimado com os fatores de emissão para semicondutores. Esse uso produz como subproduto uma quantidade pequena de CF₄, também contabilizada neste Inventário.

Os CFs analisados são utilizados também em outros setores para a fabricação de diversos outros equipamentos eletrônicos, e o total de cada CF importado será aplicado às Equações 5.19 e 5.20 para a obtenção das emissões.

Quadro 5.26. Equação para estimar emissões de CF (*Tier 2a*).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.19	CF	2.E	$E_i = (1 - h) \cdot FC_i \cdot (1 - U_i) \cdot (1 - a_i \cdot d_i)$	Equação 6.2 (IPCC, 2006, v.3, p. 6.10)

Em que:

E_i = emissão do gás, kg;
 FC_i = consumo total do gás i , (CF₄, C₃F₈, CHF₃, NF₃, SF₆), kg;
 h = gás remanescente no contêiner após processo (*heel*), fração;
 U_i = porcentagem do gás usado no processo (destruído ou transformado);
 a_i = fração do gás usado no processo com tecnologias de controle de emissões; e
 d_i = fração do gás destruído pela tecnologia de controle de emissões.

Quadro 5.27. Equação para estimar emissões do coproduto de CF₄.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.20	CF ₄	2.E	$BPE_{CF_4,i} = (1 - h) \cdot B_{CF_4,i} \cdot FC_i \cdot (1 - a_i \cdot d_{CF_4})$	Equação 6.3 (IPCC, 2006, v.3, p. 6.10)

Em que:

$BPE_{CF_4,i}$ = subproduto de CF₄ como emissão do gás usado, kg;
 h = gás remanescente no contêiner após processo (*heel*), fração;
 $B_{CF_4,i}$ = fator de emissão, kg de CF₄ gerado no processo, kg;
 FC_i = consumo total do gás i , (CF₄, C₃F₈, CHF₃, NF₃, SF₆), kg;
 a_i = fração do gás usado no processo com tecnologias de controle de emissões; e
 d_{CF_4} = fração de CF₄ destruído pela tecnologia de controle de emissão.

Dados de atividades e outros parâmetros

Foram obtidos dados de importação de HFC-23 em Comex Stat (MDIC, 2024) relativos ao período 2007 a 2022. Partiu-se de valores da importação da substância, que agrega diversos outros gases. Para desagregá-la, foram obtidos dados de importação de janeiro a maio de 2019 com a empresa Chemours Brasil para HFC-23 (Chemours Brasil, 2019), sendo admitido que a importação do gás corresponde a 0,015% do valor apresentado pela Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) considerada.

A Tabela 5.52 contempla os dados de atividade de HFC-23.

Tabela 5.52. Dados de atividade de HFC-23 utilizados no cálculo de emissões.

Ano	Importação	Exportação	Consumo	HFC-23 considerado
2007	213.092	545	212.547	31,9
2008	206.717	554	206.163	30,9
2009	138.137	0	138.137	20,7
2010	130.130	45	130.085	19,5
2011	176.387	0	176.387	26,5
2012	334.316	19	334.297	50,1
2013	325.356	234	325.122	48,8
2014	261.703	81	261.622	39,2
2015	228.833	360	228.473	34,3
2016	592.908	36	592.872	88,9
2017	1.504.421	185	1.504.236	225,6
2018	3.036.255	10.613	3.025.642	453,8
2019	4.150.382	23.979	4.126.403	619,0
2020	4.182.123	23.135	4.158.988	623,8
2021	5.102.284	7.364	5.094.920	764,2
2022	1.632.182	796	1.631.386	244,7

Fonte: Elaborado a partir de Comex Stat (MDIC, 2024). Unidade: kg.

O fator de emissão padrão do IPCC (2006) para o “heel” ou fração do gás comprado restante no contêiner de remessa após o uso (h) é de 10% (0,1). Foi adotado que, de acordo com o IPCC, os valores-padrão para a eficiência de destruição de CFs devem ser considerados iguais a 0 (zero) quando não está presente nos processos realizados. Como a pesquisa não revelou o uso dessas tecnologias, ele foi admitido dessa forma.

Tabela 5.53. Fatores de emissão aplicados às Equações 5.19 e 5.20.

Descrição	Parâmetro	Valor	Referência
Heel (gás remanescente no contêiner)	h	0,1	IPCC (2006)
Uso de CHF ₃	1-U _{iCHF3}	0,4	
Eficiência de destruição	a _i •d _{CF4}	0	

Subproduto CF ₄ ao usar CHF ₃ no processo	B _{CF₄/CHF₃}	0,07	

5.7.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Indústria Eletrônica (2.E) são citados na Seção 2.5 deste documento.

5.7.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de PFCs e HFCs da Indústria Eletrônica (2.E) é apresentada no Apêndice II.

Relativamente a Brasil (2022), não se fez necessária a revisão dos dados de atividade do subsetor. Logo, o ajuste médio nas emissões agregadas foi nulo, assim mostrando a consistência da série temporal do subsetor.

5.7.4 Plano de melhoria

A experiência acumulada na elaboração periódica dos Inventários Nacionais de GEE propiciou a proposição de uma série de medidas de melhoria da consistência e maior detalhamento dos resultados do Inventário no particular do Subsetor Indústria Eletrônica (2.E).

Quadro 5.28. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Indústria Eletrônica (2.E).

Subsetor	Categoria	Melhoria
2.E. INDÚSTRIA ELETRÔNICA	2.E.3. Painéis Fotovoltaicos	Estabelecer parcerias com empresas relevantes e a associações setoriais, visando facilitar o acesso a dados para contabilização das emissões relacionadas à produção painéis solares.
	2.E.5. Outros	Avaliar estudos e bases de dados nacionais para identificação de estimativas de importação de HFC-23.

5.8 Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (CRT 2.F)

Os HFCs e os PFCs substituem as substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDO), controladas pelo Protocolo de Montreal. São diversas as áreas de aplicação dessas substâncias, tais como refrigeração e ar-condicionado, combate a incêndios, propulsores de aerossol e espumas. Algumas categorias em que esses usos são agrupados envolvem o armazenamento de substâncias e sua liberação gradual ao longo dos anos, em razão de vazamentos.

Para este Inventário, as emissões foram estimadas para as categorias de Refrigeração e Ar-Condicionado (2.F.1), Agentes de Espuma (2.F.2), Proteção contra Incêndio (2.F.3) e Aerossóis (2.F.4). As emissões relacionadas a Solventes (2.F.5), embora possam existir, mesmo que em pequenas quantidades, não foram estimadas, já que os usos nessa categoria são muito específicos em certas empresas de montagens eletrônicas e de mecânica de precisão. Neste subsetor em particular, as emissões não podem ser obtidas diretamente, visto que não existe obrigação de relato por parte das empresas, o que resultou no uso de modelos de apoio e informações agrupadas de importação dessas substâncias.

O Subsetor Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F) emitiu 8.891 kt CO₂ eq em 2022, contribuindo com 9% das emissões em IPPU. Relativamente a 2020, as emissões do subsetor cresceram 13%, o que pode ser explicado pelo aumento da proporção do transporte individual motorizado em detrimento da redução do uso do transporte coletivo, conforme explicitado na Seção 3.1.

Na Figura 5.12, observa-se que a categoria Refrigeração e Ar-Condicionado (2.F.1) representou quase a totalidade das emissões do subsetor, com uma contribuição de 99% em 2022.

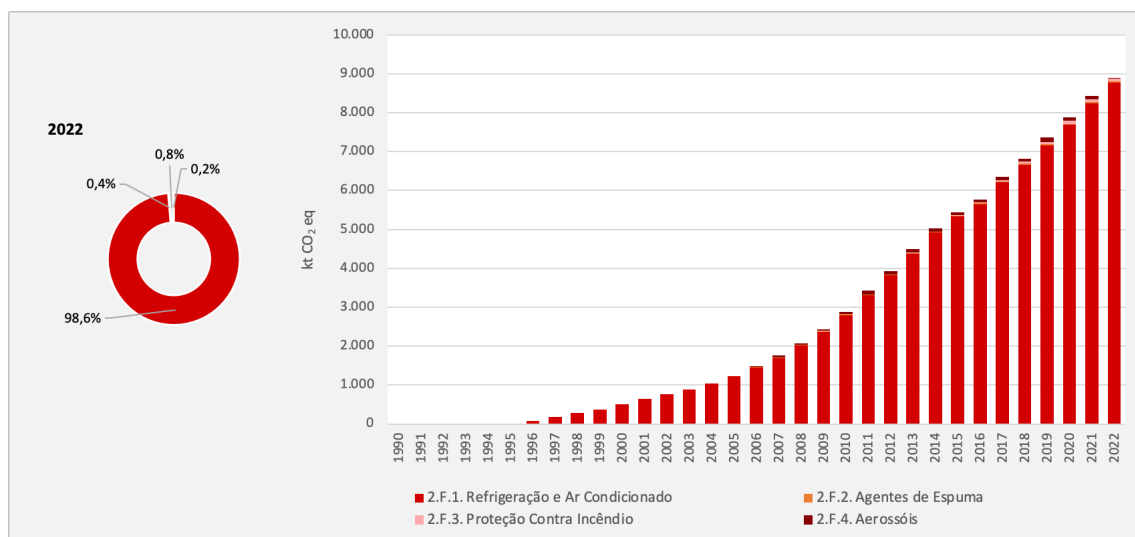


Figura 5.12. Emissões de Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F), em kt CO₂ eq, por categoria, de 1990 a 2022.

5.8.1 Aspectos metodológicos

5.8.1.1 Refrigeração e Ar-Condicionado

Em refrigeração e condicionamento de ar, HFCs são utilizados como alternativas aos fluidos refrigerantes CFCs e HCFCs, cujos consumos foram e estão sendo eliminados, conforme decisões do Protocolo de Montreal. As aplicações de refrigeração, condicionamento de ar e de bomba de calor, constituem o setor com o maior consumo de substâncias usadas como refrigerantes (UNEP, 2017).

Para as diversas aplicações de refrigeração e ar-condicionado foi utilizada a metodologia *Tier 2a* do Capítulo 7 do IPCC (2006). Esta metodologia foi utilizada pela disponibilidade dos dados de atividades necessários e por fornecer estimativas mais precisas das emissões. O método fundamenta-se no cálculo de emissões na montagem, operação e disposição final dos equipamentos, e segue a Equação 5.21. Dependendo do equipamento, ou aplicação considerada, podem ocorrer emissões nessas três fases ou apenas em algumas delas.

Quadro 5.29. Equação para estimar emissões do coproduto de CF₄.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.21	HFCs	2.F.1	$\text{Emissões}_{\text{totais}} = \text{Emissões}_{\text{montagem}} + \text{Emissões}_{\text{operacao}} + \text{Emissões}_{\text{disposicao}}$	Equação 10 (IPCC, 2006, v. 3, p. 7.49)

Em que:

Emissões na Montagem = incluem as emissões associadas com fabricação de produto, mesmo que os produtos sejam eventualmente exportados;

Emissões na Operação = incluem vazamentos anuais das substâncias químicas e as emissões referentes à manutenção, que ocorrem no conjunto dos equipamentos em uso. Esse cálculo deve incluir todas as unidades no país, independentemente de onde elas foram fabricadas; e

Emissões na Disposição = incluem as substâncias químicas liberadas de sistemas sucateados ou em disposição final. Analogamente às emissões na operação, devem incluir todos os equipamentos no país onde eles foram sucateados, independentemente de onde eles foram fabricados. Neste Inventário, ainda não foram consideradas as emissões na disposição final dos aparelhos de refrigeração e ar-condicionado, visto se considerar que ainda estão dentro da sua vida útil, desde que se iniciou a produção com HFCs. No entanto, para o Setor Automotivo, o descarte foi considerado, conforme explicitado mais adiante.

O início da produção de unidades com HFC-134^a foi em 1997, considerando a variação de consumo de CFC-12 entre 1996 e 2000. Adotou-se a hipótese de que a diminuição da fabricação de refrigeradores domésticos com refrigerante CFC-12 seria proporcional à diminuição do consumo de CFC-12. Considerou-se também que o início da produção de produtos com HFC-134a foi em 1997, analisando a variação de consumo de CFC-12 entre 1996 e 2000, e que essa diminuição seria igual para os demais produtos de refrigeração. Os valores obtidos com esse método são apresentados na Tabela 5.54.

Tabela 5.54. Percentuais considerados de HFCs na produção de equipamentos, na fase de substituição dos CFCs, 1990 a 2022.

	Produtos com CFCs	Produtos com HFCs

Ano	%	
1996	100%	0%
1997	69,7%	30,3%
1998	54,8%	45,2%
1999	60,5%	39,5%
2000	0,3%	99,7%
2001-2022	0%	100%

Fonte: Elaborado a partir Brasil (2021d).

Dados de atividades e outros parâmetros

Para os refrigeradores domésticos foram obtidas informações de produção em IBGE (2024b) e de importação e exportação em COMEX STAT (MDIC, 2024), listadas na Tabela A.V.8 do Apêndice V. A partir de 2010, o isobutano (HC-600a) começou a ingressar como um substituto ao HFC-134a no mercado. O HC-600a é utilizado em metade de todos os refrigeradores domésticos produzidos nacionalmente.

A proporção de uso de HFC-134a e HC-600a foi obtida a partir de informações fornecidas por especialistas da área, sendo adotadas as taxas constantes na Tabela 5.55. Ademais, considerou-se que os refrigerantes utilizados são HFC-134a e HC-600a, com uma carga de 100g por unidade (Eletros, 2024).

Tabela 5.55. Proporção de HFC-134a ou HC-600a na fabricação de refrigeradores domésticos.

Ano	HFC-134a	HC-600
2010	95%	5%
2011	95%	5%
2012	90%	10%
2013	90%	10%
2014	90%	10%
2015	90%	10%
2016	60%	40%
2017-2020	60%	40%

Fonte: Elaborado a partir Eletros (2024).

Para congeladores comerciais, também foram obtidos dados de atividade em MDIC (2024) e IBGE (2024b) – Tabela A.V.9 do Apêndice V.

Os refrigerantes usados para a produção desses equipamentos são o HFC-134a e o R-404A. Para o período de 1990 a 2010, foi mantida a proporção de 90% HFC-134a e 10% R-404A. A partir de 2011 foram obtidas informações de especialistas da área (Brasil, 2021d), motivo pelo qual foram adotados os valores médios de 70% de HFC-134a e de 30% de R-404A. A carga média de fluido refrigerante para esses equipamentos foi considerada igual a 150g.

Também foram adotados dados de atividade para vitrinas, câmaras frigoríficas e unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros de IBGE (2024b) e MDIC (2024), listados na Tabela A.V.10 e na Tabela A.V.11 (Apêndice V).

Para vitrinas e câmaras frigoríficas considerou que foram produzidas HFC-134a e carga média de refrigerante de 360g, e no caso das de unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros, foram consideradas todas produzidas com HFC-134a e com uma carga média de 50g por unidade.

Os dados de produção e vendas de ar-condicionado *split* foram obtidos em Eletros (2024) – Tabela A.V.12 (Apêndice V). Os equipamentos compactos de ar-condicionado são em sua grande maioria ainda produzidos com o refrigerante HCFC-22. No entanto, a partir de 2010 alguns aparelhos tipo *Split* começaram a usar o fluido refrigerante R-410A como substituto. Segundo Eletros (2024), em 2016, as unidades produzidas com R-410A atingiram 20%, sendo adotada a hipótese de que a evolução do uso de R-410A entre 2010 e 2022 teve manutenção desse comportamento linear.

Tabela 5.56. Proporção de ar-condicionado *Split* produzida com R-410A.

Ano	Porcentagem produzida com R-410
2010	0%
2011	4%
2012	7%
2013	10%
2014	13%
2015	17%
2016-2022	20%

Fonte: Elaborado a partir MITSIDI (2018).

As emissões para a montagem foram calculadas com os dados de produção obtidos por meio de contato na Superintendência da Zona Franca de Manaus (Suframa), enquanto os dados para as emissões em razão do uso e manuseio de 2011 até 2016 foram retirados da MITSIDI (2018) e Eletros (2024). O ano de 2010 foi descartado dos cálculos de emissões, de acordo com a premissa assumida de que não foram produzidas unidades de ar-condicionado *Split* com R-410A naquele ano. Foi assumida uma carga de 1kg por unidade para ar-condicionado *Split*.

Os dados de atividades para os equipamentos de ar-condicionado central (VRF) (Tabela A.V.13, Apêndice V) foram estimados a partir de informações obtidas na Abrava (2022), que são fornecidas em capacidade de refrigeração, em TR,⁴⁶ do total de máquinas comercializada. O fluido refrigerante HFC utilizado foi o mesmo que para ar-condicionado *Split* (R- 410A) com uma progressão linear de 0% a 20% até 2016, patamar mantido constante até 2022.

Os *chillers* são basicamente resfriadores de água. A água gelada produzida por eles é utilizada com o objetivo de arrefecer o ar, produtos ou equipamentos, conforme necessidade. Para *chillers*, os dados de atividade para calcular emissões também foram estimados com base em informações obtidas em Abrava (2022) – Tabela A.V.14 (Apêndice V), usando o mesmo procedimento adotado para equipamentos VRF. Foi considerado que 30% desses equipamentos foram produzidos com HFC-134a, a partir do momento em que os CFCs deixaram de ser usados, o que ocorreu a partir de 1997. Foi adotada a informação de Brasil (2015b), considerando a estimativa da carga de refrigerante como 0,34 kg HFC-134a/kW resfriamento (LITTLE, 1999).

Para estimar a quantidade de veículos (automóveis e comerciais leves), ônibus e caminhões, devido à limitação da curva de sucateamento de veículos utilizada em Brasil (2015b; 2021d) restrita a 20 anos, optou-se pela extrapolação de 2017 a 2022 com base na tendência de emissões do período de 2012 a 2016. Em complemento àqueles dados, foi feita uma regressão linear para a

⁴⁶ Tonelada de refrigeração, 1 TR ~ 3,51 kW.

estimativa da quantidade de veículos fabricados com ar-condicionado (Figura A.V.2, Apêndice V).

Segundo Brasil (2015b), todos os sistemas de ar-condicionado veicular foram fabricados, a partir de 1996, utilizando o fluido refrigerante HFC-134a, em substituição ao CFC-12. A carga média de refrigerante HFC-134a, para ar-condicionado veicular de automóveis e veículos comerciais leves, foi estimada como igual a 760g. Esse valor, diferente do adotado em Brasil (2015b), foi obtido a partir de pesquisas a respeito da quantidade de carga inicial em cada tipo de veículo e da quantidade de cada classe de veículo que ingressa no mercado (Tabela 5.57).

Tabela 5.57. Entrada por tipos de veículos no mercado nacional, 2008 a 2016.

Ano	Distribuição das vendas de veículos				
	Hatch pequeno	SUV	Sedan pequeno	Picape grande	Outros
2008	44,61%	5,53%	15,27%	3,59%	31,00%
2010	43,33%	6,27%	17,61%	3,92%	28,87%
2012	44,11%	7,51%	16,15%	4,54%	27,69%
2014	41,75%	8,98%	17,50%	5,14%	26,63%
2016	40,12%	15,20%	16,22%	7,87%	20,59%

Fonte: Elaborado a partir de Infomoney (2024).

Para ônibus, também foi considerado que o HFC-134a foi usado em 100% da produção de ônibus a partir de 1996. Em linha com Brasil (2015b; 2021d), estabeleceu-se do total de ônibus, que 40% são para transporte rodoviário e 60% para uso urbano. Foi considerado também que todos os ônibus rodoviários possuem ar-condicionado, no entanto apenas 3% da frota total dos ônibus urbanos foram considerados como possuidores desse equipamento. A carga média de fluido refrigerante para sistemas de ar-condicionado em ônibus foi considerada 5kg por unidade e o fluido refrigerante utilizado foi considerado HFC-134a para todas as unidades.

Para o transporte rodoviário com caminhões, alinhado a Brasil (2021d), adotou-se que 1,63% do total de caminhões utiliza transporte refrigerado com câmaras ou baús frigorificados. Entre eles, 80% utilizam o refrigerante HFC-134a, com uma carga de 4,5kg; e os restantes 20% utilizam o fluido R-404A, com uma carga de 6kg. A substituição por esses fluidos ocorre com a diminuição da produção de sistemas com CFCs estabelecidos da mesma maneira que com ar-condicionado veicular, ou seja, 0% em 1995 e 100% em 1996.

Finalmente, no que trata do uso de ar-condicionado em caminhões, não foram identificadas informações disponíveis sobre a fração de caminhões que contém sistema de ar-condicionado, assim como a variação temporal dessa fração ao longo do período de análise. Diante disso, inicialmente foi pesquisada a quantidade de caminhões colocados à venda por ano de fabricação e a porcentagem deles que possuía um sistema de ar-condicionado para refrigeração da cabine (Tabela 5.58) (Brasil, 2021d).

Tabela 5.58. Porcentagens obtidas para a quantidade de caminhões produzidos com sistema de ar-condicionado.

Ano	Porcentagem (%)
1995	2
1996	1,95
1997	2,75
1998	3,3
1999	2,2
2000	1,7
2001	1,45
2002	3,1
2003	2,6
2004	4,2
2005	4,1
2006	3,2
2007	3,8
2008	9,2
2009	7,25
2010	11,6
2011	15,4
2012	18,7
2013	23
2014	22,5
2015	32
2016-2022	27

Do ano de 2007 em diante, notou-se um aumento na porcentagem de unidades de caminhões com o sistema de ar-condicionado e pôde-se perceber desse ponto em diante uma difusão maior desses sistemas nesse tipo de veículo. Foi adotada uma segunda progressão linear para esses anos, chegando a 30% em 2016. Ou seja, para os dois períodos, optou-se por considerar dois segmentos lineares; o primeiro sendo de 1995 a 2007 (variação de 2% a 4%), e o segundo de 2007 (variação de 4% a 30%). Os percentuais utilizados de caminhões com ar-condicionado obtidos por progressão linear constam na Tabela 5.59. A carga média de refrigerante HFC-134a nos sistemas de ar-condicionado de caminhões foi adotada igual a 1,2kg por unidade (HABEDA, 2017).

Tabela 5.59. Percentuais utilizados para a quantidade de caminhões produzidos com sistema de ar-condicionado.

Ano	Porcentagem (%)
1995	2
1996	2,1
1997	2,2
1998	2,3
1999	2,4
2000	2,6
2001	2,8
2002	3
2003	3,2
2004	3,4

Ano	Porcentagem (%)
2005	3,6
2006	3,8
2007	4
2008	7
2009	10
2010	13
2011	16
2012	19
2013	21
2014	24
2015	27
2016-2022	30

Por fim, tem-se na Tabela 5.60 os fatores de emissão adotados para estimar emissões para fabricação e uso por tipo de equipamento de refrigeração e ar-condicionado (2.F.1).

Tabela 5.60. Fatores de emissão para fabricação e manuseio (uso) para Refrigeração e Ar-Condicionado (2.F.1).

Descrição do equipamento	Valor para emissões na montagem	Valor para emissões no manuseio (uso)	Observações
Refrigeração doméstica	0,6%	0,5%	Equação 7.4] IPCC (2006, v. 3, p. 7.17)
Refrigeração comercial/industrial	1,75%	10%	
Automóveis/veículos comerciais leves	0,5%	15%	
Ônibus	0,5%	30%	
Caminhões com ar-condicionado	0,5%	15%	
Caminhões frigoríficos	0,5%	30%	
Chillers/Ar-condicionado central	1%	10%	
Bebedouros	0,6%	10%	
Ar-condicionado Split	0,5%	5%	

5.8.1.2 Agentes de Espuma

Para espumas de célula fechada, somente cerca de 10% do agente expensor é liberado durante o processo de espumação, enquanto a substância química restante fica contida no isolamento. Essa quantidade que permanece na espuma é liberada lentamente ao longo dos 20 a 25 anos de tempo de vida da espuma.

As emissões foram calculadas segundo a Equação 5.22. Admitiu-se que a espuma foi fabricada no meio do ano t e, dessa forma, a parcela das emissões referente à liberação do HFC contido na espuma ocorrerá ao longo do meio ano restante para finalizar o ano em análise. Para o primeiro ano, adotou-se uma taxa de 50% de vazamento.

Quadro 5.30. Equação para estimar emissões do coproduto de CF_4 .

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 5.22	HFCs	2.F.2	$\text{Emissões}_t = 10\% \text{ Quantidade HFC}_t + 4,5\% \text{ Quantidade HFC}_{(t \text{ e } t-20)}$	Brasil (2021d).

Em que:

Emissões de HFCs no ano t = 10% da quantidade total de HFC usado na fabricação de espuma isolante no ano em t + 4,5% da quantidade de HFC originalmente utilizada na espuma fabricada entre o ano t e $t-20$.

Dados de atividades e outros parâmetros

Nas pesquisas e contatos com empresas e associações do setor realizadas em Brasil (2015b) foi encontrado um uso de 50 t HFC-134a/ano, de 2006 a 2011, na produção de espumas rígidas. Novos contatos foram feitos em Brasil (2021d), com vistas à elaboração do Inventário para o período de 1990 e 2016, constatando que esse HFC-134a deixou de ser usado nessas aplicações a partir de 2012. Assim sendo, suas emissões foram consideradas nulas nos anos seguintes.

Para a mistura HFC-365mfc/HFC-227ea foram obtidos dados de importação e exportação dessa substância para os anos de 2017 e 2018 (Brasil, 2021d). Diante disso, foi estimado um valor médio (Tabela 5.61) o qual foi aplicado para o período de 2007 a 2022, presumindo que a porcentagem média se manteve constante nesses anos para esse agente expensor, conforme demonstrado na Tabela 5.62. A proporção das substâncias presentes nessa mistura HFC é de 93% de HFC-365mfc e de 7% de HFC-227ea. Os cálculos utilizados são os mesmos que para o HFC-134a.

Tabela 5.61. Porcentagem de HFC-365mfc/227ea no Brasil em 2017 e 2018.

Ano	Importação (kg)	Exportação (kg)	Total do NCM (kg)	Total de HFC-365/227 (kg)	Porcentagem	Média
2017	3.508.948	42.673	3.466.275	19.200	0,55%	0,84%
2018	3.429.124	18.086	3.411.038	38.400	1,12%	

Fonte: Elaborado a partir de Brasil (2021d).

Tabela 5.62. Quantidades de HFC-365mfc/227ea no NCM, 2007 a 2022.

Ano	Total do NCM (kg)	Quantidade HFC-365mfc/227ea (kg)
2007	143.540	1.206
2008	83.997	706
2009	174.329	1.464
2010	211.809	1.779
2011	516.159	4.336

Ano	Total do NCM (kg)	Quantidade HFC-365mfc/227ea (kg)
2012	943.918	7.929
2013	2.267.534	19.047
2014	2.463.626	20.694
2015	2.706.544	22.735
2016	2.849.597	23.937
2017	3.466.275	29.117
2018	3.411.038	28.653
2019	3.535.783	29.701
2020	3.761.239	31.594
2021	3.986.694	33.488
2022	4.212.150	35.382

Fonte: Elaborado a partir de Brasil (2021d); MDIC (2024).

5.8.1.3 Proteção contra Incêndio

O HFC-227ea é usado em sistemas de extinção de incêndio no qual se faz presente uma quantidade grande de equipamentos eletrônicos e/ou de tecnologia em geral. Nesses locais os sistemas de supressão por gás HFC-227ea compõem-se da instalação de cilindros de HFC-227ea, que serão conectados às redes de distribuição com a função de conduzir o gás até os locais de descarga. A substância é descarregada nas áreas em emergência através de difusores especiais instalados estrategicamente nas áreas protegidas.

As emissões foram calculadas com o valor padrão do IPCC (2006) para esses sistemas, nos quais 4% dessa substância é vazada ao ano, portanto a quantidade não emitida como vazamento é somada à quantidade que ingressa no mercado no ano seguinte para fazer parte do cálculo de emissões desse ano.

Dados de atividades e outros parâmetros

Foram obtidos dados para a importação de HFC-227ea para os anos de 2017 e 2018. Com os dados totais de importação para o produto que contém essa substância, foi extraída e utilizada uma média para os demais anos considerados, conforme Tabela 5.63.

Tabela 5.63. Porcentagem de HFC-227ea no Brasil em 2017 e 2018.

Ano	Importação (kg)	Exportação (kg)	Total do produto (kg)	Total de HFC- 227ea (kg)	Porcentagem	Média
2017	1.503.885	185	1.503.700	119.358	8%	5,40%
2018	3.036.255	10.614	3.025.641	84.365	2,80%	

Fonte: Elaborado a partir de Brasil (2021d).

Assim como adotado para espumas, foi estimado um valor médio que foi aplicado para o período de 2007 a 2022, presumindo que a porcentagem média se manteve constante nesses anos para esse agente expansor, conforme demonstrado na Tabela 5.64.

Tabela 5.64. Quantidades de HFC-227ea no produto, 2007 a 2022.

Ano	Total do produto (kg)	Quantidade HFC-227ea (kg)
2007	212.547	11.478
2008	206.163	11.133
2009	138.137	7.459
2010	130.085	7.025
2011	176.387	9.525
2012	334.297	18.052
2013	325.122	17.557
2014	261.622	14.128
2015	228.473	12.338
2016	592.872	32.015
2017	1.503.700	81.200
2018	3.036.119	163.950
2019	3.171.844	171.280
2020	3.854.274	208.131
2021	4.536.705	244.982
2022	5.219.135	281.833

Fonte: Elaborado a partir de Brasil (2021d); MDIC (2024).

Destaca-se que o aumento verificado a partir de 2017 foi demonstrado nas importações, que praticamente dobraram relativamente a 2016, mantendo esse padrão anual de crescimento em virtude do procedimento de extrapolação adotado para 2019 a 2022.

5.8.1.4 Aerossóis

As emissões de aerossóis normalmente ocorrem pouco depois da produção, em média seis meses depois de venda. No entanto, o período entre fabricação e venda pode variar significativamente dependendo da aplicação envolvida. Durante o uso de aerossóis, 100% da substância química são emitidos.

Dados de atividades e outros parâmetros

Parte-se da manutenção da fração de importação de HFC-134a destinada ao uso em MDI reportada para 2006 a 2016, conforme Brasil (2021d). Optou-se por manter a fração verificada em 2016 para o período de 2017-2022, que, aplicando novos dados de importação (MDIC, 2024), permitem estimar no consumo em MDI (kg), conforme Tabela 5.65.

Tabela 5.65. Importação, fração e total, de HFC-134a usada em MDIs.

Ano	Fração da Importação de HFC-134a destinada ao uso em MDI	Importação de HFC-134a	Uso em MDI
	%	kg	kg
2006	0,64	3.833.893	24.537
2007	0,64	6.023.421	38.550
2008	0,70	3.665.547	25.659
2009	0,65	5.194.744	33.766

Ano	Fração da Importação de HFC-134a destinada ao uso em MDI	Importação de HFC-134a	Uso em MDI
	%	kg	kg
2010	0,58	7.072.471	41.020
2011	1,11	6.756.598	74.998
2012	0,71	7.691.229	54.608
2013	0,74	9.056.364	67.017
2014	0,72	8.658.494	62.341
2015	0,72	8.479.463	61.052
2016	0,72	7.895.366	56.847
2017	0,72	9.339.421	67.244
2018	0,72	8.634.831	62.171
2019	0,72	12.390.438	89.211
2020	0,72	9.679.016	69.689
2021	0,72	10.258.874	73.864
2022	0,72	2.058.800	14.823

Fonte: Elaborado a partir de Brasil (2021d); MDIC (2024).

5.8.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F) são citados na Seção 2.5 desse documento.

5.8.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de HFCs para Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F) é apresentada no Apêndice II.

O processo de atualização do Inventário Nacional considerou a revisão das séries históricas de dados de atividade diante da publicação de documentos atualizados que abrangeram, sobretudo, a exportação e importação de HFCs de produtos do Subsetor 2.F. Em síntese, os principais ajustes decorrem de:

- *Refrigeração e ar-condicionado (2017-2020)*: revisão da produção de refrigeradores e diferentes tipologias de ar-condicionado;
- *Agentes de espuma (2019-2020)*: revisão da importação e exportação de HFC-365mfc e HFC-227ea;
- *Proteção contra incêndio (2019-2020)*: revisão da importação e exportação de HFC-227ea; e
- *Aerossóis (2018-2019)*: revisão da importação e exportação de HFC-134ea destinada ao uso em MDI.

Considerando os resultados consolidados no Inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, a maior proporção dos ajustes é verificada em 2020, com 1,3% de diferença entre emissões estimadas. Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de apenas 0,6%, e no período de 1990 a 2020, de 0,08%, assim demonstrando a consistência da série temporal do subsetor (Figura 5.13).

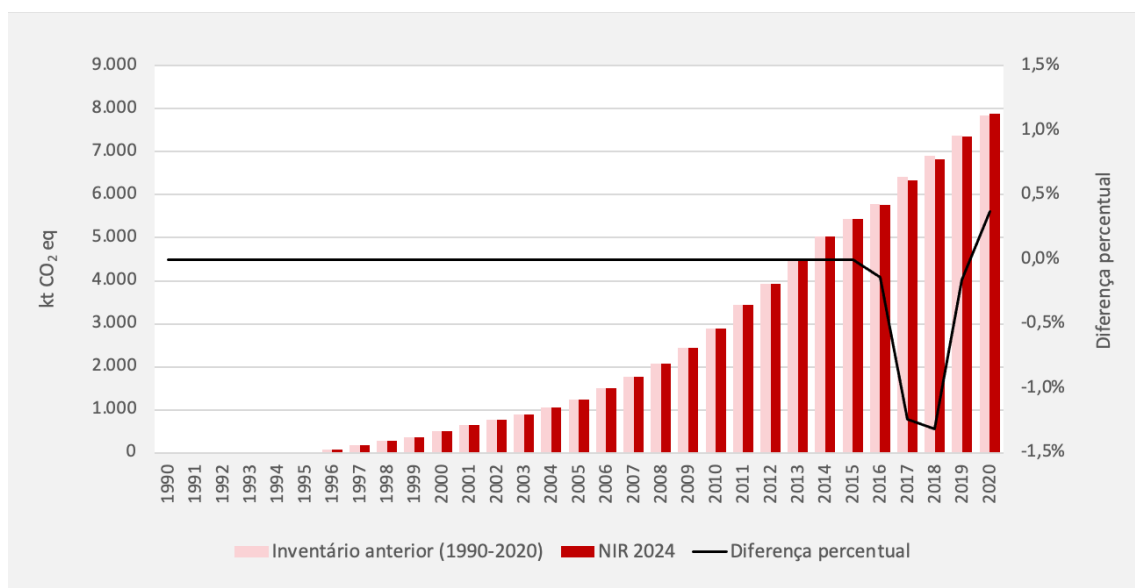


Figura 5.13. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F) entre os inventários.

5.8.4 Plano de melhoria

Diante das limitações enfrentadas na elaboração do Inventário de Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F), são propostas ações visando ao aprimoramento dos resultados (Quadro 5.31).

Quadro 5.31. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F).

Subsetor	Categoria	Melhoria
2.F. USOS DE PRODUTOS COMO SUBSTITUTOS PARA SUBSTÂNCIAS DESTRUIDORAS DA CAMADA DE OZÔNIO	2.F.1. Refrigeração e Ar-Condicionado	▪ Coletar estudos visando à avaliação da possibilidade de atualizar a curva de sucateamento de veículos adotada para estimar as emissões na categoria.
	2.F.2. Agentes de Espuma	▪ Avaliar estudos e bases de dados contemplando exportações e importações de HFC-365mfc e HFC-227ea.
	2.F.3. Proteção Contra Incêndio	▪ Avaliar estudos e bases de dados que contenham exportações e importações de HFC-227ea.
	2.F.4. Aerossóis	▪ Avaliar metodologias de obtenção da fração de importação de HFC-134ea destinada ao uso em MDI.
	2.F.5. Solventes	▪ Avaliar metodologias que tratem da desagregação de importações de HFCs e PFCs por tipologia de solvente.

5.9 Fabricação e Uso de Outros Produtos (CRT 2.G)

O Subsetor Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G) inclui emissões do uso de SF₆, PFC e N₂O em aplicações baseadas nas diferentes propriedades físicas dessas substâncias, tais como a alta constante dielétrica do SF₆, a estabilidade dos PFCs e os efeitos anestésicos de N₂O. Para este Inventário, foram estimadas apenas as emissões de SF₆ pelo seu uso em equipamentos de energia elétrica, referentes à categoria Equipamentos Elétricos (2.G.1).

Não ocorrem emissões nacionais de SF₆ e PFCs em Uso de Outros Produtos (2.G.2) e Outros (2.G.4), e a categoria N₂O dos Usos de Produtos (2.G.3), que trata de produtos anestésicos, não foi estimada em razão da ausência de dados e necessidade de uma avaliação mais aprofundada dos dados recentemente sistematizados em Comex Stat (MDIC, 2024).

Em 2022, as emissões do Subsetor Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G) foram estimadas em 343 kt CO₂ eq e representaram somente 0,3% das emissões totais em IPPU. Com relação a 2022, essas emissões aumentaram 5%, sendo a variação integralmente relacionada à Categoria Equipamentos Elétricos (2.G.1).

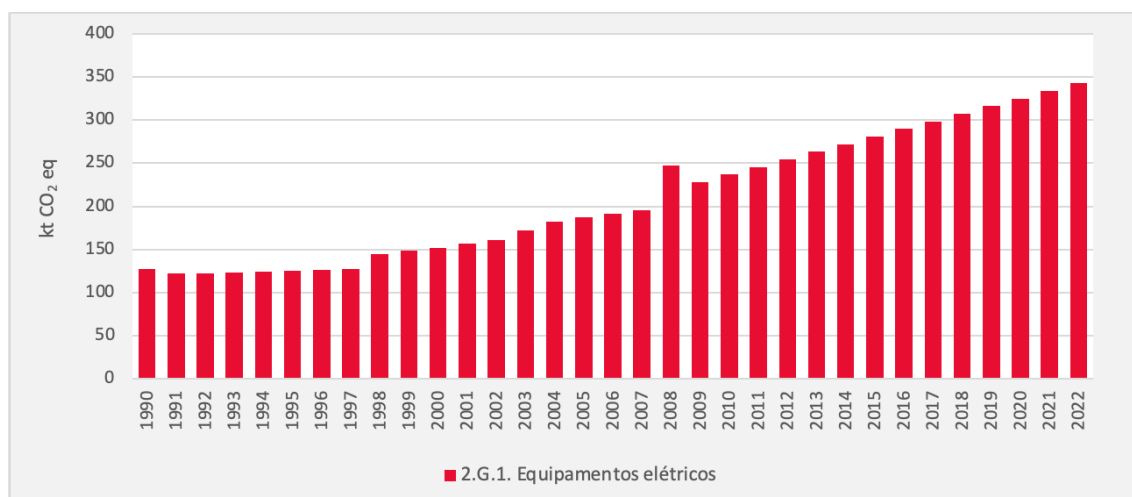


Figura 5.14. Emissões de SF₆ na Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G), em kt CO₂ eq, de 1990 a 2022.

5.9.1 Aspectos metodológicos

As estimativas para as emissões de SF₆ envolvendo o seu uso em equipamentos de energia elétrica, apresentadas em Brasil (2010) e Brasil (2015b), foram obtidas por meio de pesquisa com as empresas de geração, transmissão e distribuição, referente ao parque instalado de equipamentos utilizando SF₆ até 2008, em termos de sua carga nominal.

A metodologia utilizada para a estimativa de SF₆ é a *Tier 1*, do Capítulo 8 do IPCC (2006), que apresenta a Equação 5.23. De acordo com a Tabela 8.3 (IPCC, 2006, p. 8.16), foi adotada a taxa de vazamento de 2,6%. As emissões na fabricação foram ignoradas, já que esses equipamentos não são produzidos no Brasil, assim como as emissões de destruição, pois o tempo de vida útil desse é acima de 35 anos, portanto não entra nos dados obtidos e computados.

Quadro 5.32. Equação para estimar emissões do coproduto de CF₄.

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência

Equação 5.23	HFCs	2.G.1	$\text{Emissões}_{\text{totais}} = \text{Emissões}_{\text{fabricação}} + \text{Emissões}_{\text{instalação}} + \text{Emissões}_{\text{uso}} + \text{Emissões}_{\text{destruição}}$	Equação 8.1 (IPCC, 2006, v.3, p. 8.8)

Em que:

Emissões de fabricação = Fator de emissão de fabricação - consumo total de SF₆ por equipamentos fabricados;

Emissões de instalação = Fator de emissão de instalação - capacidade total instalada nominal de novos equipamentos local (não na fábrica);

Emissões de uso do equipamento = Fator de emissão de uso - capacidade total nominal do equipamento instalado. O "fator de emissão de uso" inclui emissões devido a vazamentos, serviços e manutenção, bem como falhas; e

Emissões de destruição de equipamentos = Capacidade total da placa de identificação do equipamento deplecionado - fração de SF₆ restante ao fim da vida útil.

Dados de atividades e outros parâmetros

Foi estimada a capacidade instalada de SF₆ de equipamentos elétricos de 1990 a 2008. Na ausência de novos dados para o período de 2009 a 2022, procedeu-se com a extrapolação linear considerando uma série de 10 anos de dados, conforme parâmetros listados na Figura A.V.3 do Apêndice V.

A Tabela 5.66 apresenta a capacidade instalada de SF₆ na indústria elétrica considerada para estimar as emissões da categoria 2.G.1.

Tabela 5.66. Capacidade instalada de SF₆, 1990 a 2022.

Ano	Capacidade instalada
1990	208.846
1991	199.627
1992	200.760
1993	202.415
1994	204.155
1995	205.467
1996	207.053
1997	208.844
1998	236.637
1999	243.837
2000	248.310
2001	255.931
2002	264.081
2003	281.954
2004	297.807
2005	306.316
2006	313.736
2007	320.629
2008	404.237
2009	373.063
2010	387.496

Ano	Capacidade instalada
2011	401.929
2012	416.362
2013	430.795
2014	445.228
2015	459.661
2016	474.094
2017	488.527
2018	502.960
2019	517.393
2020	531.826
2021	546.259
2022	560.692

Fonte: Elaborado a partir MCT (2009). Unidade: kg.

5.9.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Outros (2.G) são citados na Seção 2.5 deste documento.

5.9.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de SF₆ da Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G) é apresentada no Apêndice II.

Dada a extrapolação para a capacidade instalada de SF₆ a partir de 2009, não se fez necessária a revisão da série histórica de emissões. Consequentemente, não foram identificadas variações em sua série temporal, conforme pode ser verificado na Figura 5.15.

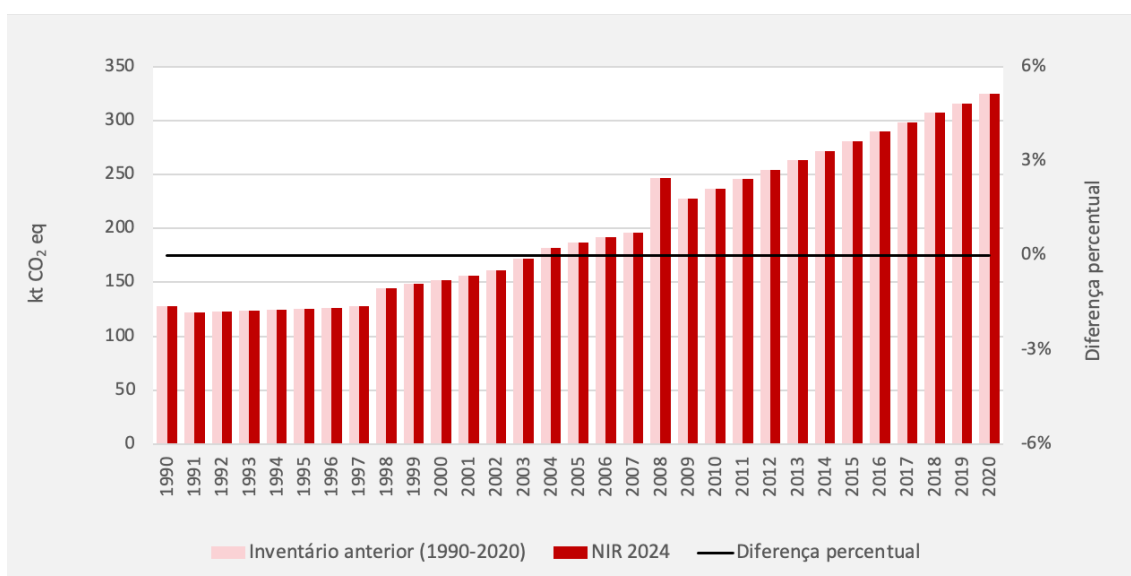


Figura 5.15. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Fabricação de Outros Produtos (2.G) entre os inventários.

5.9.4 Plano de melhoria

Diante da experiência adquirida na elaboração dos Inventários Nacionais de GEE, a equipe técnica propôs medidas visando ao aprimoramento dos resultados do Inventário da Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G) (Quadro 5.33).

Quadro 5.33. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G).

Subsetor	Categoria	Melhoria
2.G. FABRICAÇÃO E USO DE OUTROS PRODUTOS	2.G.1. Equipamentos Elétricos	▪ Avaliar meios de incentivar a condução de nova pesquisa com empresas de geração, transmissão e distribuição, visando à atualização da capacidade instalada de SF₆ em equipamentos elétricos.
	2.G.3. N ₂ O dos Usos de Produtos	▪ Aprofundar estudos sobre bases de dados relacionadas à importação, exportação, produção e consumo de produtos anestésicos.

5.10 Outros (CRT 2.H)

Nesse subsetor são relatadas as emissões relacionadas às categorias Indústria de Papel e Celulose (2.H.1) e Indústria de Alimentos e Bebidas (2.H.2), que emitem apenas GEE precursores.

A categoria Indústria de Papel e Celulose (2.H.1), diante do processo nacional de produção de papel e pasta de celulose, é responsável pela integralidade das emissões de CO e NO_x do Subsetor Outros (2.H), com 131 kt e 35 kt em 2022, respectivamente. Em termos de NMVOC, a categoria representou 12% das emissões do Subsetor Outros (2.H) em 2022. No processamento industrial de alimentos e na produção de bebidas (2.H.2) ocorreram 88% das emissões de NMVOC do subsetor em 2022, com uma contribuição de 53% pela produção de açúcar e de 29% pela produção de destilados.

5.10.1 Aspectos metodológicos

5.10.1.1 Indústria de papel e celulose

A preparação da pasta celulósica para papéis e outras finalidades consiste na separação das fibras de celulose da lignina – substância que une essas fibras aos demais componentes da madeira, que confere rigidez à madeira. Os processos de preparação da pasta celulósica são muitos e variam desde os puramente mecânicos até os químicos, nos quais a madeira é tratada com produtos químicos, pressão e calor (temperaturas maiores que 150°C) para dissolver a lignina. O uso de produtos químicos no processo é que gera emissões de GEE.

A produção de papel e pasta de celulose possui três fases principais: a polpação, o branqueamento e a produção de papel. O tipo de polpação e a quantidade de branqueamento usados dependem da natureza da matéria-prima e da qualidade desejada do produto. A polpação do tipo *Kraft* é o processo mais largamente utilizado.

No Brasil, o processo mais utilizado é uma variação do *Kraft*, o Sulfato, que utiliza os mesmos produtos químicos, empregando-se, porém, maiores dosagens de sulfeto de sódio e soda cáustica, além de o cozimento ser feito por mais tempo e a temperaturas mais elevadas. É considerado como o mais adequado para a obtenção de pastas químicas provenientes de eucalipto. Durante o processo, ocorrem emissões de CO, NO_x e NMVOC.

Neste NIR 2024, os fatores de emissão sugeridos em IPCC (1997) para o processo *Kraft* foram utilizados para o processo Sulfato, responsável pela maior parte da produção, não estando disponível informação sobre ocorrência de emissões para os outros processos. Foram utilizados os fatores-padrão de 1,5 kg NO_x, 3,7 kg NMVOC e 5,6 kg CO por tonelada de produção de celulose química pelo processo Sulfato.

Dados de atividades e outros parâmetros

A Tabela 5.67 apresenta os valores de produção de pastas de celulose por tipo de processo. A participação das produzidas pelo processo Sulfato só é conhecida até 1994, participação essa que foi utilizada para os demais anos da série histórica.

Tabela 5.67. Produção de pastas de celulose, 1990 a 2022.

Ano	Celulose química e semiquímica			Pastas de alto rendimento	TOTAL
	Sulfato	Outros processos	Subtotal		
	toneladas				
1990	3.593.547	321.141	3.914.688	436.455	4.351.143
1991	4.018.086	328.434	4.346.520	431.596	4.778.116
1992	4.512.600	357.967	4.870.567	431.777	5.302.344
1993	4.723.283	286.905	5.010.188	460.742	5.470.930
1994	5.127.981	248.290	5.376.271	452.599	5.828.870
1995	5.191.573	251.369	5.442.942	492.965	5.935.907
1996	5.471.267	264.911	5.736.178	465.257	6.201.435
1997	5.631.457	272.668	5.904.125	427.037	6.331.162
1998	5.943.611	287.782	6.231.393	455.513	6.686.906
1999	6.452.406	312.417	6.764.823	444.309	7.209.132
2000	6.639.971	321.499	6.961.470	501.796	7.463.266
2001	6.622.799	320.667	6.943.466	468.561	7.412.027
2002	7.178.141	347.556	7.525.697	495.398	8.021.095
2003	8.212.564	397.641	8.610.205	459.042	9.069.247
2004	8.727.441	422.571	9.150.012	470.131	9.620.143
2005	9.397.450	455.012	9.852.462	499.651	10.352.113
2006	10.188.678	493.322	10.682.000	498.000	11.180.000
2007	10.946.963	530.037	11.477.000	521.000	11.998.000
2008	11.626.081	562.919	12.189.000	508.000	12.697.000
2009	12.291.845	595.155	12.887.000	428.000	13.315.000
2010	13.098.775	634.225	13.733.000	431.000	14.164.000
2011	12.864.136	622.864	13.487.000	435.000	13.922.000
2012	12.832.660	621.340	13.454.000	523.000	13.977.000
2013	13.935.273	674.727	14.610.000	520.000	15.130.000
2014	15.232.464	737.536	15.970.000	490.000	16.460.000
2015	16.119.515	780.485	16.900.000	500.000	17.400.000
2016	17.454.859	845.141	18.300.000	500.000	18.800.000
2017	18.160.684	879.316	19.040.000	490.000	19.530.000
2018	19.648.639	951.361	20.600.000	490.000	21.090.000
2019	18.304.710	886.290	19.191.000	500.000	19.691.000
2020	19.508.428	944.572	20.453.000	500.000	20.953.000
2021	20.893.371	1.011.629	21.905.000	600.000	22.505.000
2022	23.338.959	1.130.041	24.469.000	500.000	24.969.000

Fonte: Elaborado a partir de IBA (2019; 2021; 2023).

5.10.1.2 Indústria de alimentos e bebidas

No caso do processamento industrial de alimentos e bebidas, ocorre a emissão de NMVOC. Para estimar estas emissões, foram utilizados os fatores de emissão do IPCC (1997), conforme consta na Tabela 5.68.

Tabela 5.68. Fatores de emissão para NMVOC para o processamento industrial de alimentos e bebidas.

Produção	Unidade	FE (kg NMVOC/unidade)
Carnes, peixes e aves	t	0,3
Açúcar	t	10
Margarinas e gorduras sólidas para cozinha	t	10
Bolos, biscoitos e cereais matinais	t	1
Pães	t	8
Rações animais	t	1
Torrefação de café	t	0,55
Vinho	hL	0,08
Cerveja	hL	0,035
Destilados	hL	15

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (1997).

Dados de atividades e outros parâmetros

Para as carnes de bovinos, suínos e aves, foi usada a produção do Setor Resíduos (CRT 5) do NIR 2024. Adicionou-se 0,67% a esse total para acrescentar as carnes de equinos, ovinos e caprinos, segundo a média de participação de 1990 a 1994. Para os peixes, a produção veio de informações do Ministério da Pesca e Aquicultura até 2011, atualizadas até 2022 por meio de extrapolação linear a partir dos últimos sete anos de dados.

A produção de açúcar e de cervejas também foi extraída do Inventário do Subsetor Resíduos (5.D). Margarinas, rações para animais e destilados (cachaça) vieram da base de dados SIDRA (IBGE, 2024b). Para a produção de pães, bolos, biscoitos e cereais matinais, há divergências entre as fontes de informação. Optou-se pela Abitrigo (2024), que forneceu o consumo total de farinha, da qual foi retirada a produção de pão média para a população, conforme dados pesquisados (ABIP, 2024), sendo o restante considerado usado para bolos e biscoitos.

Para a produção de vinho, considerou-se, de 2005 a 2022, a série do banco de dados SIDRA (IBGE, 2024b). Para o início da série desde 1990, fez-se uma correlação com a comercialização dos vinhos no Rio Grande do Sul (RS), com informações da Ibravin (2022) entre os anos de 2005 e 2009. Como a análise revelou que a produção das demais Unidades Federativas (UF) respondeu por 17%, acresceu-se este valor à produção do RS para obter a produção total nacional.

Em relação à torrefação de café, os dados vieram basicamente da ABIC (2024), que considerava dados até 2010. Posteriormente, fez-se uma correlação com a série do banco de dados SIDRA para café torrado, o que dá números bem abaixo do considerado antes. A média de correção entre 2005 e 2010 foi de 143%.

A Tabela 5.69 apresenta a produção brasileira dos alimentos e das bebidas para os casos em que existem emissões de NMVOC associadas, para o período de 1990 a 2022.

Tabela 5.69. Produção nacional de alimentos e bebidas emissoras de NMVOC, 1990 a 2022.

Ano	Carnes, peixes e aves	Açúcar	Margarinas	Bolos, biscoitos e cereais matinais	Pães	Rações animais	Torrefação de café	Vinho	Cerveja	Destilados (cachaça)
	1000 t							1000 L		
1990	5.837	7.214	408	1.182	2.883	10.719	584	285.566	3.749.150	1.125.000
1991	6.242	7.365	385	1.323	3.226	11.180	624	270.825	3.881.100	1.080.000
1992	6.580	8.530	360	1.406	3.430	11.213	636	256.083	4.013.050	1.035.000
1993	6.805	9.264	348	1.492	3.638	11.679	642	241.341	4.145.000	1.080.000
1994	6.621	9.162	420	1.642	4.006	12.762	651	226.600	4.276.950	1.035.000
1995	6.367	12.652	436	1.797	4.383	13.771	685	236.853	8.037.262	1.139.503
1996	6.202	13.513	455	1.760	4.293	14.527	742	247.106	7.948.478	1.159.125
1997	6.037	14.828	472	1.787	4.359	14.182	781	259.742	8.089.990	1.178.746
1998	5.810	14.887	494	1.814	4.425	14.911	830	250.646	8.522.541	1.198.367
1999	6.759	18.024	511	1.910	4.658	15.932	886	278.329	8.519.562	1.217.989
2000	7.038	19.388	542	1.868	4.557	16.789	890	298.898	9.023.303	1.237.610
2001	9.614	16.198	554	1.895	4.622	17.773	943	293.333	9.140.460	1.257.232
2002	10.930	19.218	568	1.922	4.688	19.307	991	296.186	8.941.778	1.276.853
2003	12.133	22.567	602	2.021	4.929	18.954	991	281.480	8.458.608	1.296.474
2004	14.875	24.919	654	2.048	4.996	19.797	1.081	286.619	9.296.806	1.316.096
2005	16.556	26.685	688	2.278	5.214	19.971	1.134	293.369	9.865.939	1.073.583
2006	17.263	25.823	686	2.400	5.435	19.883	1.161	312.688	10.609.850	1.940.394
2007	19.028	29.988	744	2.056	5.661	20.997	1.218	297.970	11.486.301	1.266.089
2008	19.829	31.026	754	1.569	5.890	20.459	1.264	316.128	12.200.486	1.362.516
2009	20.168	31.049	833	1.534	6.123	22.394	1.279	289.376	12.481.097	1.347.986
2010	21.530	32.956	879	1.931	6.359	26.782	1.354	298.054	12.947.054	1.280.796
2011	24.088	38.006	883	2.134	6.567	30.367	1.286	376.635	13.743.457	1.536.869
2012	25.959	35.925	876	2.065	6.778	30.468	1.287	419.111	14.219.976	1.292.494
2013	33.397	38.246	897	1.735	6.991	28.811	1.336	278.266	13.599.280	1.110.957
2014	27.367	37.594	937	1.524	7.207	24.294	1.406	269.492	14.456.254	1.023.228
2015	28.188	35.571	809	752	7.427	24.686	1.419	348.576	14.260.955	1.064.073
2016	31.283	33.837	1.095	804	7.649	28.158	1.531	384.046	13.987.398	1.211.910
2017	39.917	38.734	903	808	7.683	33.221	1.780	404.824	13.714.714	1.156.207
2018	35.039	38.608	984	811	7.714	31.659	1.799	425.133	15.319.532	1.104.776
2019	31.840	29.053	832	818	7.775	32.137	1.900	432.044	17.269.543	1.065.526
2020	31.655	29.606	938	824	7.835	32.001	2.002	366.696	16.024.319	1.087.201
2021	32.666	41.503	877	830	7.893	33.697	2.103	383.664	16.948.931	1.021.035
2022	28.857	34.992	877	790	7.514	33.697	2.205	383.664	18.007.374	1.021.035

5.10.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Outros (2.H) são citados na Seção 2.5 deste documento.

5.10.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Não foi realizada a análise da incerteza para o Subsetor Outros (2.H), tendo em vista que são emitidos somente GEE precursores, no caso CO, NO_x e NMVOC.

No que se refere à consistência e recálculos da série temporal, não foram identificadas divergências em termos de dados de atividade, entre as categorias da indústria de papel e celulose e de alimentos e bebidas, relativamente à versão anterior do Inventário em que foram estimados os GEE precursores emitidos no subsetor (Brasil, 2021a). Assim sendo, não ocorreram recálculos e, conseqüentemente, permaneceram inalteradas as emissões inventariadas para 1990 a 2020 em termos de CO, NO_x e NMVOC do Subsetor Outros (2.H).

5.10.4 Plano de melhoria

A experiência acumulada na elaboração periódica dos Inventários Nacionais de GEE propiciou a proposição de uma série de medidas de melhoria da consistência e maior detalhamento dos resultados do Inventário no particular do Subsetor Outros (2.H).

Quadro 5.34. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Outros (2.H).

Subsetor	Categoria	Melhoria
2.H. OUTROS	2.H.1. Indústria de Papel e Celulose	Avaliar a possibilidade de parcerias com associações para obtenção de dados de pastas de celulose obtidas a partir do sulfato.
	2.H.2. Indústria de Alimentos e Bebidas	Avaliar a possibilidade da realização de Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias com associações representativas da indústria alimentícia, visando à facilitação da coleta de dados de atividade em bases bianuais.

6 AGROPECUÁRIA (CRT 3)

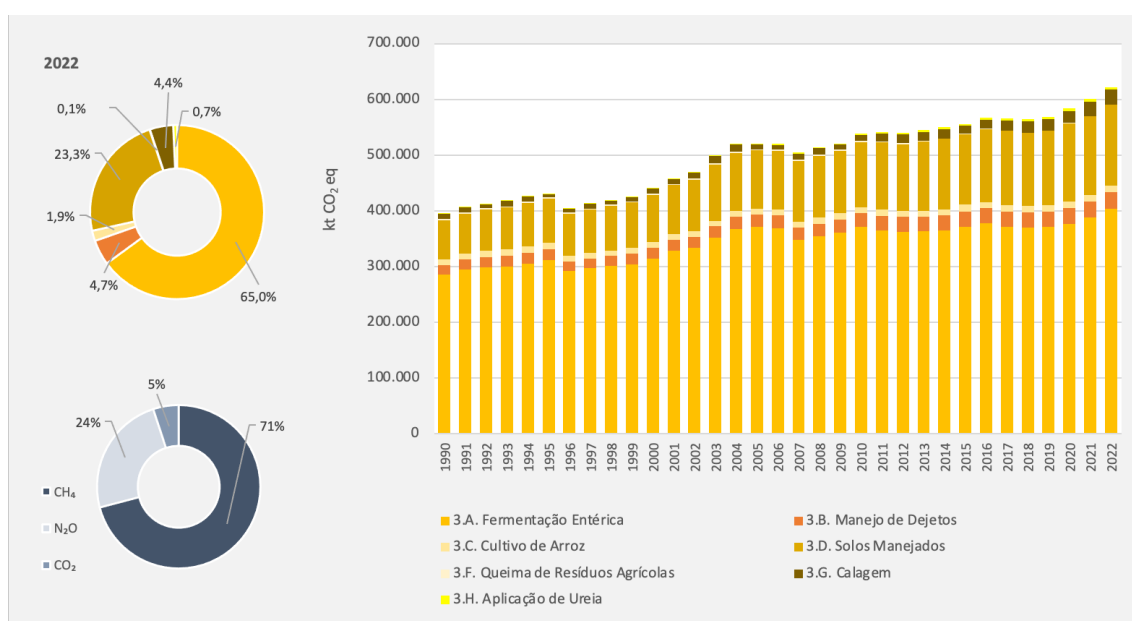
6.1 Visão geral do setor

O Setor Agropecuária compreende as emissões derivadas das atividades pecuárias e agrícolas. Destaca-se que o setor é de grande relevância para a economia do país, em termos de sua participação no PIB nacional, que em 2023 foi de 23,8% (CEPEA/CNA, 2024), e em termos do potencial para desenvolver uma economia baixa em carbono.

As emissões da pecuária estão relacionadas, principalmente, ao processo da fermentação entérica dos animais ruminantes (vacas/bois, búfalos, ovelhas e cabras), e os principais parâmetros utilizados para a estimativa das emissões referem-se ao tamanho da população, ao tipo de confinamento, à digestibilidade, ao peso e à produtividade animal. Por sua vez, as emissões da agricultura estão relacionadas, principalmente, ao processo de produção agrícola e à utilização de adubos nitrogenados, enquanto as emissões e remoções resultantes dos processos de conversão do uso e cobertura da terra e manejo do solo são contabilizadas no Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF).

O setor contempla os gases CH_4 , N_2O e CO_2 , além dos gases precursores CO e NO_x . Os subsetores contemplados, conforme a metodologia do IPCC (2006),⁴⁷ são: Fermentação Entérica (3.A), Manejo de Dejetos (3.B), Cultivo de Arroz (3.C), Solos Manejados (3.D), Queima de Resíduos Agrícolas (3.F), Calagem (3.G) e Aplicação de Ureia (3.H).

As emissões do setor totalizaram 622.014 kt CO_2 eq em 2022, um aumento de 6,6%, se comparado com 2020. Analisando a contribuição por subsetores é possível identificar que o Subsetor Fermentação Entérica foi o mais representativo do setor com 65% do total das emissões no ano de 2022, seguido em ordem de magnitude pelo Subsetor Solos Manejados com 23%. Por outro lado, os Subsetores Manejo de Dejetos e Calagem contribuíram juntos com aproximadamente 9% das emissões, enquanto, os Subsetores Cultivo de Arroz, Aplicação de Ureia, e Queima de Resíduos Agrícolas acumularam juntos uma parcela menor a 3% do total de emissões do setor para esse ano (Figura 6.1).



⁴⁷ Ver Agricultural, Forestry and Other Land Use (IPCC, 2006, v. 4).

Figura 6.1. Emissões do Setor Agropecuária, em kt CO₂ eq, por subsetor e gases, de 1990 a 2022.

Em termos da contribuição por gases, as emissões de CH₄ são as mais representativas para o setor, e são oriundas, mormente, do Subsetor Fermentação Entérica com 71%. Em seguida, aparecem as emissões de N₂O, originárias das atividades do Subsetor Solos Manejados com 24%, restando uma parcela de 5% das emissões de CO₂, que estão relacionadas principalmente à aplicação de calcário no solo (Calagem – 3.G). Finalmente, as emissões de CO e NO_x são contabilizadas no Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F).

6.2 Aspectos metodológicos

A base metodológica utilizada para as estimativas das emissões reportadas no NIR 2024 está sustentada nas Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa do IPCC (2006). Para atualização das estimativas do setor, foram considerados principalmente dados públicos de fontes oficiais obtidas por meio das plataformas das instituições responsáveis pelos dados, tendo sido mantidos os parâmetros e fatores de emissão do Inventário da Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2021).

Considerando que o Subsetor Fermentação Entérica (3.A) possui relevante contribuição em termos de emissão dentro do Inventário Nacional, constituindo-se em categoria-chave de emissões, conforme citado na Seção 2.4, adotou-se o método *Tier 2* para a categoria animal de bovinos (3.A.1), seguindo as orientações da metodologia IPCC (2006) a respeito de que categorias de emissão mais representativas devem adotar um detalhamento mais aprofundado e elaborado. Para as outras categorias animais (ovinos, caprinos, asininos, muares, equinos, bubalinos), optou-se por utilizar o *Tier 1*, em razão de menor representatividade dos rebanhos nacionais, e, consequentemente, em termos de emissões.

Para as emissões de CH₄ e de N₂O do Subsetor Manejo de Dejetos (3.B) foram adotados métodos *Tier 2* para as categorias de bovinos (3.B.1) e suínos (3.B.3). Para as demais categorias animais foi utilizado o método *Tier 1*, sendo considerados a população de cada espécie e os valores-padrão dos fatores de emissão determinados pelo IPCC (2006). Além da categorização das emissões por espécies animais, as estimativas de emissão de CH₄ e N₂O levaram em conta a desagregação das emissões por Unidade Federativa (UF), pois cada região do país apresenta diferentes características, tanto em nível de produção e dieta animal quanto clima e solo, e dessa maneira foram consideradas.

O Subsetor Cultivo de Arroz (3.C) dispõe de fatores de emissão de CH₄ locais para o estado do Rio Grande do Sul, responsável por aproximadamente 90% da produção nacional, sendo adotado exclusivamente para esta UF a metodologia *Tier 2*, sendo os fatores de emissão e, portanto, as estimativas de emissão de CH₄ estratificadas em função do sistema de preparo do solo. Para as demais UFs, em que ambas as condições supramencionadas não são atendidas, adotou-se a metodologia *Tier 1*. Ressalta-se que, para o estado de Santa Catarina, pela disponibilidade de dados de atividade individualizados para as sete regiões produtoras, as estimativas foram calculadas por região.

No Subsetor Solos Manejados (3.D) as emissões de N₂O foram estimadas a partir do método em *Tier 2* para todas as categorias em decorrência da disponibilidade de dados nacionais e estaduais para estimar as emissões.

A abordagem adotada para os cálculos do Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F) utilizou o *Tier 2* para as emissões de todos os gases emitidos. Na queima de resíduos agrícolas do cultivo da cana-de-açúcar (3.F.1), os fatores de emissão, a relação palhico/colmo e o fator de combustão são específicos para a cultura inventariada, e a biomassa disponível para combustão e área

queimada são específicos para cada UF. Quanto às emissões provenientes da queima de resíduos agrícolas do cultivo de algodão, foram aplicadas *Tier 1* para todos os gases.

Os Subsetores de Calagem (3.G) e Aplicação de Ureia (3.H) adotaram metodologia *Tier 1* nas estimativas de emissão de CO₂.

No Quadro 6.1 são apresentados o detalhamento das metodologias, os parâmetros, os fatores de emissão e as fontes de informações utilizadas em cada categoria do Setor Agropecuária.

Quadro 6.1. Níveis metodológicos aplicados por gás e referências do Setor Agropecuária.

Subsetor	Categoria	Subcategoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS					REFERÊNCIAS	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	Dados de atividade	Fatores de emissão
3.A. FERMENTAÇÃO ENTÉRICA	3.A.1. Bovinos	3.A.1.a. Bovinos de corte	NA	T2	NA	NA	NA	Dados de população animal da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), por Unidade da Federação de 1990 a 2022 (IBGE, 2024a); Censo Agropecuário (IBGE, 1996; 2006) e Anualpec (FNP, 1997; 2001; 2005; 2013). Desagregação do rebanho por finalidade, sexo, idade e peso.	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 10) com cálculo do fator de emissão <i>Tier 2</i> . Considerando referências bibliográficas nacionais e internacionais dos parâmetros aplicados.
		3.A.1.b. Bovino de leite	NA	T2	NA	NA	NA		
	3.A.2. Ovinos		NA	T1	NA	NA	NA		
		3.A.3.a. Reprodutores	NA	T1	NA	NA	NA		
	3.A.3. Suínos	3.A.3.b. Aleitamento/ Creche	NA	T1	NA	NA	NA		
		3.A.3.c. Terminação	NA	T1	NA	NA	NA		
	3.A.4. Outros animais	3.A.4.a. Bubalinos	NA	T1	NA	NA	NA		
		3.A.4.b. Caprinos	NA	T1	NA	NA	NA		
		3.A.4.c. Equinos	NA	T1	NA	NA	NA		
		3.A.4.d. Muas	NA	T1	NA	NA	NA		
		3.A.4.e. Asininos	NA	T1	NA	NA	NA		
3.B. MANEJO DE DEJETOS ANIMAIS	3.B.1. Bovinos	3.B.1.a. Bovinos de corte	NA	T2	T2	NA	NA	Dados de população animal da PPM, por Unidade da Federação de 1990 a 2022 (IBGE, 2024a), Censo Agropecuário (IBGE, 1996; 2006) e Anualpec (FNP, 1997; 2001; 2005; 2013). Dados de SESI (2019) e ABPA (2019) também foram utilizados para as categorias de suínos.	Bovinos, suínos e aves: (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10); O cálculo do fator de emissão, para cada categoria de bovinos, suínos e aves, baseou-se em referências bibliográficas nacionais e internacionais, para cada unidade federativa e ano dos seguintes parâmetros: peso,
		3.B.1.b. Bovino de leite	NA	T2	T2	NA	NA		

Subsetor	Categoria	Subcategoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS					REFERÊNCIAS	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	Dados de atividade	Fatores de emissão
	3.B.2. Ovinos		NA	T1	NO	NA	NA		digestibilidade, taxa de excreção, tipo de tratamento de dejetos para cada categoria animal, etc.
		3.B.3.a. Reprodutores	NA	T2	T2	NA	NA		Outros animais: (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
	3.B.3. Suínos	3.B.3.b. Aleitamento/ Creche	NA	T2	T2	NA	NA		
		3.B.3.c. Terminação	NA	T2	T2	NA	NA		
		3.B.4.a. Bubalinos	NA	T1	NO	NA	NA		
		3.B.4.b. Caprinos	NA	T1	NO	NA	NA		
	3.B.4. Outros Animais	3.B.4.c. Equinos	NA	T1	NO	NA	NA		
		3.B.4.d. Muas	NA	T1	NO	NA	NA		
		3.B.4.e. Asininos	NA	T1	NO	NA	NA		
		3.B.4.f. Aves	NA	T1	T1	NA	NA		
	3.B.5. Emissões Indiretas de N ₂ O	3.B.5.a. Bovinos	NA	NA	T1	NA	NA		
		3.B.5.b. Outros	NA	NA	T1	NA	NA		
3.C. CULTIVO DE ARROZ	3.C.1. Terras Baixas / Irrigado	3.C.1.a. Irrigado por inundação contínua	NA	T1, T2	IE	NA	NA	Dados de área cultivada de arroz, por Unidade Federativa e ano (estratificada por regime hídrico): Embrapa Arroz e Feijão (2018) e DCI/IRGA (IRGA, 2018); Período de cultivo, por unidade federativa e ano (estratificado por sistema de semeadura): Embrapa (2018); Obs.: apenas para o estado de Santa Catarina foram utilizados os dados	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 5); Embrapa Arroz e Feijão (2018); Yan <i>et al.</i> (2005); Epagri (2019).
		3.C.1.b. Irrigado por inundação intermitente	NA	T1, T2	IE	NA	NA		

Subsetor	Categoria	Subcategoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS					REFERÊNCIAS	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	Dados de atividade	Fatores de emissão
3.D. SOLOS MANEJADOS	3.D.1. Emissões Diretas	3.C.2. Terras Altas / Sequeiro	NA	NO	NA	NA	NA	regionais: Área cultivada (estratificada por regime hídrico) de Embrapa Arroz e Feijão (2018) e Epagri (2019). Período de cultivo (Estratificado por ciclo de cultivar) de Epagri (2019).	
		3.D.1.a. Fertilizantes sintéticos	NA	NA	T2	NA	NA	Obs.: Para a estimativa do N na forma de Fertilizante sintético aplicado em áreas de arroz irrigado considerou-se que somente a ureia é aplicada em arroz irrigado e que apenas a região Sul do país possui áreas com produção e produtividade significativas, para se considerar que houve uma aplicação relevante de fertilizante sintético (ANDA, 2020; Embrapa Arroz e Feijão, 2018, IRGA, 2018 e IBGE, 2019).	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 11).
		3.D.1.b. Adubos orgânicos	NA	NA	T1, T2	NA	NA	Dados de produção de etanol e açúcar dos subprodutos vinhaça e torta de filtro, produzidos no país por unidade federativa e ano, foram obtidos da União da Indústria Canavieira (UNICA, 2022); Dados de população animal da PPM, por unidade da federação de 1990 a 2022 (IBGE, 2018a) e Censo Agropecuário (IBGE, 1996; 2006); Anualpec (FNP, 1997; 2001; 2005; 2013); SESI (2019) e ABPA (2019).	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 11); Paredes <i>et al.</i> (2014); Parâmetros para estimar a quantidade de N na vinhaça e na torta de filtro: Elia Neto (2016); Gurgel (2012); Bernardinho <i>et al.</i> (2018); Bonassa <i>et al.</i> (2015) e Embrapa (2019); Fatores de emissão direta de N ₂ O de vinhaça e torta de filtro aplicados ao solo plantado com cana-de-açúcar: Oliveira <i>et al.</i> (2013); Siqueira Neto <i>et al.</i> (2016); Sousa Neto (2012) A definição do peso, fator de excreção e destinação do dejetos, para cada categoria animal, foi baseada em diversas referências bibliográficas nacionais, para cada unidade federativa e ano.

Subsetor	Categoria	Subcategoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS					REFERÊNCIAS	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	Dados de atividade	Fatores de emissão
		3.D.1.c. Deposição de dejetos em pastagem	NA	NA	T1, T2	NA	NA	Dados de população animal da PPM, por unidade da federação de 1990 a 2022 (IBGE, 2024a) e Censo Agropecuário (IBGE, 1996; 2006); Anualpec (FNP, 1997; 2001; 2005; 2013); SESI (2019) e ABPA (2019).	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 11). Bastos (2018). A definição do peso, fator de excreção e destinação do dejeito, para cada categoria animal, foi baseada em diversas referências bibliográficas nacionais, para cada unidade federativa e ano.
		3.D.1.d. Resíduos agrícolas	NA	NA	T1, T2	NA	NA	Dados de produtividade e área colhida das principais culturas agrícolas do Brasil, por unidade federativa e ano da Produção Agrícola Municipal (PAM) de 1990 a 2022 (IBGE, 2024b); Dados de cultivo de arroz (por UF e ano): Embrapa (2018); DCI/IRGA (IRGA, 2018); Dados de atividade de áreas de pastagens que permaneceram como pastagens e áreas de pastagens convertidas para outros usos, e as respectivas quantidades de biomassa consideradas (por UF e ano) constantes em Brasil (2020; 2021).	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 11). Parâmetros utilizados no cálculo da quantidade de N na renovação de pastagens de Carvalho <i>et al.</i> (1991); Oliveira <i>et al.</i> (2004); Piccolo <i>et al.</i> (2005); Santos <i>et al.</i> (2007); Fabrice <i>et al.</i> (2014).
		3.D.1 e. Mineralização de N associada a perda de C do solo	NA	NA	T2	NA	NA	O N mineralizado foi calculado a partir da multiplicação entre 1/R e a quantidade de carbono orgânico do solo perdida em função da conversão de uso (considerando a razão C:N associada a cada classe de cobertura da terra da classe de uso inicial), a partir dos mapas gerados pelo Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF) em Brasil (2020; 2021).	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 11).
		3.D.1.f. Manejo de solos orgânicos	NA	NA	T2	NA	NA	Mapa de solos do Brasil, IBGE (2001). Além das áreas de solos orgânicos, também foram utilizados os mapas com as áreas sob diferentes usos do setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF) (Brasil, 2020; 2021).	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 11).
3.D.2. Emissões Indiretas		3.D.2.a. Deposição atmosférica	NA	NA	T1, T2	NA	NA	Idem às informações das categorias Fertilizantes Sintéticos (3.D.1.a.), Adubos Orgânicos (3.D.1.b.); Deposição de Dejetos Diretamente no Solo (3.D.1.c.).	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 11).

Subsetor	Categoria	Subcategoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS					REFERÊNCIAS	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	Dados de atividade	Fatores de emissão
		3.D.2.b. Lixiviação / escoamento superficial	NA	NA	T1, T2	NA	NA	Idem às informações das categorias Fertilizantes Sintéticos (3.D.1.a.), Adubos Orgânicos (3.D.1.b.); Deposição de Dejetos Diretamente no Solo (3.D.1.c.); Resíduos Agrícolas (3.D.1.d.) e Mineralização de N associada a perda de C do solo (3.D.1.e.). Formulação de mapas contendo áreas em que o excedente de chuvas em relação a ETP ultrapassou a CAD dos solos, a partir de dados do INMET (2019) e Xavier (2019).	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 11).
3.E. QUEIMADA PRESCRITA DE SAVANAS			NE	NE	NE	NE	NE		
3.F. QUEIMA DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS	3.F.1. Cana-de-açúcar		NA	T2	T2	T2	T2	Massa disponível para combustão (MB): Valor específico para cada município e ano de referência, calculado a partir de dados da Produção Agrícola Municipal – PAM (IBGE, 2018b); Variedades cultivadas: Braga <i>et al.</i> (2017); RIDESA (2018); Relação palhico/colmo – média de valores por UF: Hassuani <i>et al.</i> (2005); Franco <i>et al.</i> (2007); Tasso Junior <i>et al.</i> (2011); Marques; Pinto (2013); e Ivo <i>et al.</i> (2015).	· Fator de combustão (Cf): (IPCC, 2006, v. 4, cap. 5); · Fator de emissão (Gef): CH ₄ : Yokelson <i>et al.</i> (2008) / CO: Yokelson <i>et al.</i> (2008); Lopes; Carvalho (2009); e França <i>et al.</i> , (2012) / NO _x : França <i>et al.</i> (2012) / N ₂ O: IPCC (2006); Andrea; Merlet (2001).
	3.F.2. Algodão		NA	T1	T1	T1	T1	Massa disponível para combustão (MB): Valor anual específico para cada UF e ano de referência (Brasil, 2016).	Fator de combustão (Cf) e Fator de emissão (Gef): (IPCC, 2006, v. 4, cap. 5).
3.G. CALAGEM			T1	NA	NA	NA	NA	Dados de produção e consumo de calcário para cada unidade federativa de 1990 a 2020, da Associação Brasileira dos Produtores de Calcário (Abracal, 2020).	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 11).
3.H. APLICAÇÃO DE UREIA			T1	NA	NA	NA	NA	A quantidade de N na forma ureia foi desagregada dos dados de fertilizantes nitrogenados totais a partir de dados nacionais de importação, exportação, produção e estoques para cada unidade federativa de 1990 a 2020, da Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA (ANDA, 2020).	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 11).

Subsetor	Categoria	Subcategoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS					REFERÊNCIAS	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	Dados de atividade	Fatores de emissão
3.1. OUTROS FERTILIZANTES CONTENDO CARBONO			NO	NA	NA	NA	NA		

Nota: Níveis metodológicos (IPCC, 2006) – T1: *Tier 1*; T2: *Tier 2*; T3: *Tier 3*.

Notações: NA – atividade em uma determinada categoria de fonte/sumidouro que ocorre no país, mas não resultou em emissões ou remoções de um gás específico; IE – incluído em outro local/categoria de emissões ou remoções; NO – categorias e processos que não ocorrem no país; NE – dados de atividade e/ou emissões por fontes e remoções por sumidouros de GEE que não tenham sido estimados, mas para os quais uma atividade correspondente pode ocorrer no país.

O Quadro 6.2 e o Quadro 6.3 apresentam categorias que foram realocados ou não puderam ser estimadas no NIR 2024.

Quadro 6.2. Categoria com valores atribuídos em outra categoria (IE) no Setor Agropecuária.

CÓDIGOS IPCC	CATEGORIAS REALOCADAS	DESTINO DA REALOCAÇÃO
3.C.1	Terras Baixas / Irrigado	Emissões de N ₂ O realocadas no Subsetor 3.D. Solos Manejados. ⁴⁸

Quadro 6.3. Subsetor não estimado (NE) no Inventário para o Setor Agropecuária.

CÓDIGOS IPCC	CATEGORIAS NÃO ESTIMADAS	OBSERVAÇÕES
3.E.	Queimada Prescrita de Savanas	As emissões não foram estimadas, pois a diferenciação da queima de savana por causas antrópicas ou naturais, bem como o acompanhamento da dinâmica dessas queimadas ao longo dos anos no território nacional, não é uma atividade simples e demanda desenvolvimento de metodologia mais complexa, que assegure a adequada associação das queimadas às respectivas causas.

6.3 Fermentação Entérica (CRT 3.A)

Este subsetor inclui as emissões de CH₄ geradas pela fermentação entérica animal. O metano produzido em sistemas de produção animal origina-se principalmente da fermentação entérica (85 a 90%), sendo o restante produzido a partir dos dejetos animais (Machado *et al.*, 2011). As categorias animais que apresentam esse processo fisiológico e tiveram suas emissões estimadas foram: os animais ruminantes – bovinos, bubalinos, ovinos, caprinos; os não ruminantes – equinos, asininos, muares; e os monogástricos – suínos.

Em 2022, as emissões pela Fermentação Entérica totalizaram 404.062 kt CO₂ eq, enquanto em 2020 foram de 376.720 kt CO₂ eq, representando uma variação de 7,3%. A subcategoria Bovinos de Corte (3.A.1.a) representou 87% da parcela de emissão do subsetor, enquanto a subcategoria Bovinos de Leite (3.A.1.b) representou 10%. As outras subcategorias animais tiveram uma representatividade menor, com 11.759 kt CO₂ eq, correspondente a 3,0% do subsetor em 2022 (Figura 6.2).

⁴⁸ Conforme IPCC (2006), as emissões de N₂O geradas a partir do cultivo de arroz irrigado devem ser alocadas ao subsetor Solos Manejados.

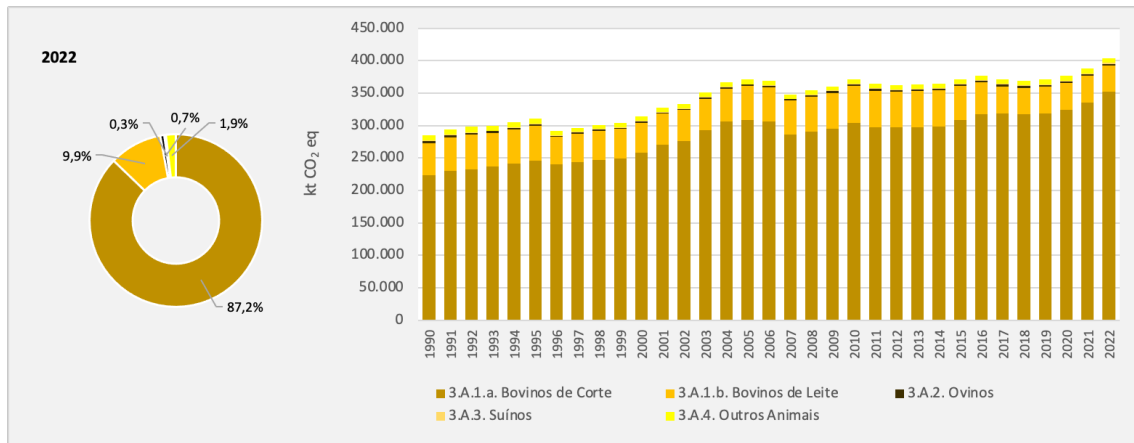


Figura 6.2. Emissões da Fermentação Entérica (3.A), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

6.3.1 Aspectos metodológicos

Para o cálculo das emissões de CH₄ das categorias do Subsetor Fermentação Entérica (3.A) foram utilizadas as equações 6.1 a 6.11, expostas no Quadro 6.4, com detalhamento metodológico *Tier 2* e *Tier 1*.

Quadro 6.4. Equações para estimar as emissões do Subsetor Fermentação Entérica (3.A).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 6.1	CH ₄	Todas	$\text{Emissões de CH}_4 = \text{EF}_{(T)} \times \frac{N_{(T)}}{10^6}$	Equação 10.19 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
Equação 6.2	CH ₄	Todas	$\text{EF}_{(T)} = \text{GE} \times \frac{Y_m}{100} \times \frac{365}{55,65}$	Equação 10.21 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
Equação 6.3	CH ₄	Todas	$\text{GE} = \left(\frac{(\text{NE}_m + \text{NE}_a + \text{NE}_i + \text{NE}_{\text{work}} + \text{NE}_p)}{\left(\frac{\text{REM}}{\left(\frac{\text{NE}_g + \text{NE}_{\text{wool}}}{\text{REG}} \right)} \right)} + \left(\frac{\text{DE}\%}{\left(\frac{100}{100} \right)} \right) \right)$	Equação 10.16 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
Equação 6.4	CH ₄	Todas	$\text{NE}_m = \text{CF}_i \times (\text{PV}) \times 0,75$	Equação 10.3 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
Equação 6.5	CH ₄	Todas	$\text{NE}_a = \text{Ca} \times \text{NE}_m$	Equação 10.4 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
Equação 6.6	CH ₄	Todas	$\text{NE}_g = 22,02 \times \left(\frac{\text{BW}}{\text{C}} \times \text{MW} \right) \times 0,75 \times \text{WG} \times 1,097$	Equação 10.6 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10).
Equação 6.7	CH ₄	3.A.2.b	$\text{NE}_i = \text{Milk} \times (1,47 + 0,40 \times \text{Fat})$	Equação 10.8 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
Equação 6.8	CH ₄	Todas	$\text{NE}_{\text{work}} = 0,10 \times \text{NE}_m \times \text{Hours}$	Equação 10.11 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 6.9	CH ₄	Todas	$NE_p = C_{pregnancy} \times NE_m$	Equação 10.13 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
Equação 6.10	CH ₄	Todas	$REM = [1,123 - (4,092 \times 10^{-3} \times DE\%) + [1,126 \times 10^{-5} \times (DE\%)^2] - (25,4/DE\%)]$	Equação 10.14 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
Equação 6.11	CH ₄	Todas	$REG = [1,164 - (5,160 \times 10^{-3} \times DE\%) + [1,308 \times 10^{-5} \times (DE\%)^2] - (37,4/DE\%)]$	Equação 10.15 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)

Em que:

$EF_{(T)}$ = Fator de emissão para população pecuária definida, kg CH₄ cabeça⁻¹ano⁻¹;
 $N_{(T)}$ = Número de cabeças da espécie pecuária/categoria animal T no país;
T = Espécie/categoria animal pecuária;
GE = Ingestão de energia bruta, MJ cabeça⁻¹ dia⁻¹;
 Y_m = fator de conversão de metano, porcentagem da energia bruta ingerida convertida em metano (o fator 55,65 (MJ/kg CH₄) é a energia contida no metano);
 NE_m = requerimento de energia líquida para a manutenção animal, MJ dia⁻¹;
 NE_a = energia líquida para atividade animal, MJ dia⁻¹;
 NE_l = energia líquida para lactação, MJ dia⁻¹;
 NE_{work} = energia líquida para trabalho, MJ dia⁻¹;
 NE_p = requerimento de energia líquida para gestação, MJ dia⁻¹;
REM = taxa de energia líquida utilizada para a manutenção (% da energia digestível);
 NE_g = energia líquida necessária para crescimento, MJ dia⁻¹;
 NE_{wool} = energia líquida necessária para produzir um ano de lã, MJ dia⁻¹ (não aplicável);
REG = taxa de energia líquida utilizada para o crescimento (% da energia digestível);
DE% = energia digestível (% da energia bruta);
 C_f = coeficiente que varia para cada categoria animal MJ dia⁻¹kg⁻¹;
PV = peso vivo do animal, kg;
Ca = coeficiente correspondente à situação da alimentação animal. Para animais confinados em pequenas áreas assume-se o valor 0,0 para o coeficiente; para animais em pastagens com forragem suficiente, exigindo gasto moderado de energia para adquirir alimentos, o valor de 0,17 é assumido; e, para animais que pastam em terrenos abertos ou montanhosos com gasto de energia significativa para adquirir alimentos, o valor de 0,36 é recomendado (IPCC, 2006);
BW = média do peso vivo corporal dos animais na população, kg;
C = coeficiente que varia de 0,8 para fêmeas, 1,0 para machos castrados e 1,2 para reprodutores (NRC, 1996, apud IPCC, 2006);
MW = peso vivo corporal maduro de uma fêmea adulta em condição corporal moderada, kg;
WG = média diária de ganho de peso por animal dentro de uma população, kg dia⁻¹;
Milk = montante da produção de leite, kg de leite dia⁻¹;
Fat = conteúdo de gordura no leite, % por peso;
Hours = número de horas de trabalho por dia; e
 $C_{pregnancy}$ = coeficiente de gestação.

Dados de atividades e outros parâmetros

O principal dado de atividade utilizado na estimativa das emissões do Subsetor Fermentação Entérica é a população animal. A obtenção dos dados populacionais de toda série histórica (1990-2022) foi realizada com base no banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), da PPM (IBGE, 2024a), que disponibiliza informações estatísticas anuais sobre efetivos de rebanhos e produtos de origem animal, segregados por Unidade Federativa (UF), e do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2006).

A população de bovinos foi desagregada em bovinos de corte e leite. Para os bovinos de corte, foi realizada a desagregação de acordo com a idade, o sexo e o tipo de confinamento animal, como segue: “menores que 1 ano”, “de 1 a 2 anos”, “touro”, “machos de corte > 2 anos (não

confinados)”, “fêmeas de corte > 2 anos (não confinadas)” e “outros animais > 2 anos (confinados)”. Para os bovinos de leite, a classificação adotada levou em consideração a produtividade animal, sendo desagregado em “bovinos de leite de alta produção” e “bovinos de leite de baixa produção”.

Para as outras categorias de animais, isto é, suínos, bubalinos, ovinos, caprinos, equinos, asininos e muares, não foi feita nenhuma subdivisão de categorias, em decorrência da baixa representatividade nas emissões de metano destas categorias dentro do subsetor, considerando a avaliação de categorias-chave. Para o caso particular do rebanho dos asininos e muares, e em razão do fato de que os rebanhos dessas espécies deixaram de ser pesquisados a partir do ano de 2013, foi realizada uma estimativa da média do número de animais do rebanho dos cinco anos anteriores, mais a soma do ano anterior ao qual foi realizada a estimativa. Desta maneira, com exceção das categorias de asininos e muares, a série histórica de dados de população foi atualizada até 2022 utilizando o banco de dados da PPM, do IBGE (Tabela 3939, do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA).

6.3.1.1 Bovinocultura de corte

Para a classificação das categorias dos rebanhos de bovinos de corte, em uma primeira etapa o rebanho foi desagregado em “Bovinos menores de 1 ano”, “Bovinos entre 1 e 2 anos”, “Touros” e “outros bovinos maiores que 2 anos” (incluindo bovinos leiteiros).⁴⁹ Essa desagregação foi feita com base nos dados da Tabela 925 do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2006), provenientes de propriedades com mais de 50 cabeças, por UF. Assumiu-se que propriedades com 50 cabeças ou menos seriam de finalidade leiteira, cuja população de animais seria o resultado da diferença entre a população total de bovinos do Censo Agropecuário de 2006 e a população total da Tabela 925. As proporções de machos e fêmeas e respectivas idades, dos animais de propriedades leiteiras da Tabela 925, foram mantidas para essa população de propriedades de 50 cabeças ou menos. Somadas as populações por categoria, foram calculadas as proporções de cada categoria em relação ao rebanho total. Essas proporções foram consideradas as mesmas para todos os anos do Inventário.

Em uma segunda etapa, subtraiu-se a população de “bovinos leiteiros”, publicada anualmente pelo IBGE, e a população de “outros bovinos maiores que 2 anos, confinados”, informada anualmente no Anuário da Pecuária Brasileira (Anualpec) (FNP, 1997; 2001; 2005; 2013; 2017; S&P GLOBAL, 2022) da população estimada de “outros bovinos maiores que 2 anos”, resultando na categoria “outros bovinos maiores que 2 anos, não confinados”.

Para a diferenciação de machos e fêmeas de “bovinos maiores que 2 anos, não confinados”, primeiramente foi necessário estimar a população de bovinos maiores de 2 anos que são fêmeas, utilizando como base os dados de somatório das fêmeas maiores que 2 anos com finalidade de cria, excluídas das com finalidade leiteira, da Tabela 925 do Censo Agropecuário do IBGE de 2006 (A) e das populações de bovinos totais do Censo de 2006 (B) e do PPM do IBGE no ano de 2006 (C). Em seguida, foi obtida a população de fêmeas de corte ajustada para o PPM de 2006, multiplicando o somatório de fêmeas maiores de 2 anos com finalidade de cria, líquidas da finalidade leiteira, pela razão entre população de bovinos totais do Censo 2006 e do PPM do IBGE daquele ano. Com esse resultado, foi possível obter a fração de “fêmeas de corte, maiores que 2 anos (não confinadas)”. A população restante foi classificada como “machos de corte, maiores que 2 anos (não confinados)”.

Em uma última etapa, foi realizada a classificação de “outros bovinos de corte, maiores que 2 anos (confinados)”, a partir de dados do Anualpec (FNP, 1997; 2001; 2005; 2013; 2017; S&P, 2022). No Anualpec é informada a série histórica de rebanho de bovinos confinados anualmente

⁴⁹ População de “vacas ordenhadas” informada pelo IBGE (2018).

no Brasil, por UF. Apenas para algumas UFs⁵⁰ essas informações não são individualizadas, em que é apresentado o somatório de todos os bovinos confinados, relatados como “bovinos confinados em outros estados”. Dessa maneira, para as unidades federativas que possuem essa informação desagregada, as populações do Anualpec foram utilizadas para a classificação de “outros bovinos maiores que 2 anos, confinados”.⁵¹ Para a população de bovinos confinados das UFs que não possuem essa informação desagregada, utilizou-se como embasamento a Tabela 919 do Censo Agropecuário do IBGE de 2006 (IBGE, 2006), que apresenta o montante de bovinos confinados por UF. Desse modo, aplicou-se a proporção do IBGE aos dados informados pelo Anualpec (FNP, 1997; 2001; 2005; 2013; 2017).

Para realizar a estimativa de emissões pela fermentação entérica de bovinos de corte, faz-se necessário o cálculo e/ou definição de alguns parâmetros e fatores específicos, que variam de acordo com a categoria animal, UF/região e que influenciam a emissão. A seguir são descritos os parâmetros e fatores que foram utilizados no cálculo final de emissão de GEE para as diferentes categorias do rebanho de corte.

- **Peso animal (BW)**

Para estimar o peso animal (BW) das categorias jovens, ou seja, o peso aos 6 meses (animais entre 0 e < 1 ano), e o peso aos 18 meses de idade (animais entre 1 e 2 anos), foi utilizada a função $BW = 33,15 + 28,07t - 1,203t^2 + 0,025t^3$ ($r^2=0,97$; $p<0,001$), que relaciona a idade (t ; em meses) com o peso corporal (BW; em kg), obtida com base em dados da literatura (Koury Filho *et al.*, 2010; Yokoo *et al.*, 2007; Reis *et al.*, 2008; Gama, 2017; Ferreira *et al.*, 2019; Passafaro *et al.*, 2016; Toral *et al.*, 2009).

Para os bovinos com 2 anos e mais, a estimativa de peso animal foi realizada a partir dos dados brutos trimestrais do IBGE (2019b) de produção total de carcaça e número de animais abatidos de bois e vacas, em âmbito estadual, no período de 1997 a 2016. Calculou-se o peso de carcaça por cabeça para cada UF e em seguida o peso médio por região para cada ano de 1997 a 2016, pois nem todos os estados possuíam dados disponíveis.⁵² Sobre os pesos de carcaça, aplicaram-se os valores de rendimento médio de carcaça sugeridos por Scot Consultoria (2019), ou seja, 52 e 48% para bois e vacas em pastagens, respectivamente, e de 54 e 50% para bois e vacas em confinamento. Dessa forma, foi possível obter o peso médio anual de abate por região para cada ano. O peso animal foi calculado considerando-se que corresponde a 80% do peso de abate, que é o peso corporal correspondente à metade do tempo entre a idade de 24 meses e a idade ao peso de abate, obtido da equação do peso corporal mencionada acima, utilizando-se os pesos de abate (Quadro 6.5).

Quadro 6.5. Metodologia aplicada para obtenção do peso médio de cada categoria animal de bovinos de corte.

Código	Classificação	Descrição	Metodologia	Fonte de dados
3.A.1.a	Bovinos de corte	--	--	--
3.A.1.a.i	Bovinos < 1 ano	Peso médio de bovinos aos 6 meses de vida.	Aplicação da função $BW = 33,15 + 28,07t - 1,203t^2 + 0,025t^3$ ($r^2=0,97$; $p<0,001$), que relaciona a idade “ t ” em meses com o peso corporal “BW” em kg.	Compilação de dados de artigos científicos.
3.A.1.a.ii	1 ano < bovinos < 2 anos	Peso médio de bovinos a 1 ano e 6 meses de vida.	Aplicação da função $BW = 33,15 + 28,07t - 1,203t^2 + 0,025t^3$ ($r^2=0,97$; $p<0,001$), que relaciona a idade “ t ” em meses com o peso corporal “BW” em kg.	Compilação de dados de artigos científicos.

⁵⁰ Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Distrito Federal.

⁵¹ Não há dados nacionais para definição do sexo de bovinos confinados. Dessa maneira, não foi feita a distinção entre machos e fêmeas para esta categoria animal.

⁵² O IBGE não divulga o dado quando existem menos de três informantes.

3.A.1.a.iii	Touros > 2 anos	Peso médio de touros reprodutores.	Base no banco de dados do IBGE – produção da Pecuária Municipal (PPM) por unidade de federação e do Censo Agropecuário do ano de 2006.	Compilação de dados de artigos científicos e IBGE Tabela 1092.
3.A.1.a.iv	Machos Corte > 2 anos (Ñ conf)	Peso médio de bovinos de corte machos aos 2 anos e 3 meses de vida.	A estimativa da massa corporal animal foi realizada a partir dos dados brutos trimestrais do IBGE de produção total de carcaça e número de animais abatidos de bois e vacas, em âmbito estadual, no período de 1997 a 2016.	Compilação de dados de artigos científicos e IBGE Tabela 1092
3.A.1.a.v	Fêmeas Corte > 2 anos (Ñ conf)	Peso médio de bovinos de corte fêmea aos 2 anos e 3 meses de vida.	A estimativa da massa corporal animal foi realizada a partir dos dados brutos trimestrais do IBGE de produção total de carcaça e número de animais abatidos de bois e vacas, em âmbito estadual, no período de 1997 a 2016.	Compilação de dados de artigos científicos e IBGE Tabela 1092.
3.A.1.a.vi	Outros > 2 anos confinados	Peso médio de bovinos de corte confinados aos 2 anos e 3 meses de vida.	A estimativa da massa corporal animal foi realizada a partir dos dados brutos trimestrais do IBGE de produção total de carcaça e número de animais abatidos de bois e vacas, em âmbito estadual, no período de 1997 a 2016.	Compilação de dados de artigos científicos e IBGE Tabela 1092.

- Taxa de digestibilidade (DE%)

A obtenção da taxa de digestibilidade (DE%) foi baseada em revisão de aproximadamente 40 artigos científicos (informações de especialista), que permitiu compilar mais de 200 dados de digestibilidade “*in vitro*” e “*in situ*” da matéria seca de 25 gêneros diferentes, entre gramíneas e leguminosas (principalmente braquiária e *panicum*, duas espécies amplamente usadas no Brasil), abrangendo mais de 50 espécies, nas cinco grandes regiões do país, entre os anos de 1990 e 2018. Com base nestes dados foi realizada uma análise de regressão, para investigar a existência da relação da digestibilidade e os anos de observação. Observou-se um efeito linear positivo em função dos anos ($P < 0,0001$) (Figura A.VI.1, Apêndice VI). Deste modo, para o período entre os anos de 1990 e 2016 utilizou-se o modelo para estimar o valor médio para intervalos de 5 anos. Para os anos entre 2017 e 2022 foi mantido o valor médio adotado para o período entre 2011-2016. Considerando a escassez de publicações com informações de digestibilidade de plantas forrageiras em algumas regiões, optou-se por utilizar o valor médio nacional para todas as UF's do país.

- Ganho de peso diário (WG)

O valor deste fator (WG) foi determinado com base em consultas a especialistas Embrapa – Pecuária Sudeste e de acordo com os valores utilizados no Inventário da Terceira Comunicação Nacional (Brasil, 2016), em uma média de ganho de peso diário durante o ano de 300 g/dia (0,3 kg) para todas as categorias do rebanho de bovinos de corte, valor que leva em consideração as diferenças entre o período da seca e o período das águas de bovinos criados a pasto, o qual tem predominância no Brasil para toda a série histórica (1990-2022).

- Taxa de prenhez ($C_{\text{pregnancy}}$)

A taxa de prenhez é necessária para calcular a quantidade de energia que o animal utilizará durante a gestação (Nep). O IPCC recomenda um valor-padrão de 10% da energia necessária para manutenção animal (NEm), como sendo a energia necessária para prenhez. Desta maneira, pela falta de literatura nacional, utilizou-se este valor para todo o território nacional. O IPCC (2006) também indica uma proporção de 67% de taxa de prenhez, como valor-padrão. No entanto, por indicação de especialistas da Embrapa, e de acordo com os valores utilizados em Brasil (2016), as taxas de prenhez para fêmeas de gado de corte do país encontram-se entre 60 e 67%. Desta maneira, utilizou-se o valor de 65% como sendo a taxa de prenhez de fêmeas de corte, dentro do intervalo de um ano.

- Produção de leite (Milk)

Para estimar os fatores de emissão de metano a partir de valores-padrão, considerou-se 1,1 kg/vaca/dia, conforme recomendado pelo IPCC (2006), para gado de corte.

- Teor de gordura no leite (Fat)⁵³

Para definição do valor deste parâmetro foi realizada uma revisão de literatura (Silva *et al.*, 1995; Restle *et al.*, 2003, etc.). Assim, para as estimativas de emissão foram consideradas para as regiões Norte, Nordeste, sudeste e Centro-Oeste o valor de 4,9% e para a região Sul o valor médio de 4,38% de teor de gordura (pastagens nativas). O IPCC menciona 4% como valor padrão para o teor de gordura do leite em bovinos de corte. Entretanto, foi considerado também, para os cálculos das emissões de metano no período de 2007 a 2010, o valor de 4,3% para as regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste, enquanto para a região Sul utilizou-se o valor de 3,5% (Brasil, 2016).

É importante ressaltar que os valores dos parâmetros de “produção de leite”, “taxa de prenhez (e percentual de prenhez)” e o “teor de gordura no leite” foi aplicado apenas na categoria dos bovinos “fêmeas de corte > 2 anos não confinados”. No Quadro 6.6 são apresentados os parâmetros e fatores que foram utilizados no cálculo final de emissões de metano (CH₄) para as diferentes categorias do rebanho de corte.

Quadro 6.6. Resumo dos parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissões para todas as categorias de bovino de corte.

Categorias	Parâmetros	Fatores de emissão						Referência
		T>2 (3.A.1.a.i)	MC>2NC (3.A.1.a.ii)	FC>2NC (3.A.1.a.iii)	O>2C (3.A.1.a.iv)	B<1 (3.A.1.a.v)	1<B<2 (3.A.1.a.vi)	
3.A.1.a.	Peso animal vivo (BW) (kg)	550	374 – 410 ^a , 337 – 388 ^b , 366 – 408 ^c , 366 – 383 ^d , 392 – 450 ^e	298 – 320 ^a , 266 – 306 ^b , 302 – 340 ^c , 317 – 348 ^d , 303 – 343 ^e	347 – 372 ^a , 316 – 350 ^b , 340 – 382 ^c , 350 – 373 ^d , 354 – 405 ^e	163	293	Brasil (2021)
3.A.1.a.	Peso animal maduro (MW) (kg)	330	330	330	330	330	330	Brasil (2021)
3.A.1.a.	Taxa de digestibilidade (DE) (%)	55,6 ¹ , 56,8 ² , 57,9 ³ , 58,8 ⁴ , 59,8 ⁵	55,6 ¹ , 56,8 ² , 57,9 ³ , 58,8 ⁴ , 59,8 ⁵	55,6 ¹ , 56,8 ² , 57,9 ³ , 58,8 ⁴ , 59,8 ⁵	55,6 ¹ , 56,8 ² , 57,9 ³ , 58,8 ⁴ , 59,8 ⁵	55,6 ¹ , 56,8 ² , 57,9 ³ , 58,8 ⁴ , 59,8 ⁵	55,6 ¹ , 56,8 ² , 57,9 ³ , 58,8 ⁴ , 59,8 ⁵	Brasil (2021)
3.A.1.a.	Ganho de peso/dia (WG) (kg/dia)	-	0,3	-	0,3	0,3	0,3	Brasil (2021)
3.A.1.a.	Produção de leite (Milk) (kg/dia)	-	-	1,1	-	-	-	(IPCC, 2006, v.4, cap. 10)
3.A.1.a.	Teor de gordura no leite produção (Fat) (%)	-	-	4,9	-	-	-	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
3.A.1.a.	Taxa de prenhez (C _{pregnancy}) (%)	-	-	10	-	-	-	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
3.A.1.a.	Percentual de fêmeas que ficam prenhas (%)	-	-	65	-	-	-	Brasil (2015)

⁵³ A gordura do leite é o componente do leite que mais varia ao longo da lactação, e de maneira geral a percentagem de gordura do leite aumenta gradualmente ao longo do dia da lactação, estando negativamente correlacionada com a produção de leite da vaca (Restle *et al.*, 2003).

Categorias	Parâmetros	Fatores de emissão						Referência
		T>2 (3.A.1.a.i)	MC>2NC (3.A.1.a.ii)	FC>2NC (3.A.1.a.iii)	O>2C (3.A.1.a.iv)	B<1 (3.A.1.a.v)	1<B<2 (3.A.1.a.vi)	
3.A.1.a.	Coefficiente para Nem (C _f)	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
3.A.1.a.	Coefficiente para NEa (C _a)	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
3.A.1.a.	Taxa de conversão de metano (Y _m)	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)

Legenda: T>2 – Touro maior que 2 anos; MC>2NC – Machos de corte maiores que 2 anos não confinados; FC>2NC – Fêmeas de corte maiores que 2 anos não confinados; O>2C – Outros bovinos confinados; B<1 – Bovinos menores que 1 ano; 1<B<2 – Bovinos entre 1 e 2 anos;

¹ 1990-1995; ² 1996-2001; ³ 2002-2006; ⁴ 2007-2010; ⁵ 2011-2022;

^a peso animal médio (1990-2022) Região Norte; ^b peso animal médio (1990-2022) Região Nordeste; ^c peso animal médio (1990-2022) Região Sudeste; ^d peso animal médio (1990-2022) Região Sul; ^e peso animal médio (1990-2022) Região Centro-Oeste.

Obs.: para as categorias 3.A.1.a.ii, 3.A.1.a.iii e 3.A.1.a.iv os valores de peso animal variam também de acordo com o ano.

6.3.1.2 Bovinocultura de leite

Os dados populacionais de bovinos leiteiros foram obtidos do banco de dados do IBGE da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM) por UF e por município (5.569). Nesse sentido foram obtidas tabelas da população de vacas ordenhadas e da produção de leite do período de 1990 a 2022 segregadas por municípios. Foi incluída uma subdivisão na população de “bovinos de leite” que resultou nas categorias “bovinos de leite de alta e baixa produção” com base nas recomendações sugeridas pelo IPCC (2006), mas adequadas aos sistemas brasileiros de produção de leite, os quais são bastante heterogêneos em vista da diversidade cultural da população brasileira e das diferenças edafoclimáticas presentes ao longo de todo o território nacional.

Para realizar essa subdivisão, considerou-se a classificação dos sistemas de produção de leite proposta por Assis *et al.* (2005), também alinhada àquela descrita por Stock *et al.* (2007), os quais propuseram a subdivisão do rebanho brasileiro com base na produtividade animal. Desse modo, admitiu-se o valor-limite de produtividade leiteira de 2.000 kg/vaca ordenhada/ano como marco divisor da população de vacas de alta e baixa produção. Animais com produtividade leiteira abaixo desse marco foram classificados como bovinos leiteiros de baixa produção e aqueles com produtividade acima desse valor como bovinos leiteiros de alta produção.

O valor de produtividade leiteira acima de 2.000 kg/vaca/ano, conforme descrito por Assis *et al.* (2005), compreende os sistemas intensivos de produção (a pasto e confinamento), em que se tem maior especialização da atividade leiteira com utilização de suplementação volumosa no período seco e fornecimento de concentrado e mistura mineral durante todo o ano nas propriedades, o que consiste em maior qualidade nutricional das dietas fornecidas nesses sistemas em comparação aos sistemas extensivos e semiextensivos de criação. Conforme IPCC (2006), a digestibilidade da dieta fornecida aos animais tem grande impacto na emissão de metano entérico, sendo altamente relacionada à qualidade do alimento fornecido e ao manejo nutricional implementado.

Após definidos os limites para a classificação, procedeu-se ao cálculo de produtividade em âmbito municipal e sua posterior classificação em municípios de alta e baixa produção. A produtividade foi obtida pela divisão da produção de leite pelo rebanho de vacas ordenhadas de determinado município no respectivo ano analisado. Os municípios foram identificados quanto à unidade da federação e grande região a que pertenciam e classificados quanto à produtividade. Àqueles que não possuíam vacas ordenhadas foram taxados de “sem rebanho”.

Da mesma forma que no caso dos bovinos de corte, para realizar a estimativa de emissões pela fermentação entérica de bovinos leiteiros, faz-se necessário o cálculo e/ou a definição de alguns parâmetros e fatores específicos, que variam de acordo com a categoria animal e estado ou região e que influenciam a emissão. Para isto, foram revisados 42 estudos publicados em revistas científicas, nacionais e internacionais, e teses que foram realizados nas diferentes regiões brasileiras durante os anos de 1995 a 2017. Destes estudos foram extraídas informações sobre os seguintes parâmetros: peso vivo (PV), consumo de matéria seca (CMS), digestibilidade aparente da matéria seca (DAMS), produção de leite (*Milk*) e gordura do leite (*Fat*).

O banco de dados foi composto por animais puros de origem europeia (*Bos taurus*) e de animais cruzados (*Bos taurus x Bos taurus indicus*), representando 61 e 92 tratamentos, respectivamente. Nesses estudos, os animais foram submetidos a diferentes regimes alimentares e nutricionais que remetem a animais especializados para produção de leite, apresentando produção de leite diária mínima de 8,2 litros e máxima de 26,9 litros. Na Tabela 6.1, a seguir, é apresentada a estatística descritiva dos dados coletados.

Tabela 6.1. Estatística descritiva do banco de dados contendo estudos nacionais com vacas em lactação de diferentes grupos genéticos.

Variável	Grupo genético	Média	Mediana	DesvPad	CoefVar	Mínimo	Máximo
<i>Weight</i> (kg)	Cruzados	508	513	44,7	8,79	400	602
	Europeu	531	534	48,9	9,21	448	611
CMS (kg/dia)	Cruzados	14,7	14,9	3,03	20,6	7,95	20,7
	Europeu	16,6	16,7	2,63	15,9	10,9	21,9
DAMS (%)	Cruzados	67,6	67,9	5,03	7,43	55,6	79,1
	Europeu	66,6	67,1	5,50	8,26	55,3	77,7
<i>Milk</i> (kg/dia)	Cruzados	16,4	16,1	4,78	29,1	8,20	26,3
	Europeu	20,2	20,4	4,09	20,3	10,1	26,9
Fat (%)	Cruzados	3,99	3,92	0,45	11,4	3,10	5,30
	Europeu	3,67	3,71	0,43	11,8	2,35	4,45

Fonte: Valvassori *et al.* (1995); Legi *et al.* (1998); Derez *et al.* (2001); Oliveira *et al.* (2001); Silva *et al.* (2001); Jobim *et al.* (2002); Melo *et al.* (2003a; 2003b); Primavesi *et al.* (2004); Magalhães *et al.* (2004, 2006); Silva *et al.* (2005); Rocha *et al.* (2006); Cavalcanti *et al.* (2006, 2008); Pina *et al.* (2006); Jobim *et al.* (2006); Ramalho *et al.* (2006); Cordeiro *et al.* (2007); Ribeiro Filho *et al.* (2007); Oliveira *et al.* (2007A,B); Bumbieris Junior (2007); Maixner *et al.* (2007); Benedeti *et al.* (2008); Ribeiro Filho *et al.* (2009); Soares *et al.* (2009); Modesto *et al.* (2009a; 2009b); Silva *et al.* (2009); Pedreira *et al.* (2009); Alves *et al.* (2010); Teixeira *et al.* (2011); Wanderley *et al.* (2012); Freitas Junior *et al.* (2013); Oliveira *et al.* (2014); Almeida (2015); Silva Junior *et al.* (2015); Ribeiro *et al.* (2016); Kolling *et al.* (2016); Cunha *et al.* (2016); Nascimento (2017); Silva *et al.* (2017); Silvi (2017); Moura (2017); Carvalho *et al.* (2018); Dias (2018); Matiello (2018).

- **Peso vivo (PV)**

O peso vivo (PV) médio foi obtido em função da média geral observada para cada grupo genético, assim o PV médio para animais cruzados (508 kg) foi utilizado como valor de referência para as unidades federativas das regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, enquanto para a região Sul do Brasil foi utilizado o valor médio encontrado para animais de origem europeia (531 kg), representado, principalmente, por animais da raça Holandês, com 98% de participação. A utilização do PV médio obtido para vacas lactantes de origem europeia ou cruzadas como valor de referência para os estados das diferentes regiões fundamenta-se no fato de que a região Sul do país, em função das suas condições edafoclimáticas diferenciadas, apresenta maior frequência de utilização de animais *Bos taurus*, enquanto nas demais regiões do Brasil é maior a frequência de animais cruzados Holandês x Zebu. Segundo Braga *et al.* (2015), as raças europeias, apesar das baixas frequências gerais, tiveram sua presença

mais ligada às criações especializadas de leite, sendo que a proporção de criações que utilizam raças europeias aumenta quanto mais se avança em direção aos estados do Sul do país.

- Taxa de prenhez ($C_{\text{pregnancy}}$)

A taxa de prenhez é necessária para calcular a quantidade de energia que o animal utilizará durante a gestação (NEp). O IPCC (2006) recomenda um valor padrão de 10% da energia necessária para manutenção animal (NEm), como sendo o percentual de energia necessária para prenhez (NEp). Dessa maneira, pela falta de bibliografia nacional, utilizou-se este valor para todo o território nacional. Ainda o IPCC (2006) também indica uma proporção de 67% de taxa de prenhez, como valor *padrão*. No entanto, por indicação de especialistas da Embrapa e de acordo com os valores utilizados em Brasil (2016), as taxas de prenhez para fêmeas de gado de corte do país encontram-se entre 60 e 67%. Desta maneira, utilizou-se o valor de 60% para a região Sul e 55% para as outras regiões do país, como sendo a taxa de prenhez de fêmeas de corte, dentro do intervalo de um ano.

- Produção de leite (*Milk*)

A produção de leite foi calculada em função da segregação por categoria realizada considerando a produtividade em municípios de “alta e baixa produção”. Após a classificação, somou-se o montante de leite produzido para cada categoria e dividiu-se posteriormente pelo respectivo número de vacas ordenhadas. Esse valor foi dividido por 365 (dias do ano), obtendo-se assim, para cada estado, a produção de leite média diária para animais de alta e baixa produção. Desse modo, animais de alta produção foram definidos como aqueles com produção acima de 5,48 litros/vaca/dia e animais de baixa produção, inferiores a esse valor.

- Taxa de digestibilidade (DE%)

A taxa de digestibilidade foi obtida com base em revisão de literatura, de estudos sobre a digestibilidade de forrageiras tropicais, publicados em revistas especializadas nacionais. Foram utilizados 40 estudos publicados entre os anos de 1990 a 2018, compreendendo 206 observações de digestibilidade *in vitro* (DIMS) e *in situ* de 25 gêneros distintos de forrageiras tropicais utilizadas na alimentação de bovinos no país. Os valores máximos e mínimos de digestibilidade encontrados foram de 71,0 e 41,0%. Os capins do gênero *Brachiaria* (*Urochloa* sp.) representaram 39,8% das observações coletadas.

Com base nos dados coletados foi realizada uma análise de regressão, para investigar a existência da relação da digestibilidade e os anos de observação (1990 a 2018). O resultado mostrou um efeito linear positivo em função dos anos ($P < 0,0001$; $R^2 = 8,1\%$). Deste modo, utilizou-se o modelo para estimar o valor médio em cada ano e, posteriormente, obteve-se a média em função de cada período avaliado. Assim, as médias obtidas de cada período foram utilizadas como valores de referência para a categoria vacas de baixa produção, uma vez que caracteriza o sistema extensivo de criação em que os animais não recebem suplementação, sendo o pasto o alimento exclusivo como fonte de alimentação.

De forma semelhante, obtiveram-se os valores de digestibilidade para vacas de alta produção, utilizando-se um banco de dados composto por animais especializados para produção de leite. Os valores de digestibilidade também apresentaram crescimento com o decorrer dos anos (Figura A.VI.2, Apêndice VI), obtendo-se a média anual com o modelo obtido ($P < 0,0001$; $R^2 = 11,4\%$). Os valores máximos e mínimos observados para a DAMS foram de 55,2 e 79,1%, respectivamente. Os valores médios obtidos para cada período de estudo foram utilizados para a categoria vacas de alta produção.

No Quadro 6.7 são apresentados os parâmetros e fatores que foram utilizados no cálculo final de emissões de metano (CH_4) das categorias de baixa e alta produção do rebanho leiteiro.

Quadro 6.7. Parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissões de bovinos leiteiros.

Categorias	Parâmetros	Fatores de emissão		Referência
		Baixa Produção	Alta Produção	
3.A.1.b.	Peso animal (PV)l (Kg)	Cruzados: 508 Taurinos: 531 ^a	Cruzados: 508 Taurinos: 531 ^a	Brasil (2021)
3.A.1.b.	Taxa de digestibilidade (DE) (%)	55,6 ¹ ; 56,8 ² ; 57,9 ³ ; 58,8 ⁴ ; 59,8 ⁵	61,4 ¹ ; 63,4 ² ; 65,2 ³ ; 66,7 ⁴ ; 68,4 ⁵	Brasil (2021)
3.A.1.b.	Ganho de peso/dia (WG) (kg/dia)	0	0	IPCC (2006, v. 4. cap. 10)
3.A.1.b.	Produção de leite (Milk) (kg/dia)	<5,48	>5,48	Assis <i>et al.</i> (2005)
3.A.1.b.	Teor de gordura no leite (Fat) (%)	3,99	3,67	Brasil (2021)
3.A.1.b.	Taxa de prenhez (Cpregnancy) (%)	10	10	IPCC (2006, v. 4. cap. 10)
3.A.1.b.	Percentual de fêmeas que ficam prenhas (%)	55,0 ^a ; 60,0	55,0 ^a ; 60,0	Brasil (2015)
3.A.1.b.	Coeficiente para NEg (C)	-	-	IPCC (2006, v. 4. cap. 10)
3.A.1.b.	Coeficiente para Nem (Cf)	0,386	0,386	IPCC (2006, v. 4. cap. 10)
3.A.1.b.	Coeficiente para NEa (Ca)	0,17	0,17	IPCC (2006, v. 4. cap. 10)
3.A.1.b.	Taxa de conversão de metano (Ym)	0,065	0,065	IPCC (2006, v. 4. cap. 10)

Notas: ^a Valores para a região Sul; ¹ 1990 a 1995; ² 1996 a 2001; ³ 2002 a 2006; ⁴ 2007 a 2010; ⁵ 2011 a 2022.

6.3.1.3 Outras categorias animais

Para as outras espécies animais, tais como suínos, búfalos, ovinos, caprinos, equinos, muares e asininos, foram utilizados fatores de emissão de metano entérico, preestabelecidos para cada grupamento animal, indicados como padrão pelo IPCC (2006, v. 4, cap.10, Seção 10.2 e Anexo 10A.1).

6.3.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Fermentação Entérica (3.A) são citados na Seção 2.5 deste documento.

6.3.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CH₄ da Fermentação Entérica (3.A) é apresentada no Apêndice II.

O processo de atualização do Inventário Nacional considerou a revisão das séries históricas de dados populacionais para as diferentes categorias de animais. Quanto aos fatores de emissão estes não foram modificados. Em síntese, os principais ajustes decorrem de:

- *Bovinos (2017-2022)*: foram utilizadas as mesmas premissas percentuais dos inventários anteriores, para desagregação das categorias de bovinos de corte (por sexo, idade e tipo de confinamento animal) e bovino leiteiro (entre baixa e alta produção);

- *Suínos (2017-2022)*: foram utilizadas as mesmas premissas percentuais dos inventários anteriores, para desagregação das categorias de suínos (por finalidade produtiva); e
- *Asininos e muares (2013-2022)*: devido à falta de dados de 2013 a 2022, foi realizada uma extrapolação linear dos dados (linha de tendência, pela variação média de 2008 a 2012— último ano da série).

Considerando os resultados consolidados do Inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, a maior proporção dos ajustes é verificada em 2020, com 3,7% de diferença entre emissões estimadas, decorrente da revisão dos dados populacionais de rebanhos animais. Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de 2,5%, e no período de 1990 a 2020, de 0,3%, o que demonstra a consistência da série temporal do subsetor (Figura 6.3).

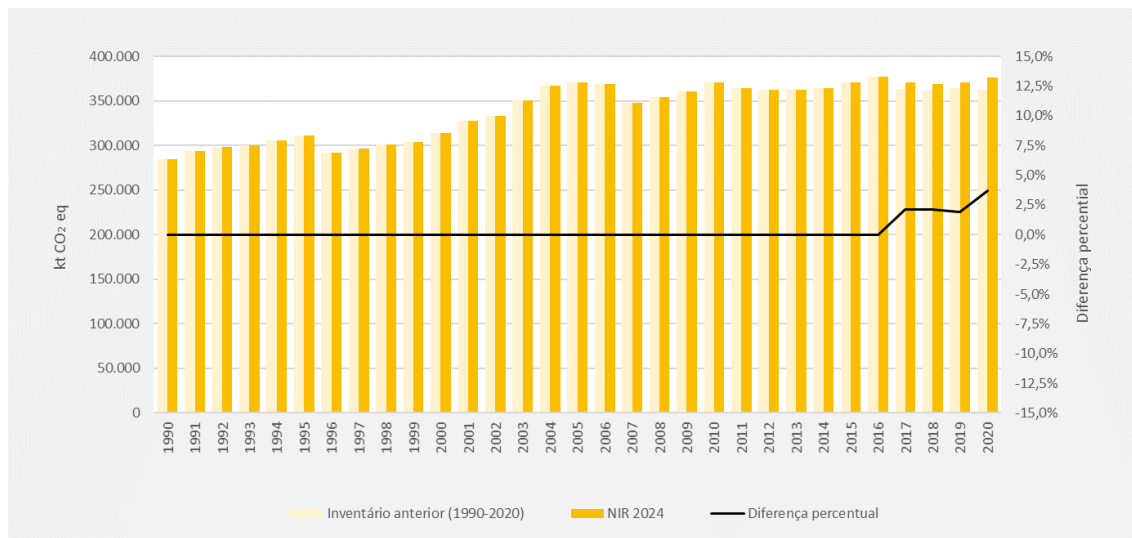


Figura 6.3. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Fermentação Entérica (3.A) entre os inventários.

6.3.4 Plano de melhoria

A experiência acumulada na elaboração periódica dos Inventários Nacionais de GEE propiciou a proposição de uma série de medidas de melhoria da consistência e maior detalhamento dos resultados do Inventário no particular da Fermentação Entérica (3.A). O Quadro 6.8 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para implementação em futuras edições do inventário deste subsetor.

Quadro 6.8. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Fermentação Entérica (3.A).

Subsetor	Categoria	Melhoria
3.A. FERMENTAÇÃO ENTÉRICA	3.A.1. Bovinos	- Aprofundar estudos com vistas a avaliar a possibilidade de revisar o método de desagregação dos rebanhos bovinos, especificamente no que tange às frações determinadas por categoria por UF. - Ampliar estudos visando ao mapeamento de novos parâmetros de: peso animal, ganho médio diário e taxa de digestibilidade das diferentes categorias do rebanho bovino.
	3.A.4. Outros Animais	Realizar estudos para avaliar a possibilidade de revisar o fator de emissão de metano entérico padrão da categoria animal de bubalinos, tendo em vista o valor constante no Guia IPCC 2019.

6.4 Manejo de Dejetos (CRT 3.B)

O manejo de dejetos compreende as emissões de CH₄ e N₂O decorrentes das categorias animais utilizados para fins produtivos no Brasil: bovinos (corte e leite), suínos, ovinos, caprinos, asininos, muares, equinos, bubalinos e aves. E o termo “dejetos” inclui as excreções líquidas e sólidas produzidas pelos animais.

A emissão de CH₄ ocorre durante a decomposição do dejetos sob condições anaeróbicas (na ausência de oxigênio), durante seu tratamento ou disposição, sendo influenciada pela quantidade de dejetos gerado e tipo de sistema de tratamento adotado. Já a emissão de N₂O ocorre de forma direta, por meio da nitrificação e desnitrificação do Nitrogênio (N) contido nos dejetos, e de forma indireta, pela volatilização da amônia (NH₃) durante o tratamento e disposição do dejetos animal.

Em 2022, as emissões pelo Manejo de Dejetos (3.B) totalizaram 29.012 kt CO₂ eq representando 4,7% das emissões do setor nesse ano. As participações dos bovinos e dos suínos nas emissões totais da categoria foram de 44% e 42%, respectivamente. As emissões indiretas de N₂O pela deposição atmosférica (Subcategoria 3.B.5) representaram 8% da emissão da categoria (Figura 6.4).

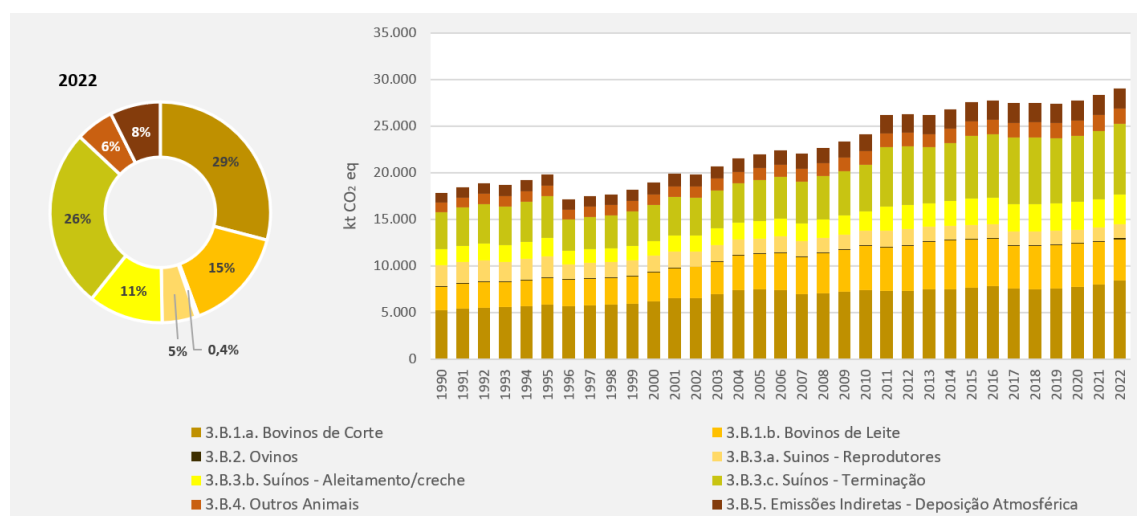


Figura 6.4. Emissões do Manejo de Dejetos (3.B), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

6.4.1 Aspectos metodológicos

Para o cálculo das emissões de CH₄ e de N₂O das categorias do Subsetor Manejo de Dejetos (3.B) foram utilizadas as equações 6.12 a 6.18, expostas no Quadro 6.9, com detalhamento metodológico *Tier 2* e *Tier 1*.

Quadro 6.9. Equações para estimar as emissões do Subsetor Manejo de Dejetos (3.B).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 6.12	CH ₄	3.B.1 3.B.2 3.B.3 3.B.4	Emissões de CH ₄ = $\sum_{(T)} \frac{(EF_{(T)} \times N_{(T)})}{10^{-6}}$	Equação 10.22 (IPCC, 2006, v.4, cap. 10)
Equação 6.13	CH ₄	3.B.1 3.B.2 3.B.3 3.B.4	$EF_{(T)} = (VS_{(T)} \times 365) \times [Bo_{(T)} \times 0,67 \times \left(\sum_{(S,K)} \frac{MCF_{S,K}}{100}\right) \times MS_{(T,S,K)}]$	Equação 10.23 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
Equação 6.14	CH ₄	3.B.1 3.B.2 3.B.3 3.B.4	$VS_{(T)} = [GE \times \left(1 - \left(\frac{\%DE}{100}\right) + UE \times GE\right) \times \left[\left(1 - \frac{ASH}{18,45}\right)\right]$	Equação 10.24 (IPCC, 2006, v.4, cap. 10)
Equação 6.15	N ₂ O	3.B.1 3.B.2 3.B.3 3.B.4	$N_2OD_{(MM)} = [\sum_S [\sum_T (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)})] \times EF_{3(S)}] \times \frac{44}{28}$	Equação 10.25 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
Equação 6.16	N ₂ O	3.B.1 3.B.2 3.B.3 3.B.4	$Nex_{(T)} = Nrate_{(T)} \times \frac{TAM}{1000} \times 365$	Equação 10.30 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
Equação 6.17	N ₂ O	3.B.5	$N_2OG_{(MM)} = (N_{volatilization} - MMS \times EF_4) \times \frac{44}{28}$	Equação 10.26 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
Equação 6.18	N ₂ O	3.B.5	$N_{volatilization} - MMS = [\sum_S [\sum_T (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)})] \times \frac{FracGas_{MS}}{100}]_{(T,S)}$	Equação 10.26 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)

Em que:

EF_(T) = Fator de emissão para a população de animais definida (kg CH₄ cabeça⁻¹ ano⁻¹);
VS_(T) = Sólido Volátil diário excretado para animais da categoria T (kg/MS/animal⁻¹/dia⁻¹);
365 = Base para calcular produção anual de VS (dias/ano⁻¹);
Bo_(T) = Capacidade máxima de produção de metano para dejetos produzidos pela categoria animal, m³/CH₄/kg⁻¹ de VS excretada;
0,67 = Fator de conversão de m³ CH₄ para kg de CH₄;
MCF_{s,k} = Fatores de conversão de metano para cada sistema de manejo de dejetos S por região climática K (%);
MS_(T, S, k) = Fração de dejetos da categoria de animais T manejados com sistema de manejo de dejetos S na região climática K;
N_(T) = Número de cabeças por espécie animal (por categoria no país);
VS = excreção de sólido volátil por dia com base na matéria seca (MS), kg SV dia⁻¹;
GE = consumo de energia bruta, MJ dia⁻¹;
%DE = digestibilidade do alimento em porcentagem (%);
(UE x GE) = energia urinária expressa como fração de GE;
ASH = teor de cinzas contido no dejetos, calculado como a fração do consumo de MS;
18,45 = fator de conversão para GE dietético por kg MS (MJ kg⁻¹). Esse valor é uma constante de uma ampla gama de alimentos à base de forragem e grãos consumidos pelo gado;
N₂OD_(mm) = emissões diretas de N₂O provenientes do manejo de dejetos no país, kg N₂O ano⁻¹;

$N_{(T)}$ = número de cabeças de espécie/categoria T no país;
 $N_{ex(T)}$ = média anual de excreção de N por cabeça de espécie/categoria T no país, kg N animal⁻¹ ano⁻¹;
 $MS_{(T,S)}$ = fração da excreção total anual de nitrogênio para cada espécie pecuária/categoria T que é gerenciada no sistema de manejo de dejetos S no país, adimensional;
 $EF_{3(S)}$ = fator de emissão para emissões diretas de N₂O do sistema de manejo de dejetos S no país, kg N₂O-N/kg N no sistema de manejo de dejetos S;
S = sistema de gestão de estrume;
T = espécie/categoria de gado;
44/28 = conversão de emissões de (N₂O-N) em emissões de N₂O;
Nvolatilização-MMS = quantidade de nitrogênio do dejetos que é perdida devido à volatilização de NH₃ e NO_x, kg N ano⁻¹; e
FracGas_{MS} = percentagem de azoto do estrume gerido para animais de categoria T que se volatiliza como NH₃ e NO_x no sistema de gestão de estrume S (%).

Dados de atividades e outros parâmetros

Os principais dados de atividade utilizados na estimativa das emissões do Subsetor Manejo de Dejetos animais são as populações de cada categoria das espécies de animais do rebanho e a proporção de cada categoria que se encontra em condições de criação que trata, ou maneja, os dejetos produzidos. A seguir são apresentados os dados por tipo de rebanho animal.

6.4.1.1 Bovinocultura

O método seguido para a desagregação em categorias da população do rebanho de bovinos de corte e de leite no Subsetor Manejo de Dejetos é o mesmo que foi utilizado no Subsetor Fermentação Entérica. A desagregação para os bovinos foi feita com base nos dados da Tabela 925 do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2006) provenientes de propriedades com mais de 50 cabeças, por UF. Por outro lado, a desagregação dos bovinos de leite, em baixa e alta produção, foi baseada nas recomendações sugeridas pelas Guias do IPCC (2006), mas adequadas aos sistemas de produção brasileiros, os quais são bastante heterogêneos em vista da diversidade cultural da população brasileira e das diferenças edafoclimáticas presentes ao longo de todo o território nacional. Os fatores de emissão para cada tipo de gás, CH₄ ou N₂O, estão descritos na sequência deste documento.

6.4.1.2 Suínos

A população de suínos foi desagregada em função da idade e regime de criação, tal como orientado pela Embrapa Suínos e Aves, e tendo como referência os dados do Serviço Social da Indústria (SESI), Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) e IBGE. A série histórica da população total de suínos do IBGE passou a incluir a população de matrizes, desde o ano 2013, permitindo avançar em um detalhamento da população total em âmbito estadual. Para se obter a série completa de 1990 a 2022, foram utilizadas as informações do Censo Agropecuário de 2006 (Tabela 936) (IBGE, 2006), que traz a desagregação da população em matrizes, varrões e demais suínos. O somatório das populações de matrizes e varrões permitiu criar a categoria “reprodutores”, cuja proporção em relação à população total de 2006 foi aplicada sobre a população total de suínos de cada Estado para os anos do Inventário de 1990 a 2012. De 2013 em diante, corrigiu-se a população de matrizes em função do percentual de matrizes e varrões da Tabela 936.

Na Tabela 6.2 se apresentam os resultados dos fatores aplicados para obtenção da fração de suínos reprodutores.

Tabela 6.2. Fração de suínos reprodutores, por UF e período.

Unidade Federativa (UF)	Fração de Suínos Reprodutores	
	Fator aplicado na população de suínos totais (1990 até 2012)	Fator aplicado na população de matrizes (2013 em diante)
Rondônia	0,2446	1,3330
Acre	0,4232	1,4695
Amazonas	0,3578	1,4711
Roraima	0,3972	1,3762
Pará	0,2851	1,4634
Amapá	0,4290	1,4580
Tocantins	0,2807	1,3716
Maranhão	0,2759	1,3375
Piauí	0,3372	1,3073
Ceará	0,2506	1,3422
Rio Grande do Norte	0,2388	1,4059
Paraíba	0,2056	1,3938
Pernambuco	0,2319	1,3318
Alagoas	0,1684	1,2303
Sergipe	0,1876	1,2785
Bahia	0,2672	1,3864
Minas Gerais	0,1253	1,1953
Espírito Santo	0,1228	1,2419
Rio de Janeiro	0,1532	1,2756
São Paulo	0,1443	1,2055
Paraná	0,1322	1,1890
Santa Catarina	0,0980	1,1177
Rio Grande do Sul	0,1148	1,1457
Mato Grosso do Sul	0,1254	1,2513
Mato Grosso	0,1713	1,2248
Goiás	0,2027	1,3077
Distrito Federal	0,1166	1,0949

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2006).

A diferença entre a população total de suínos e a de reprodutores representa a população com indivíduos do nascimento à terminação, os quais passam por dietas diferentes com efeito nas excreções de Nitrogênio. Dessa forma, desagregou-se essa população em “Suínos em aleitamento-creche” e “Suínos em fase de terminação”. Para essa desagregação, considerou-se o tempo de duração de cada fase, ou seja, 65 dias para a primeira e 110 dias para a última, considerando-se um ciclo de 175 dias do nascimento ao abate. Com base na duração de cada fase em relação ao tempo total para abate, estimou-se que 37% da população (deduzida dos reprodutores) representa a categoria “Suínos em aleitamento-creche”, e o restante, “Suínos em fase de terminação”.

As estimativas de reprodutores feitas com as populações do IBGE são maiores do que a população com fim industrial relatada pela ABPA, da mesma forma que o restante da população de suínos. Considerou-se que o excedente da população de suínos do IBGE se referia a suínos de subsistência, ou seja, aqueles criados livres, fora do regime confinado industrial, informação relevante para as estimativas de Manejo de Dejetos. Definiu-se a categoria “reprodutores industriais”, cuja população foi estimada a partir da proporção de reprodutores industriais em relação ao total de suínos industriais divulgados para o período 2002 a 2016 nos anuários da ABPA; para os anos de 1990 a 2001, considerou-se o valor da interseção ($b=0,431866$) da regressão linear ($y=a*x+b$) estimada a partir das frações obtidas entre os anos de 2002 e 2016. Essas proporções foram mantidas para todos os estados. A categoria “Reprodutores de subsistência” foi estimada pela diferença entre “Reprodutores” do IBGE e “Reprodutores industriais” (Tabela 6.3).

Tabela 6.3. Fração de suínos reprodutores que vivem em regime de criação industrial.

Ano	Fração dos suínos reprodutores em sistema de criação industrial
1990 – 2001	0,432
2002	0,412
2003	0,446
2004	0,419
2005	0,392
2006	0,410
2007	0,414
2008	0,413
2009	0,409
2010	0,396
2011	0,393
2012	0,403
2013	0,375
2014	0,357
2015	0,352
2016	0,345
2017	0,346
2018	0,347
2019	0,342
2020	0,330
2021	0,331
2022	0,337

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2006) e ABPA (2019).

Considerando-se a relação entre abates industriais ABPA (2019) e abates na condição de subsistência, publicados pelo SESI (2019), separou-se a população industrial e de subsistência para as categorias “Suínos em aleitamento-creche” e “Suínos em fase de terminação”. Finalmente, ficaram definidas as categorias de suínos “Reprodutores/Industrial”, “Reprodutores/Subsistência”, “Suínos em aleitamento-creche/Industrial”, “Suínos em aleitamento-creche/Subsistência”, “Suínos em terminação/Industrial” e “Suínos em terminação/Subsistência”.

Para o cálculo das emissões de CH₄ do rebanho suinícola foram utilizados, em parte, valores-padrão indicados pelo IPCC (2006) e dados obtidos por revisão de literatura. Foi feita uma revisão de 40 trabalhos de pesquisas realizadas no país para coletar de dados de digestibilidade, peso vivo e consumo de ração para as categorias: suínos em aleitamento/creche, suínos em terminação e suínos reprodutores.

Não se encontraram dados para esses índices zootécnicos em todas as regiões entre os anos de 1990 e 2022, portanto, foi realizada uma média geral para os dados encontrados referentes a cada categoria, e foram atribuídos esses valores para todos os estados do Brasil. Os dados de consumo de ração e digestibilidade para as categorias suínos em crescimento industrial, suínos em terminação industrial e suínos reprodutores industrial foram os mesmos utilizados para suínos em aleitamento/creche de subsistência, suínos em terminação de subsistência e suínos reprodutores de subsistência, respectivamente. Os fatores de emissão para cada tipo de gás, CH₄ ou N₂O, estão descritos na sequência.

6.4.1.3 Outras categorias animais

Em razão da menor importância em relação às emissões de GEE, as populações de bubalinos, caprinos, ovinos, equinos, muares e asininos não foram desagregadas, apresentando assim cada uma categoria única. Foi utilizado o total da espécie considerada dentro de cada categoria, cujos dados foram extraídos do banco de dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), Tabela 3939 da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM). No caso das categorias dos asininos e muares, em decorrência do fato de que as espécies de tais categorias deixaram de ser pesquisadas a partir do ano de 2013, para obter a população, foi realizada uma estimativa da média do número de animais do rebanho dos cinco anos anteriores acrescida à soma do ano anterior ao qual foi realizada a estimativa. Os fatores de emissão para cada tipo de gás, CH₄ ou N₂O, estão descritos na sequência.

A população da categoria animal das aves foi desagregada com base na informação do banco de dados da PPM do IBGE (2018a; 2024a), que relata as populações de galináceos totais e de galinhas. Considerou-se que a diferença compreenderia as populações de pintos, frangos e frangas e galos. A população de galinhas foi considerada como de finalidade poedeira. Analisou-se como desnecessária a desagregação de galos da população de frangos e pintos, os quais foram considerados como população de corte. O IBGE também relata a população de codornas, aqui consideradas como de finalidade poedeira. Dessa forma, para as aves, foram consideradas as categorias “galinhas poedeiras”, “frangos, pintos e galos” e “codornas” (Tabela A.VI.2, Apêndice VI).

6.4.1.4 Fatores de emissão e outros parâmetros das emissões de CH₄

- Bovinocultura de corte

Os valores de taxa de digestibilidade (DE%) foram obtidos mediante revisão de dados na literatura, e uma análise de regressão, a qual indicou efeito linear. Os dados resultantes de digestibilidade gerados, por ano e por período analisado, estão sincronizados com os utilizados para estimativa de emissão de metano pela fermentação entérica de gado de corte.

A seguir, apresenta-se o Quadro 6.10 com o resumo dos parâmetros e fatores utilizados para estimativa das emissões dos bovinos de corte pelo manejo de dejetos.

Quadro 6.10. Resumo dos parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissões para as categorias de bovino de corte no Subsetor Manejo de Dejetos.

Categorias	Parâmetros	Fatores de emissão						Referência
		T>2 (3.B.1.a.i)	MC>2NC (3.B.1.a.ii)	FC>2NC (3.B.1.a.iii)	O>2C (3.B.1.a.iv)	B<1 (3.B.1.a.v)	1<B<2 (3.B.1.a.vi)	
3.B.1.a.	Ingestão de Energia Bruta (GE) (MJ kg ⁻¹)	186,8 ¹ ; 180,4 ² ; 175,0 ³ ; 170,9 ⁴ ; 166,5 ⁵	171,8 ¹ ; 164,8 – 171,6 ² ; 157,4 – 165,1 ³ ; 152,4 – 159,0 ⁴ ; 154,3 – 158,0 ⁵	180,7- 196,4 ¹ ; 173,5- 193,9 ² ; 175,8- 186,7 ³ ; 170,1- 189,9 ⁴ ; 167,5- 187,1 ⁵	107,5- 116,6 ¹ ; 141,6- 159,0 ² ; 144,0- 153,3 ³ ; 140,0- 150,8 ⁴ ; 136,4- 149,3 ⁵	90,2 ¹ ; 87,0 ² ; 83,9 ³ ; 81,6 ⁴ ; 79,1 ⁵	140,8 ¹ ; 135,1 ² ; 130,3 ³ ; 126,6 ⁴ ; 122,8 ⁵	Equação 10.16, (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
3.B.1.a.	Taxa de digestibilidade (DE%) (%)	55,6 ¹ ; 56,8 ² ; 57,9 ³ ; 58,8 ⁴ ; 59,8 ⁵	55,6 ¹ ; 56,8 ² ; 57,9 ³ ; 58,8 ⁴ ; 59,8 ⁵	55,6 ¹ ; 56,8 ² ; 57,9 ³ ; 58,8 ⁴ ; 59,8 ⁵	55,6 ¹ ; 56,8 ² ; 57,9 ³ ; 58,8 ⁴ ; 59,8 ⁵	55,6 ¹ ; 56,8 ² ; 57,9 ³ ; 58,8 ⁴ ; 59,8 ⁵	55,6 ¹ ; 56,8 ² ; 57,9 ³ ; 58,8 ⁴ ; 59,8 ⁵	Brasil, 2021
3.B.1.a.	Capacidade máxima de produção de	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)

Categorias	Parâmetros	Fatores de emissão						Referência
		T>2 (3.B.1.a.i)	MC>2NC (3.B.1.a.ii)	FC>2NC (3.B.1.a.iii)	O>2C (3.B.1.a.iv)	B<1 (3.B.1.a.v)	1<B<2 (3.B.1.a.vi)	
	metano (Bo) (kg CH ₄ /VS)							
3.B.1.a.	Fator de conversão de metano (MCF) (%)	1,5 a 2	1,5 a 2	1,5 a 2	1,5 a 2	1,5 a 2	1,5 a 2	Tabela 10.17 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
3.B.1.a.	Fração de utilização de cada sistema de manejo de dejetos animal (MS)	100% pasto	100% pasto	100% pasto	92% <i>Solid Storage</i> , 7% <i>Dry Lot</i> , 1% <i>Anaerobic Digester</i>	100% pasto	100% pasto	Animais confinados: Costa Jr. <i>et al.</i> , 2013.
3.B.1.a.	Energia urinária expressa como fração de GE (UE x GE) (MJ dia ⁻¹)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)
3.B.1.a.	Teor de cinzas contido no dejetos (ASH) (%)	8	8	8	8	8	8	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 10)

Nota: T>2 – Touro maior que 2 anos; MC>2NC – Machos de corte maiores que 2 anos não confinados; FC>2NC – Fêmeas de corte maiores que 2 anos não confinadas; O>2C – Outros bovinos confinados; B<1 – Bovinos menores que 1 ano; 1<B<2 – Bovinos entre 1 e 2 anos; ¹ 1990-1995; ² 1996-2001; ³ 2002-2006; ⁴ 2007-2010; ⁵ 2011-2016.

- Bovinocultura de leite

Quanto à Ingestão de energia bruta (GE) foram utilizados os mesmos resultados oriundos da parte de consumo de energia bruta proveniente da fermentação entérica de gado leiteiro, obtido pela Equação 10.16, recomendada por IPCC (2006). Para a obtenção do consumo de alimento (kg/dia), dividiu-se o valor de GE pelo fator de conversão dietário de 18,45 (MJ kg⁻¹), conforme IPCC (2006). A taxa de digestibilidade utilizada foi a mesma apresentada para bovinos leiteiros (categoria 3.A.1.b), sendo diferenciados os valores para bovinos leiteiros de alta e baixa produção ao longo dos anos. Para energia urinária, que é expressa como fração do consumo de energia bruta (MJ dia⁻¹), considerou-se o valor-padrão de 0,04 a excreção de GE para vacas de baixa produção, e de 0,02 para vacas de alta produção. De acordo com o IPCC (2006), a energia urinária pode ser reduzida em 0,02 para ruminantes alimentados com inclusões de 85% ou mais de grãos na dieta.

Em relação aos valores de Fator de Conversão de Metano (MCF) foram determinados valores específicos que variam de acordo com o tipo de sistema de tratamento de dejetos (MS) e clima (k). Os valores de clima (frio, quente ou temperado) foram ajustados de acordo com a temperatura média de cada UF.

A seguir se apresenta no Quadro 6.11 o resumo dos parâmetros e fatores utilizados para estimativa das emissões dos bovinos de leite pelo manejo de dejetos.

Quadro 6.11. Resumo dos parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissões para as categorias de bovino de leite no Subsetor Manejo de Dejetos.

Categorias	Parâmetros	Fatores de emissão		Referência
		Baixa Produção	Alta Produção	
3.B.1.b.	Ingestão de Energia Bruta (GE) (MJ kg ⁻¹)	194,4 – 238,2 ¹ ; 96,7 – 38,1 ² ; 191,1 – 30,4 ³ ; 176,4 – 223,1 ⁴ ; 71,8 – 217,5 ⁵	164,5 – 252,0 ¹ ; 157,0 – 239,4 ² ; 150,8 – 233,2 ³ ; 146,0 – 234,3 ⁴ ; 141,2 – 229,3 ⁵	Equação 10.16 (IPCC, 2006, v. 4. cap. 10)
3.B.1.b.	Taxa de digestibilidade (DE%) (%)	55,6 ¹ ; 56,8 ² ; 57,9 ³ ; 58,8 ⁴ ; 59,8 ⁵	61,4 ¹ ; 63,4 ² ; 65,2 ³ ; 66,7 ⁴ ; 68,4 ⁵	Brasil, 2021
3.B.1.b.	Capacidade máxima de produção de metano (B ₀) (kg CH ₄ /VS)	0,13	0,13	IPCC (2006, v. 4. cap. 10)
3.B.1.b.	Fator de conversão de metano (MCF) por tipo de sistema de tratamento de dejetos (S) e clima (k)	Quadro 6.12	Quadro 6.12	Tabela 10.17 (IPCC, 2006, v. 4. cap. 10)
3.B.1.b.	Fração de utilização de cada sistema de manejo de dejetos animal (MS)	Quadro 6.10	Quadro 6.10	BRASIL, 2016
3.B.1.b.	Energia urinária expressa como fração de GE EU x GE (MJ dia ⁻¹)	0,04	0,02	(IPCC, 2006, v. 4. cap. 10)
3.B.1.b.	Teor de cinzas contido no dejetos (ASH) (%)	8	8	(IPCC, 2006, v. 4. cap. 10)

Nota: ¹1990 a 1995; ²1996 a 2001; ³2002 a 2006; ⁴2007 a 2010; ⁵2011 a 2016.

- Suínos

O Quadro 6.12 resume os parâmetros e fatores utilizados para estimativa das emissões dos suínos pelo manejo de dejetos. Para regiões com menor nível de Energia Urinária (UE) de suínos em subsistência foi atribuído o mesmo banco de dados que consta na categoria de suínos industrial.

Quadro 6.12. Resumo dos parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissões para suínos no Subsetor Manejo de Dejetos.

Categorias	Parâmetros	Fatores de emissão	Referência
3.B.3.	Capacidade máxima de produção de metano (B ₀)	0,29 m ³ CH ₄ / kg	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 2)
3.B.3.	Consumo de energia bruta (GE) (MJ kg ⁻¹)	18,45	Tabela 2.4 (IPCC, 2006, v. 3, cap. 2)
3.B.3.	Taxa de digestibilidade (DE%) (%)	87% alto nível tecnológico; 70 a 80% para suínos em terminação; 80 a 90% para suínos em crescimento; 50 a 70% para suínos criados ao "ar livre" (sistema <i>free range</i>)	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 2)
3.B.3.	Energia urinária (UE) (MJ dia ⁻¹)	0,02	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 2)
3.B.3.	Teor de cinzas contido no dejetos (ASH) (%)	3% (região Sul, Sudeste e Centro-Oeste); 4% (regiões Norte e Nordeste)	(IPCC, 2006, v. 3, cap. 2)
3.B.3.	Fator de conversão de metano (MCF)	Valores específicos de acordo com o sistema de tratamento de dejetos e com base na temperatura média anual de cada UF.	Tabela 10.17 (IPCC, 2006, v. 4. cap. 10)

- Outras categorias animais

Foram utilizados fatores de emissão de metano indicados como padrão pelo IPCC (2006) para as demais categorias de animais: búfalos, ovinos, caprinos, equinos, muares, asininos e aves, de acordo com as faixas climáticas indicadas na Tabela A.VI.1 (Apêndice VI), correspondentes a cada UF.

6.4.1.5 Fatores de emissão e outros parâmetros das emissões de N₂O

- Taxa anual de excreção de N ($N_{ex(T)}$)

Com base na revisão de literatura⁵⁴ de trabalhos de pesquisa nacional para levantar a quantidade de excreção de N das categorias do rebanho de maior relevância nacional, foi possível definir as taxas anuais de excreção de N para bovinos, suínos e aves. Incluíram-se também os ovinos e caprinos em função do razoável número de publicações existentes (Tabela 6.4). Para as demais categorias, optou-se por manter os valores-padrão do IPCC (2006).

Tabela 6.4. Taxa anual de excreção de N (N_{ex}) e massa corporal de um animal (TAM) típico das categorias de espécies do rebanho nacional.

Categoria animal	Subcategoria animal	N_{ex} ⁱ	TAM ⁱ	
		kg N/1000 kg de massa corporal	kg/cabeça animal	Referência
BOVINO DE CORTE (3.B.1.A)	Bovinos < 1 ano	102,2	163	Koury Filho <i>et al.</i> (2010); Yokoo <i>et al.</i> (2007); Reis <i>et al.</i> (2008); Gama (2017); Ferreira <i>et al.</i> (2019); Passafaro <i>et al.</i> (2016); Toral <i>et al.</i> (2009); Scot consultoria (2019) e IBGE (2019b).
	Bovinos 1 ano < 2 anos	102,2	293	
	Touros > 2 anos	102,2	550	
	Bovinos machos com 2 anos ou mais (não confinados)	102,2	389 _a	
			362 _b	
			389 _c	
			372 _d	
			406 _e	
	Bovinos fêmeas com 2 anos ou mais (não confinadas)	102,2	308 _a	
			288 _b	
			314 _c	
			329 _d	
	Outros bovinos com 2 anos ou mais (confinados)	102,2	314 _e	
			356 _a	
			331 _b	
			359 _c	
			358 _d	
			367 _e	
VACAS LEITEIRAS (3.B.1.B)	Alta produção	164,25	508 e 531	Toral <i>et al.</i> (2009); Scot consultoria (2019) e IBGE (2019b).
	Baixa produção	164,25	508 e 531	
SUÍNOS (3.B.3)	Reprodutores – industrial	109,5	155	Leal <i>et al.</i> (2015); Favaro; Bellaver (2019); Marinho <i>et al.</i> (2007); IBGE (2019b); ABCS (2014).
	Reprodutores – subsistência	109,5	155	
	Cria/recria – industrial	189,8	11	
	Cria/recria – subsistência	189,8	11	
	Terminação – industrial	189,8	34 _a ; 42 _b ; 58 _c ; 63 _d ; 62 _e .	
	Terminação – subsistência	189,8	34 _a ; 42 _b ; 58 _c ; 63 _d ; 62 _e .	
OUTROS ANIMAIS (3.B.4)	Galinhas e poedeiras	299,3	2,0	Figueiredo <i>et al.</i> (2003).
	Pintos, frangos e galos	357,7	0,95 _a ; 0,92 _{b,c} ; 0,81 _d ; 0,91 _e .	Stringhini <i>et al.</i> (2003); Rosa (2010); IBGE (2019b); Santos (2005).
	Codornas	219	0,18	IPCC (2006).
	Caprinos	383,3	30	IPCC (2006).

⁵⁴ Para a Categoria Animal Bovinos, consideraram-se 25 artigos que mediram a taxa de excreção de N para diferentes raças, sexos, idades e dietas. Para as demais espécies, foram encontrados 21 artigos, em sua maioria para suínos e ovinos.

Categoria animal	Subcategoria animal	<i>Nex'</i>	<i>TAM'</i>	
		kg N/1000 kg de massa corporal	kg/cabeça animal	Referência
	Ovinos	215,4	28	IPCC (2006).
	Bubalinos	116,8	380	IPCC (2006).
	Equinos	167,9	238	IPCC (2006).
	Muare	167,9	130	IPCC (2006).
	Asininos	167,9	130	IPCC (2006).

Legenda: *Nex*: Taxa anual de excreção de N; *TAM*: Massa corporal típica de um animal de dada categoria. a – peso animal médio (1990-2016) Norte; b – peso animal médio (1990-2016) Nordeste; c – peso animal médio (1990-2016) Sudeste; d – peso animal médio (1990-2016) Sul; e – peso animal médio (1990-2016) Centro-Oeste.

Os dados levantados⁵⁵ mostraram que para bovinos, frangos e bubalinos, os valores médios nacionais de taxa de excreção de N foram semelhantes aos valores-padrão do IPCC (2006). Suínos, ovinos e caprinos mostraram resultados muito discrepantes e sempre inferiores, embora no caso de caprinos e ovinos o valor padrão estivesse dentro do intervalo de dados medidos, mesmo que na faixa superior (Figura A.VI.3, Apêndice VI).

- Massa corporal animal (TAM)

A variável “TAM” corresponde à massa corporal do animal que representa a população de dada categoria, ou seja, a massa que corresponde à metade do intervalo de tempo considerado para a categorização por idade, utilizando as equações de ganho de peso corporal de cada componente do rebanho. Este parâmetro foi detalhado para bovinos, suínos e aves, dada a relevância dessas espécies para a produção de dejetos e pela disponibilidade de série de dados de produção de carcaça pelo IBGE.

- Bovinos

A determinação da massa corporal dos bovinos segue o mesmo enquadramento metodológico utilizado no Subsetor “Fermentação Entérica”.

- Suínos

Para os suínos, a função $PC = 143,9 / \{1 + \exp[-((t-112,3)/32,1)]\}$, que relaciona o peso corporal (PC) com o tempo de crescimento (t), foi obtida a partir de dados da Associação Brasileira de Criadores de Suínos (ABCS) (ABSC, 2014). A equação foi utilizada para obtenção do TAM para a categoria Aleitamento-creche aos 32 dias. Para a categoria terminação, a estimativa de TAM foi realizada a partir dos dados brutos trimestrais do IBGE (2019b; 2024a) de produção total de carcaça e número de animais abatidos, em âmbito estadual, no período de 1997 a 2016. O peso médio de carcaça foi calculado por região geográfica para cada ano de 1997 a 2016, pois nem todas as UFs possuíam dados disponíveis. Sobre os pesos de carcaça, aplicou-se o rendimento médio de carcaça de 72% (FAVARO; BELLAVER, 2001; MARINHO *et al.*, 2007), para se obter o peso médio anual de abate por região para cada ano, sendo mantido constante o valor observado em 2016 para o período de 2017 a 2022. O TAM foi calculado considerando-se que representa

⁵⁵ Para bovinos de corte e leite, reuniram-se 93 dados das diferentes publicações, enquanto para suínos e frangos foram identificados 19 dados. Para ovinos e caprinos foram levantados 48 e 16 estudos, respectivamente, e apenas 4 para cada uma das outras espécies.

53% do peso de abate, ou o peso corporal correspondente a metade do tempo entre a idade de 64 dias e a idade do peso de abate, obtido da equação do peso corporal mencionada acima utilizando-se os pesos de abate calculados a partir dos dados de produção de carcaça. Assumiu-se que não havia diferença de pesos entre animais industriais e de subsistência.

- Aves

No caso das galinhas poedeiras, a raça Leghorn é a principal utilizada na produção de ovos, com peso médio de 2,0 kg, de acordo com Figueiredo *et al.* (2003), podendo ser utilizada como referência. Para galinhas e codornas, os respectivos pesos médios foram obtidos da literatura, enquanto que para a categoria galos, pintos e frangos, foram utilizados os dados brutos trimestrais do IBGE (2019b) de produção total de carcaça e número de animais abatidos, em âmbito estadual no período de 1997 a 2016. O peso médio de carcaça foi calculado por região geográfica para cada ano de 1997 a 2016, pois nem todas as UFs possuíam dados disponíveis. Sobre os pesos de carcaça, aplicou-se o rendimento médio de carcaça de 85% (Stringhini *et al.*, 2003; Rosa *et al.*, 2010) para se obter o peso médio anual de abate por região para cada ano, sendo mantido o valor obtido em 2016 para o período de 2017 a 2022. O TAM foi calculado considerando-se que representa 38% do peso de abate, ou o peso corporal aos 22 dias, obtido das equações publicadas por Santos *et al.* (2005) para a raça Cobb para frangos ($PC = 5.723 \cdot \exp[-\exp(-0,039 \cdot (t-37))]$; $r^2 = 0,99$; $p < 0,001$) e frangas ($PC = 4.704 \cdot \exp[-\exp(-0,037 \cdot (t-36))]$; $r^2 = 0,99$; $p < 0,001$), assumindo-se população semelhante entre machos e fêmeas.

- Outros animais

Para as demais categorias animais o total de N presente em dejetos foi quantificado a partir dos dados de população, combinados com parâmetros da estimativa da excreção total de N nos dejetos ($N_{ex(T)}$), e da proporção do N excretado dos dejetos que passaram por manejo. A metodologia para estimar essa quantidade de N requer a taxa de excreção diária de N em kg ($N_{ex(T)}$) por 1.000 (kg^{-1}) de massa corporal de animais de cada categoria, e as respectivas massas típicas de 1 animal (TAM), em kg. Utilizaram-se os valores-padrão para TAM do Capítulo 10 das Guias IPCC (2006).

- Fatores de perda de N durante o tratamento dos dejetos

Durante o período em que os dejetos se encontram sob determinado manejo, ocorrem perdas de N por volatilização. Considera-se que as perdas por lixiviação/escorrimento são desprezíveis. Da mesma forma, durante o manejo, ocorrem emissões de N_2O . A estimativa dessas perdas implica a utilização de um fator sobre as quantidades de N manejadas.

- Volatilização

Utilizaram-se os fatores padrão de perdas, disponibilizados em IPCC (2006), tal como descrito na Tabela 6.5. Os fatores variam em função da espécie de animal do rebanho, pois se assumem peculiaridades do sistema de manejo que se adequa a cada uma. A fração não manejada dos dejetos é considerada nas estimativas para o manejo de solos agrícolas, pois é entendida como adição direta de N no sistema agrícola, ou seja, no solo de pastagens e de piquetes sobre piso com plantas. Os sistemas de compostagem e biodigestor, embora utilizados no Brasil para algumas das categorias de animais, não resultam em perdas de N por volatilização.

Tabela 6.5. Fator de perda de N por volatilização de amônia para cada manejo dos dejetos (FracGasMS), aplicado sobre as quantidades de N manejadas de cada categoria de animais do rebanho nacional.

Categoria de animal do rebanho	Sistema de manejo	<i>Frac_{GasMS}</i>
Bovinos de corte	Piso de confinamento (<i>Dry Lot</i>)	0,30
	Pilha/amontoa (<i>Solid storage</i>)	0,45
Vacas leiteiras	Lagoa anaeróbica (<i>Anaerobic lagoon</i>)	0,35
	Pilha/amontoa (<i>Solid storage</i>)	0,30
Suínos	Lagoa anaeróbica (<i>Anaerobic lagoon</i>)	0,40
	Armazenamento abaixo do piso (<i>Pit storage</i>)	0,25
	Lagoa com pouca adição de água (<i>Liquid/slurry</i>)	0,48
Aves	Acumulação no piso da granja (<i>Poultry without litter</i>)	0,55
	Acumulação sobre cama (<i>Poultry with litter</i>)	0,40

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (2006).

6.4.1.6 Sistemas de tratamento de dejetos animal e percentual de utilização de cada sistema (MS)

Os sistemas de tratamento de dejetos mais utilizados no Brasil, com a devida adequação de nomenclatura do IPCC (2006), atrelada à nomenclatura comumente utilizada no Brasil, são os seguintes: 1) Lagoa anaeróbica (*Anaerobic lagoon*), 2) Biodigestor (*Anaerobic digester*), 3) Armazenamento sólido (*Solid storage*), 4) Fossa de armazenamento (*Pit Storage*), 5) Lagoa com pouca adição de água (*Liquid/Slurry*), 6) Compostagem (*Composting*), 7) Criação de aves sem cama coletora de dejetos (*Poultry manure without litter*), 9) Criação de aves com cama coletora de dejetos (*Poultry manure with litter*).

Com relação ao percentual de utilização dos sistemas, para os bovinos jovens, bovinos machos e fêmeas com mais de 2 anos (não confinados), bubalinos, caprinos, ovinos, equinos, muare e asininos, considerou-se que 100% dos dejetos não passam por manejo. Para bovinos de corte confinados, bovinos de leite, suínos e aves considerou-se que esses animais estão totalmente ou parcialmente inseridos em sistemas de criação que manejam os dejetos.

As emissões de N₂O ocorrem de forma direta e indireta e são calculadas pela aplicação de fatores de emissão sobre as quantidades de N manejadas, no caso das emissões diretas, e sobre as quantidades perdidas por volatilização, no caso das emissões indiretas. Como não existem fatores desenvolvidos no Brasil, utilizaram-se fatores padrão do IPCC (2006), conforme Tabela 6.6.

Tabela 6.6. Fator de emissão direta de N₂O para estimativa das emissões de sistemas de manejo de dejetos.

Sistema	Fator de emissão (EF)
Pilha/amontoa (<i>Solid storage</i>)	0,005
Piso de confinamento (<i>Dry Lot</i>)	0,020
Lagoa com pouca adição de água (<i>Liquid/slurry</i>)	0,005
Armazenamento abaixo do piso (<i>Pit storage</i>)	0,002
Compostagem passiva (<i>Composting – passive windrow</i>)	0,010
Acumulação no piso da granja (<i>Poultry without litter</i>)	0,001
Acumulação sobre cama (<i>Poultry with litter</i>)	0,001

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (2006).

Os sistemas de manejo em lagoas anaeróbicas e biodigestores não produzem N₂O em função das condições extremas de potencial de oxirredução. Para as emissões indiretas de N₂O, aplica-se o fator de emissão padrão 0,01 sobre as quantidades de N volatilizadas, independentemente do manejo aplicado.

6.4.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Manejo de Dejetos (3.B) são citados na Seção 2.5 deste documento.

6.4.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CH₄ e N₂O do Manejo de Dejetos (3.B) é apresentada na Apêndice II.

O processo de atualização do Inventário Nacional considerou a revisão das séries históricas de dados populacionais para as diferentes categorias de animais. Em síntese, os principais ajustes decorrem de:

- *Bovinos (2017-2022)*: foram utilizadas as mesmas premissas percentuais dos inventários anteriores, para desagregação das categorias de bovinos de corte (por sexo, idade e tipo de confinamento animal) e bovino leiteiro (entre baixa e alta produção);
- *Suínos (2017-2022)*: foram utilizadas as mesmas premissas percentuais dos inventários anteriores, para desagregação das categorias de suínos (por finalidade produtiva); e
- *Asininos e muares (2013-2022)*: pela falta de dados de 2013 a 2022, foi realizada uma extrapolação linear dos dados (linha de tendência, pela variação média de 2008 a 2012—último ano da série).

Considerando os resultados consolidados do Inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, a maior proporção dos ajustes é verificada em 2020, com 1,1% de diferença entre emissões estimadas. Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de apenas 0,9%, e no período de 1990 a 2020, de 0,1%, o que demonstra a consistência da série temporal do subsetor (Figura 6.5).

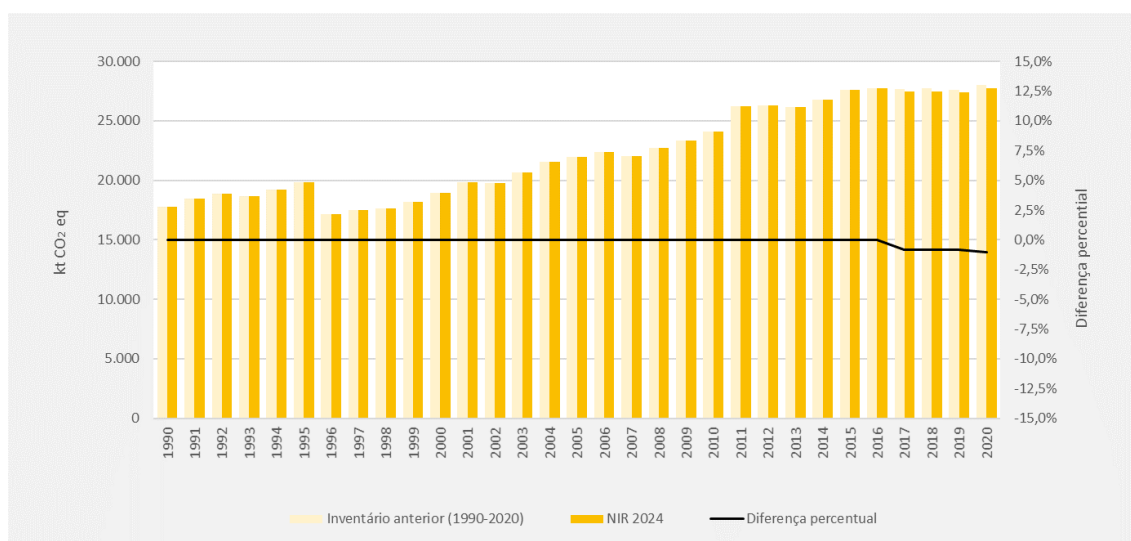


Figura 6.5. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Manejo de Dejetos (3.B) entre os inventários.

6.4.4 Plano de melhoria

A experiência acumulada na elaboração periódica dos Inventários Nacionais de GEE propiciou a proposição de uma série de medidas de melhoria da consistência e maior detalhamento dos resultados do Inventário no particular do Manejo de Dejetos (3.B).

O Quadro 6.13 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para implementação em futuras edições do inventário deste subsetor.

Quadro 6.13. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Manejo de Dejetos (3.B).

Subsetor	Categoria	Melhoria
3.B. MANEJO DE DEJETOS	Geral (todas as categorias)	Avaliar a possibilidade de estabelecer parcerias com associações e instituições de pesquisa para explorar possibilidades de obtenção de dados de proporções dos tipos de tratamento de dejetos por categoria animal.
	3.B.3. Suínos	- Ampliar diálogo com a Embrapa Suínos e Aves para avaliar a viabilidade de revisar valores de fatores locais das perdas por volatilização e revisitar as estimativas de N₂O do subsetor; - Avaliar a possibilidade da realização de Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias com associações de produtores, visando futuramente regionalizar índices de digestibilidade, peso vivo e consumo de ração para cada uma das categorias de suínos.

6.5 Cultivo de Arroz (CRT 3.C)

As emissões decorrentes do cultivo de arroz referem-se ao gás CH₄ e estão associadas ao sistema irrigado por inundação do solo, que cria condições anaeróbias para a decomposição da matéria orgânica, levando à geração de CH₄. No Brasil, a produção de arroz é desenvolvida em sistemas irrigado e sequeiro. A magnitude das emissões de CH₄ está fortemente associada à variação na área cultivada com o cereal no sistema irrigado, bem como à quantidade de material orgânico aportada ao solo. Porém, também podem sofrer alterações pela variação temporal da representatividade dos sistemas associados ao preparo do solo utilizados, como no caso do Rio Grande do Sul (convencional, preparo antecipado e outros sistemas), para o qual foram considerados fatores de emissão distintos, e, em consequência, as emissões de CH₄ foram influenciadas. Em Santa Catarina, por sua vez, as variações nas emissões de CH₄ sofreram ainda alguma influência de alterações no regime hídrico, no tipo e época de incorporação do material orgânico ao solo e na duração do período de cultivo do arroz.

Segundo a classificação quanto aos regimes hídricos de cultivo de arroz, estabelecida pelo IPCC (2006), no Brasil são desenvolvidas três subcategorias de cultivo de arroz irrigado: inundação contínua, inundação intermitente com aeração única e inundação intermitente com aeração múltipla. Dessas, a subcategoria inundação contínua responde por quase a totalidade da área nacional de arroz irrigado (Embrapa Arroz e Feijão, 2018). A categoria arroz de terras altas, nacionalmente conhecida como arroz de sequeiro, não gera emissões de CH₄, razão pela qual não é considerada para fins de contabilização de emissões de CH₄ neste NIR.

Em 2022, as emissões provenientes do Cultivo de Arroz Irrigado (3.C.1) foram estimadas em 11.901 kt CO₂ eq, ou seja, apenas 1,0% superiores às emissões de 2020 (11.779 kt CO₂ eq). As emissões estão associadas com a área cultivada em sistema irrigado, bem como com a quantidade de material orgânico aportada ao solo. A maior participação dentro do subsetor foi das emissões

provenientes do cultivo de Arroz Irrigado com Inundação Contínua (3.C.1.a) com 96% do total (Figura 6.6).

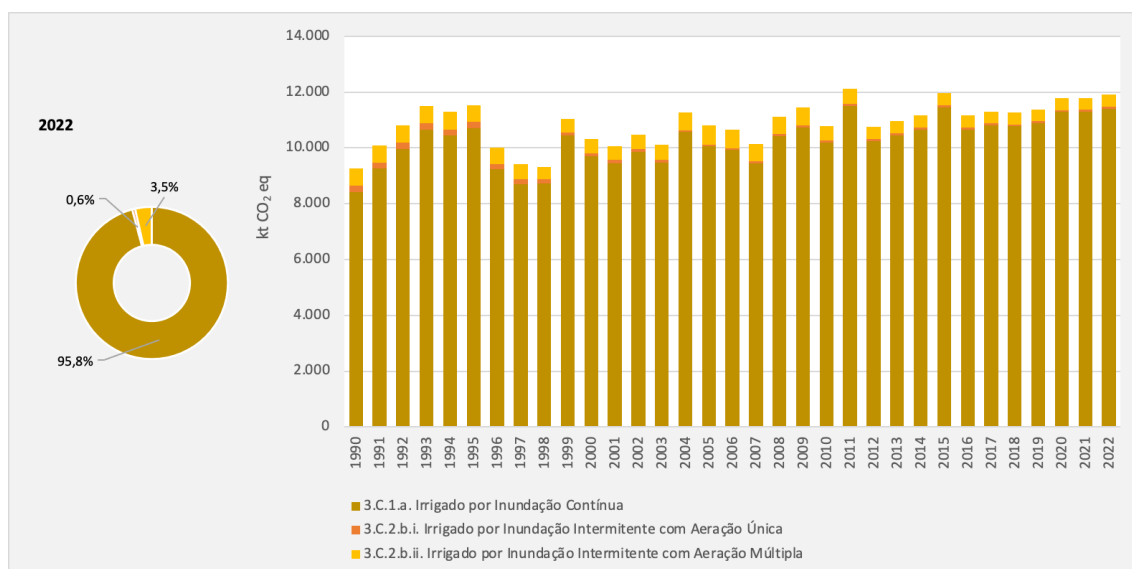


Figura 6.6. Emissões do Cultivo de Arroz (3.C), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

6.5.1 Aspectos metodológicos

Para o cálculo das emissões de CH₄ das categorias do Subsetor Cultivo de Arroz (3.C), foram utilizadas as equações 6.19 a 6.21, expostas no Quadro 6.14, com detalhamento metodológico *Tier 2* e *Tier 1*.

Quadro 6.14. Equações para estimar as emissões do Subsetor Cultivo de Arroz (3.C).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 6.19	CH ₄	3.C.1	$\text{Emissões de CH}_4 = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-6})$	Equação 5.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap.5)
Equação 6.20	CH ₄	3.C.1	$EF_{i,j,k} = EF_c \times SF_W \times SF_p \times SF_o \times SF_{s,r}$	Equação 5.2 (IPCC, 2006, v. 4, cap.5)
Equação 6.21	CH ₄	3.C.1	$SF = \left(1 + \sum_i ROA_i \times CFOA_i \right)^{0,59}$	Equação 5.3 (IPCC, 2006, v. 4, cap.5)

Em que:

CH₄ arroz = emissões anuais de CH₄ provenientes do cultivo de arroz, em Gg CH₄ ano⁻¹;
 EF_{i,j,k} = fator de emissão diário para as condições i, j, e k, em kg CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹;
 t_{i,j,k} = período de cultivo do arroz para as condições i, j, e k, em dia;
 A_{i,j,k} = área de arroz colhida anualmente, para as condições i, j, e k, em ha ano⁻¹;
 i, j e k = representam os diferentes ecossistemas, regimes de manejo da água, tipo e quantidade de material orgânico e outras condições que podem influenciar as emissões de CH₄ provenientes do cultivo de arroz;
 EF_i = fator de emissão diário para dada área colhida, em kg CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹;
 EF_c = fator de emissão da linha de base para áreas de cultivo de arroz irrigado por inundação contínua, sem aporte de material orgânico em kg CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹;

SF_w = fator de escala que explica as diferenças de regime hídrico durante o período de cultivo do arroz;
 SF_p = fator de escala que explica as diferenças de regime hídrico no período que antecede o cultivo do arroz (entressafra);
 SF_o = fator de escala que explica as variações no tipo e quantidade de material orgânico aportado ao solo;
 $SF_{s,r}$ = fator de escala para tipo de solo, cultivares de arroz, etc., se disponíveis;
 ROA_i = dose de material orgânico aplicado, com base em matéria seca para a palha do arroz e em matéria fresca para demais resíduos, em $t\ ha^{-1}$. No país assumiu-se que o parâmetro ROA_i corresponde a 80% da produtividade média de grãos de arroz⁵⁶; e
 $CFOA_i$ = fator de conversão para aporte de material orgânico, tendo como referência o efeito proporcionado pela aplicação de palha de arroz imediatamente antes do cultivo.

Para os dois níveis metodológicos, é adotada uma única equação (Equação 6.19) para a estimativa das emissões de CH_4 provenientes do cultivo de arroz, a qual associa fatores de emissão diários a períodos de cultivo e áreas cultivadas de arroz durante o ano. Nessa equação, destaca-se que, em áreas com cultivo de soca (palha) do arroz, o período de cultivo deve ser estendido pelo número de dias despendido nessa atividade. Por sua vez, nas áreas com mais de um cultivo ao longo do ano, considera-se área colhida o somatório da área cultivada em cada safra.

Considerando a ampla variabilidade das condições ambientais e de cultivo de arroz no Brasil, desagregou-se a área de arroz colhida no país em subunidades, representadas pelas 27 UFs. O fator de emissão padrão do IPCC (2006) foi adotado no cálculo das estimativas de emissão de CH_4 do cultivo de arroz para todas as unidades federativas, com exceção do Rio Grande do Sul, que, por dispor de fatores de emissão locais validados para os dois sistemas mais representativos de preparo do solo adotados (sistema convencional e preparo antecipado), teve ambos os sistemas considerados. O fator de emissão de CH_4 diário (EF_i) constante na Equação 6.19 foi calculado de acordo com a Equação 6.20.

O fator de escala SF_w explica as diferenças de regime hídrico durante o período de cultivo do arroz, ou seja, reflete o efeito associado do ecossistema (terras altas e terras baixas) e do regime de manejo da água (irrigado por inundação contínua ou intermitente; alimentado por chuvas e águas profundas). A metodologia IPCC (2006) propõe valores de referência para o fator de escala SF_w desagregados por regime hídrico para uso no cálculo de estimativas da emissão de CH_4 do cultivo de arroz. Nas condições de cultivo de arroz brasileiras, são identificados os seguintes regimes hídricos: terras altas/sequeiro; irrigado por inundação contínua; irrigado por inundação intermitente com aeração única e irrigado por inundação intermitente com aeração múltipla. Desses regimes, apenas os três últimos incidem em emissões de CH_4 , sendo considerados para fins de inventário, dado que o fator de escala que considera o regime hídrico durante o período de cultivo SF_w é nulo para cultivos de arroz de terras altas ou sequeiro.

Outro aspecto considerado no estabelecimento do fator de emissão de CH_4 do cultivo de arroz (EF_i) é o regime hídrico nas áreas no período que precede o cultivo, ou seja, durante a entressafra. Na quase totalidade das regiões de cultivo de arroz do Brasil, pratica-se uma única safra ao ano, de forma que as áreas são mantidas drenadas durante a entressafra por período superior a 180 dias. Uma exceção a esse comportamento ocorre no estado de Santa Catarina, especificamente nas regiões de Blumenau, Itajaí e Joinville, em que o período de tempo no qual o solo é mantido drenado durante a entressafra é menor que 180 dias, requerendo o uso de fator de escala SF_p distinto do restante do país. Contudo, destaca-se que esse fato ocorre a despeito de ser realizado apenas um cultivo de arroz ao ano nessas regiões.

⁵⁶ E utilizando-se como referência os valores de produtividade disponíveis na base de dados da Embrapa Arroz e Feijão (2018), que apresenta os dados por ano, desagregados por regime hídrico para todas as Unidades da Federação com registro de cultivo de arroz, de acordo com o censo agropecuário realizado pelo IBGE.

O último fator de escala considerado para o estabelecimento do fator de emissão de CH_4 do cultivo de arroz (EF_i) na metodologia IPCC (2006) é aquele que considera o aporte de material orgânico ao solo (SF_o). O estabelecimento desse fator é um pouco mais complexo que os anteriores, visto que exige o conhecimento de algumas variáveis, incluindo a tipificação e quantificação do material orgânico, bem como a época em que é incorporado ao solo relativamente ao período de cultivo do arroz. O fator de escala SF_o é determinado a partir da Equação 6.21.

Muito embora a metodologia IPCC (2006) preconize o uso de fator de escala que considere variações no tipo de solo (SF_s) e entre cultivares de arroz (SF_r) para o estabelecimento do fator de emissão diário de CH_4 (EF_i), a grande variabilidade dos dados disponíveis inviabilizou, até o presente momento, a indicação de valores-padrão que considerem tais variáveis. Dessa forma, e na ausência de fatores de escala locais que as considerem, fatores de escala para tipos de solo e cultivares de arroz não foram utilizados nas estimativas de emissões de CH_4 no presente Inventário.

Dados de atividades e outros parâmetros

A magnitude das emissões de CH_4 está associada ao período em que o solo é mantido inundado, visto que o CH_4 é o produto da decomposição do material orgânico em condições anaeróbias, estabelecidas pela inundação do solo.

Considerando-se que, na maior parte do Brasil, o arroz é produzido em sistema de semeadura em solo seco, no qual o início da irrigação da cultura ocorre normalmente entre 2 a 4 semanas após a emergência das plântulas, assumiu-se, para fins de estimativa de emissões de CH_4 , a duração média do período de manutenção do solo inundado, ou seja, descontou-se do período total o intervalo de tempo em que o solo é mantido seco. Na maior parte do território nacional o período de cultivo no Sistema Convencional (SC) e Preparo Antecipado (PA) é de 100 dias, e outros preparos de 130 dias (Brasil, 2016). Contrariamente, nas áreas cultivadas em sistema pré-germinado, que é predominante em Santa Catarina e na subcategoria “outros sistemas” de preparo do solo do Rio Grande do Sul, considerou-se o período de cultivo estendendo-se da semeadura à maturação do arroz, visto que esse sistema pressupõe a semeadura do arroz em solo inundado. A inclusão destas considerações foi resultado de consulta a especialistas e a consulta a especialistas de instituições de pesquisa e extensão rural nacionais, particularmente da Embrapa Arroz e Feijão, Epagri e Embrapa Clima Temperado.

- Área colhida de arroz estratificada por regime hídrico

Esta variável inclui as seguintes categorias: i) arroz de terras altas/sequeiro, ii) arroz irrigado por inundação contínua, iii) arroz irrigado por inundação intermitente com aeração única e iv) arroz irrigado por inundação intermitente com aeração múltipla.

Para fins de estimativa de emissões de CH_4 , utilizaram-se os dados desagregados por UF, com exceção do estado de Santa Catarina, para o qual as áreas de cultivo de arroz foram separadas, ainda, em sete regiões produtoras (Araranguá, Blumenau, Criciúma, Itajaí, Joinville, Rio do Sul e Tubarão), que se distinguem quanto ao regime hídrico durante e anteriormente ao cultivo de arroz e ao tipo e quantidade de material orgânico aportado ao solo. Por sua vez, para o Rio Grande do Sul, a área colhida de arroz foi subdividida entre os sistemas de preparo do solo (convencional, preparo antecipado e outros sistemas).

As informações de área colhida de arroz estratificadas por regime hídrico e UF foram obtidas, preponderantemente, junto à Central de Dados de Economia da Embrapa Arroz e Feijão, que tem como fonte de dados a CONAB, o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) do

IBGE/CEPAGRO e o DCI/IRGA. Em decorrência da falta de dados do regime irrigado por inundação intermitente com aeração única, na informação fornecida pela Embrapa Arroz e Feijão (2018), para algumas UFs em diferentes períodos, os dados de área cultivada de arroz utilizados para o cálculo das estimativas incorporam ajustes resultantes da comparação das bases de dados oficiais disponíveis com as informações de literatura e especialistas locais.

Na Tabela 6.7, a seguir, apresenta o resumo dos dados de atividade utilizados e sua fonte de dados.

Tabela 6.7. Resumo dos dados de atividade utilizados no cálculo de emissões de CH₄ do cultivo de arroz no Brasil.

Dados de atividade	Nível de desagregação	Fonte dos dados	Observações
Área cultivada (ha)	Estadual ¹	Embrapa Arroz e Feijão (2018)	Estratificada por regime hídrico
Área cultivada (ha)	Regional ²	Embrapa Arroz e Feijão (2018); Comunicação Pessoal – Epagri	Estratificada por regime hídrico
Período de cultivo (dia)	Estadual ¹	Comunicação Pessoal – Embrapa	Estratificado por sistema de semeadura
Período de cultivo (dia)	Regional ²	Comunicação Pessoal – Epagri	Estratificado por ciclo de cultivar

Nota: ¹ Utilizado em todas as Unidades da Federação, com exceção de Santa Catarina. ² Utilizado em Santa Catarina.

Os dados de área colhida de arroz por regime de fornecimento de água até 2019 foram atualizados por UF com valores disponibilizados pela Central de Dados de Economia da Embrapa Arroz e Feijão (Embrapa, 2021), que tem como fonte de dados o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA do IBGE/CEPAGRO, CONAB e DCI/IRGA. Especificamente para o estado do Rio Grande do Sul, principal produtor nacional do cereal, foram utilizados dados de área para sistemas de preparo do solo fornecidos pelo Setor de Política Setorial do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA). Em razão da falta de dados no âmbito de UF para o período de 2020 a 2022, a atualização dos dados da área colhida foi feita considerando apenas dados em nível país provenientes do Informe sobre Estatística da Produção 2023 da Embrapa Arroz e Feijão (Embrapa, 2024). Consequentemente, a estimativa das emissões de CH₄ foram feitas somente para o nível nacional, sob as seguintes premissas e hipóteses:

- Segundo a Embrapa (2020), apoiada em dados da Conab (2018), o predomínio do sistema irrigado, tanto área plantada, quanto rendimento médio e produção relativa, é na Região Sul do país. Desde 1995, a Região Sul é responsável pela maior área plantada com arroz no país, e está concentrada principalmente nos estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina;
- Segundo a Embrapa (2023), 93,1% do total da produção nacional de arroz em 2022, foi proveniente do sistema de cultivo irrigado com irrigação controlada, seguido pelo sistema de arroz de terras altas com representatividade de 6,9% e pelo arroz irrigado sem irrigação controlada ou de várzea natural, que não registrou dados de produção, possivelmente por se tornar inoperante; e
- De acordo com dados de 2013-2022 da Embrapa (2023) se verifica (Tabela 6.8), por um lado, a partir de 2018 ao redor de 75% da área total colhida de arroz corresponde ao sistema irrigado com irrigação controlada, e o restante a área colhida com o arroz de terras altas, o qual teve uma redução continua desde 2013, acumulando um decréscimo de 67,1% até 2022. Por outro lado, a partir de 2018 a área colhida do arroz irrigado sem

irrigação controlada, passou a não ser mais contabilizada na estatística da produção do arroz, muito provavelmente por ceder espaço a outras culturas ou se tornarem áreas de preservação ambiental.

Tabela 6.8. Evolução da área colhida de arroz nos sistemas de cultivo, no período de 2013 a 2022, no Brasil.

Ano agrícola	Sistema de Cultivo			Total (1.000 ha)
	Terras altas (1.000 ha)	Irrigado com irrigação controlada (1.000 ha)	Irrigado sem irrigação controlada (1.000 ha)	
2013	943	1.405	1	2.349
2014	911	1.438	1	2.350
2015	694	1.448	1	2.143
2016	564	1.375	1	1.940
2017	597	1.432	1	2.030
2018	482	1.387	-	1.869
2019	406	1.299	-	1.705
2020	382	1.298	-	1.680
2021	380	1.300	-	1.680
2022	310	1.312	-	1.622

Fonte: Dados do IBGE/LSPA – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, adaptados por Silva, O. F. da, na Embrapa Arroz e Feijão/Núcleo de Socioeconomia (2023).

Com base nessas premissas, para o cálculo das emissões de CH₄ de 2020 a 2022 por inundação contínua, considerou-se um período de cultivo de 110 dias, equivalente à média dos valores dos períodos de cultivo no sistema convencional e preparo antecipado (100 dias) e outros (130 dias) utilizado no cálculo das emissões de CH₄ dos anos pretéritos da série histórica, e um fator de emissão médio ponderado de 2,97 para o Rio Grande do Sul, estimado com base na média histórica 2010-2022 dos três sistemas de preparo do solo (67% PA, 22% SC, 11% Outros). Para as demais UF's, utilizou-se o fator de emissão médio de 2,38 estimado para o mesmo período. Para o cálculo das emissões por inundação intermitente, com aeração única e múltipla, se utilizaram os valores de 2,62 e 15,07, respectivamente, que correspondem aos valores aplicados na série temporal 2017 até 2019.

Para estimar as emissões de CH₄ do cultivo de arroz, definiram-se os fatores de emissão de CH₄ diários (EF_i) para cada ano da série temporal, UF e categoria de cultivo de arroz. O fator de emissão EF_i varia com o regime hídrico durante e no período que antecede o cultivo de arroz, o tipo, a quantidade e a época de incorporação de material orgânico ao solo, entre outros aspectos que são incorporados na Equação 6.20.

O Quadro 6.15 resume os fatores de emissão e parâmetros que foram utilizados para o cálculo das emissões de CH₄ do subsetor.

Quadro 6.15. Resumo dos fatores de emissão e parâmetros utilizados no cálculo das emissões de CH₄ do cultivo de arroz.

Categorias	Produto	Fatores de emissão	Referência
3.C.	EF _i	Diversos (Apêndices 1 a 29 ¹)	Apêndices 1 a 29 ¹ (IPCC, 2006, v. 4, cap.5)
3.C. Inundação contínua	EF _i para o sistema convencional de preparo de solo no RS	3,6	Bayer <i>et al.</i> (2015)

Categorias	Produto	Fatores de emissão	Referência
3.C. Inundação contínua	EF _i para o sistema de preparo antecipado do solo no RS	2,8	Bayer <i>et al.</i> (2015)
3.C.	EF _c	1,32	Yan <i>et al.</i> (2005)
3.C.	SF _w	Tabela 7 ²	Yan <i>et al.</i> (2005)
3.C.	SF _p	Tabela 8 ²	Yan <i>et al.</i> (2005)
3.C.	SF _o	Diversos (Apêndices 1 a 29 ¹)	IPCC (2006, v. 4, cap. 5)
3.C.	ROA _i	Diversos (Apêndice 30)	Embrapa Arroz e Feijão (2018)
3.C.	ROA _i	2 Mg ha ⁻¹ (palha de arroz) 4 Mg ha ⁻¹ (dejetos)	Epagri (2019)
3.C.	CFOA _i	Tabela 92	Yan <i>et al.</i> (2005)

Nota: ¹ Adotou-se o fator de emissão padrão do IPCC (2006) apenas na Subcategoria “Outros sistemas de preparo do solo”; ² Tabelas e Apêndices indicados constam no Relatório de Referência do Subsetor do Inventário da Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2021).

6.5.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Cultivo de Arroz (3.C) são citados na Seção 2.5 deste documento.

6.5.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CO₂ do Cultivo de Arroz (3.C) é apresentada na Apêndice II.

O processo de atualização do NIR 2024 considerou a revisão da série histórica dos dados de cultivo de arroz, e a atualização dos valores para os anos entre 2020 e 2022. Em síntese, os principais ajustes decorrem de:

- *Área colhida de arroz (1990-2022)*: atualizados por UF com valores disponibilizados pela Central de Dados de Economia da Embrapa Arroz e Feijão (Embrapa, 2021), que tem como fonte de dados o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA do IBGE/Cepagro, Conab e DCI/IRGA. Especificamente para o estado do Rio Grande do Sul, foram utilizados dados de área para sistemas de preparo do solo fornecidos pelo Setor de Política Setorial do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).

Considerando os resultados consolidados do Inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, a maior proporção dos ajustes é verificada em 2020, com 5,8% de diferença entre emissões estimadas. Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de apenas 1,5%, e no período de 1990 a 2020, de 0,2%, o que demonstra a consistência da série temporal do subsetor (Figura 6.7).

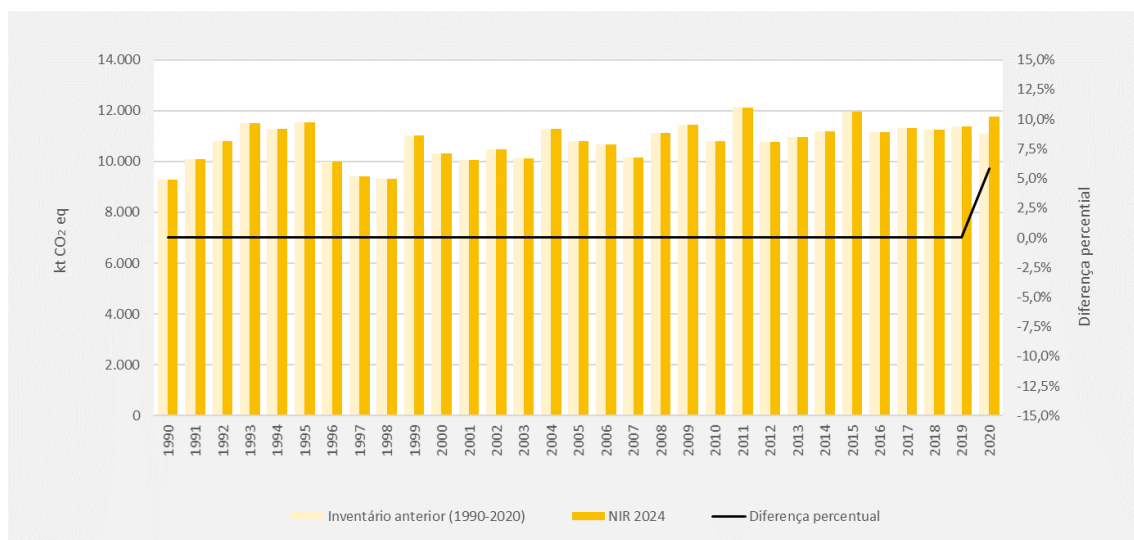


Figura 6.7. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Cultivo de Arroz (3.C) entre os inventários.

6.5.4 Plano de melhoria

A experiência acumulada na elaboração periódica dos Inventários Nacionais de GEE propiciou a proposição de uma série de medidas de melhoria da consistência e maior detalhamento dos resultados do Inventário no particular do Cultivo de Arroz (3.C).

O Quadro 6.16 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para implementação em futuras edições do inventário deste subsetor.

Quadro 6.16. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Cultivo de Arroz (3.C).

Subsetor	Categoria	Melhoria
3.C. CULTIVO DE ARROZ	Geral (todas as categorias)	▪ Alinhar Acordo de Cooperação Técnica ou parceria com Embrapa Arroz e Feijão com objetivo de facilitar a obtenção de dados do período de cultivo de arroz; ▪ Realizar revisão de literatura acerca dos parâmetros associados aos fatores de escala (SFw, SFp e SFo) que influenciam a magnitude do EF_i.

6.6 Solos Manejados (CRT 3.D)

As emissões de N₂O de solos são decorrentes do processo de nitrificação e desnitrificação pelo aumento da quantidade de Nitrogênio (N) no solo, em função da utilização de insumos e do manejo das plantas e do solo, o que resulta em emissões diretas e indiretas de N₂O. Assim as emissões podem ser decorrentes da aplicação de fertilizantes nitrogenados (sintéticos e orgânicos – de origem animal), deposição e incorporação de resíduos de colheita de cultivos e da renovação de pastagens, deposição de dejetos animais diretamente no solo (dejetos não manejados), mineralização de nitrogênio resultante da perda de matéria orgânica do solo, e pelo manejo de solos orgânicos.

No Brasil, a agricultura tem sido cada vez mais intensificada, com crescente utilização de insumos como fertilizantes e adubos orgânicos e operações agrícolas. No entanto, a adoção de fixação biológica de nitrogênio, em substituição ao uso de fertilizantes nitrogenados, no Brasil tem contribuído para uma importante redução nas emissões de N₂O no país. Estima-se que entre 2010 e 2016 a adoção da fixação biológica de nitrogênio em uma área cultivada de 10 milhões de hectares contribuiu com uma redução de 10.000 kt CO₂ eq no país (Manzatto *et al.*, 2020).

As emissões de Solos Manejados (3.D) totalizaram 145.078 kt CO₂ eq em 2022 e foram produzidas em grande parte pelas Emissões Diretas de N₂O de Solos Manejados (3.D.1) com 77% do volume emitido. Das emissões diretas, a Deposição de Dejetos em Pastagem (3.D.1.c) foi a mais representativa, com 36% das emissões totais do subsetor. Em seguida, a categoria Resíduos Agrícolas (3.D.1.d) representou 21% e incluiu as emissões de culturas permanentes e temporárias. As Emissões Indiretas de N₂O de Solos Manejados (3.D.2), que ocorrem após a deposição do nitrogênio volatilizado e lixiviado, corresponderam a 23% do total do subsetor em 2022. Em comparação as emissões de 2020 (141.045 kt CO₂ eq), as emissões de 2022 apresentaram um aumento de 3% (Figura 6.8).

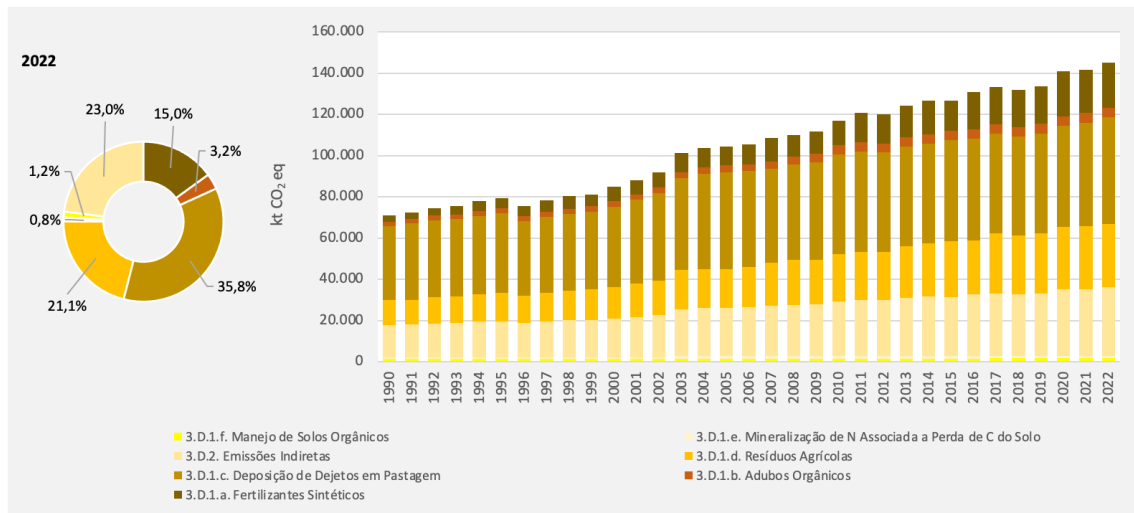


Figura 6.8. Emissões do Solos Manejados (3.D), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

6.6.1 Aspectos metodológicos

Para o cálculo das emissões de N₂O das categorias do Subsetor Solos Manejados (3.D) foram utilizadas as equações 6.22 a 6.29, expostas no Quadro 6.17, com detalhamento metodológico *Tier 2* e *Tier 1*.

Quadro 6.17. Equações para estimar as emissões do Subsetor Solos Manejados (3.D).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 6.22	N ₂ O	3.D.1.a, 3.D.1.b, 3.D.1.c, 3.D.1.d, 3.D.1.e, 3.D.1.f	$N_2O_{direct} - N = N_2O - N_{N_{inputs}} + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP}$	Equação 11.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
Equação 6.23	N ₂ O	3.D.1.a, 3.D.1.b, 3.D.1.c, 3.D.1.d, 3.D.1.e, 3.D.1.f	$N_2O - N_{N_{inputs}} = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_1] + [(F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} \times EF_{1FR}]$	Equação 11.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
Equação 6.24	N ₂ O	3.D.1.b.	$N_2O - N_{OS} = (F_{OS,CG,Temp} \times EF_{2CG,Temp}) + (F_{OS,CG,Trop} \times EF_{2CG,Trop}) + (F_{OS,F,Temp,NR} \times EF_{2F,Temp,NR}) + (F_{OS,F,Temp,NP} \times EF_{2F,Temp,NP}) + (F_{OS,F,Trop} \times EF_{2F,Trop})$	Equação 11.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
Equação 6.25	N ₂ O	3.D.1.c.	$N_2O - N_{PRP} = (F_{PRP,CPP} \times EF_{3PRP,CPP}) + (F_{PRP,SO} \times EF_{3PRP,SO})$	Equação 11.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
Equação 6.26	N ₂ O	3.D.1.d.	$FCR = \frac{\sum_T \{Frac_{renew(T)} \times [(Area(T) - Area_{burnt(T)} \times CF) \times AG_{DM(T)} \times 1000 \times N_{AG(T)} \times (1 - Frac_{remove(T)})]\}}{N_{AG(T)}}$	Equação 11.6 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
Equação 6.27	N ₂ O	3.D.1.e.	$\Delta C_{mineral} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$ $SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF,c,s,i} \times F_{LUC,s,i} \times F_{MGC,s,i} \times F_{IC,s,i} \times A_{c,s,i})$	Equação 2.25 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 2)
Equação 6.28	N ₂ O	3.D.2.a	$N_2O_{(ATD)} - N = \left\{ \sum_i (F_{SNI} \times Frac_{GASFi}) + [(F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{GASM}] \right\} \times EF_4$	Equação 11.11 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)

Equação 6.29	N ₂ O	3.D.2.b	$N_2O_{(L)} - N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \times \text{Frac}_{\text{LEACH}-(H)} \times EF_5$	Equação 11.10 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)

Em que:

N₂O_{Direct} - N = emissões diretas anuais de N₂O-N produzidas a partir de solos manejados, kg N₂O-N ano⁻¹;

Insumos de N₂O-NN = emissões anuais diretas de N₂O-N provenientes de insumos de N para solos manejados, kg N₂O-N ano⁻¹;

N₂O-NOS = emissões diretas anuais de N₂O-N de solos orgânicos manejados, kg N₂O-N ano⁻¹;

N₂O-NPRP = emissões diretas anuais de N₂O-N provenientes de insumos de urina e esterco para solos pastoreados, kg N₂O-N ano⁻¹;

FSN = quantidade anual de fertilizante sintético N aplicado aos solos, kg N ano⁻¹;

FON = quantidade anual de adições orgânicas de N aplicadas aos solos (dejetos, resíduos industriais, vinhaça, etc), kg N ano⁻¹;

TCA = quantidade anual de N em resíduos de culturas (acima e abaixo do solo), incluindo culturas fixadoras de N, e provenientes da renovação de forragens/pastagens, devolvido ao solo, kg N ano⁻¹;

F_{SOM} = quantidade anual de N em solos minerais que é mineralizado, em associação com a perda de C do solo a partir da matéria orgânica do solo como resultado de mudanças no uso ou manejo da terra, kg N ano⁻¹;

F_{OS} = área anual de solos orgânicos manejados/drenados, ha (Nota: os subscritos CG, F, Temp, Trop, NR e NP referem-se a terras agrícolas e pastagens, terras florestais, temperadas, tropicais, ricas em nutrientes e pobres em nutrientes, respectivamente);

F_{PRP} = quantidade anual de N na urina e no esterco depositado por animais em pasto, pasto e piquete, kg N ano⁻¹ (Nota: os subscritos CPP e SO referem-se a Bovinos, Aves e Suínos, e Ovinos e Outros animais, respectivamente);

EF₁ = fator de emissão para emissões de N₂O provenientes de entradas de N, kg N₂O-N (kg entrada de N)⁻¹ (Tabela 11.1);

EF_{1FR} = fator de emissão para emissões de N₂O provenientes de entradas de N no arroz inundado, kg N₂O-N (kg entrada de N)⁻¹ (Tabela 11.1);

EF₂ = fator de emissão para emissões de N₂O provenientes de solos orgânicos drenados/manejados, kg N₂O-N ha⁻¹ ano⁻¹; (Tabela 11.1) (Nota: os subscritos CG, F, Temp, Trop, NR e NP referem-se a Terras Cultivadas e Pastagens, Terras Florestais, Temperadas, Tropicais, Ricas em Nutrientes e Pobres em Nutrientes, respectivamente);

EF_{3PRP} = fator de emissão para emissões de N₂O provenientes da urina e N do esterco depositado em pastagens, pastagens e piquetes por animais em pastejo, kg N₂O-N (kg N insumo)⁻¹; (Tabela 11.1) (Nota: os subscritos CPP e SO referem-se a Bovinos, Aves e Suínos, e Ovinos e Outros animais, respectivamente);

Cultura_(T) = produção anual de matéria seca colhida para a cultura T, kg d.m. ha⁻¹;

Área_(T) = área total anual colhida da cultura T, ha ano⁻¹;

Área queimada_(T) = área anual da cultura T queimada, ha ano⁻¹;

Cf = fator de combustão (adimensional) (ver Capítulo 2, Tabela 2.6);

FracRenew_(T) = fração da área total cultivada com a cultura T que é renovada anualmente. Para países onde as pastagens são renovadas em média a cada X anos, FracRenew = 1/X. Para culturas anuais FracRenew = 1;

RAG_(T) = relação entre a matéria seca dos resíduos acima do solo (AGMS_(T)) e a produtividade colhida da cultura T (Crop_(T)), kg d.m. (kg d.m.)⁻¹, = AGDM_(T) x 1000 / Cultura_(T) (calculando AGDM_(T) a partir das informações da Tabela 11.2);

NAG_(T) = teor de N dos resíduos acima do solo para a cultura T, kg N (kg d.m.)⁻¹, (Tabela 11.2, cap. 11, v. 4, IPCC, 2006);

FracRemove_(T) = fração de resíduos acima do solo da cultura T removidos anualmente para fins como alimentação, cama e construção, kg N (kg cultura-N)⁻¹;

RBG_(T) = relação entre resíduos subterrâneos e produtividade colhida para a cultura T, kg d.m. (kg d.m.)⁻¹. Quando não disponível, o RBG_(T) foi calculado multiplicando o RBG-BIO na (Tabela 11.2, cap. 11, v.4, IPCC, 2006) pela razão entre a biomassa total acima do solo e o rendimento da cultura (RBG_(T) = [(AGDM_(T) x 1000 + Cultura_(T)) / Crop_(T)]), (calculando também AGDM_(T) a partir das informações da Tabela 11.2);

NBG_(T) = teor de N dos resíduos subterrâneos da cultura T, kg N (kg d.m.)⁻¹, (Tabela 11.2);

T = cultura ou tipo de forragem;

$\Delta C_{\text{Mineral}}$ = mudança anual nos estoques de carbono em solos minerais, toneladas C ano⁻¹;
 SOC_0 = estoque de carbono orgânico do solo no último ano de um período de inventário, toneladas C;
 $SOC_{(0-T)}$ = estoque de carbono orgânico do solo no início do período de inventário, toneladas C
 SOC_0 e $SOC_{(0-T)}$ são calculados usando a equação SOC na caixa onde os estoques de carbono de referência e os fatores de mudança de estoque são atribuídos de acordo com as atividades de uso e manejo da terra e áreas correspondentes em cada um dos momentos (tempo = 0 e tempo = 0-T);
 T = número de anos durante um único período de inventário, ano;
 D = Dependência temporal dos fatores de mudança de estoque, que é o período de tempo padrão para transição entre os valores de equilíbrio do SOC, ano. Geralmente 20 anos, mas depende de suposições feitas no cálculo dos fatores GRIPE, FMG e FI. Se T exceder D , use o valor de T para obter uma taxa anual de variação durante o período de inventário (0-T anos);
 c = representa as zonas climáticas, s os tipos de solo e i o conjunto de sistemas de gestão que estão presentes num país;
 SOC_{REF} = estoque de carbono de referência, toneladas C ha⁻¹ (Tabela 2.3);
 FLU = fator de mudança de estoque para sistemas ou subsistemas de uso da terra para um determinado uso da terra, adimensional [Nota: FND é substituído por FLU no cálculo C do solo florestal para estimar a influência dos regimes de perturbação natural];
 FMG = fator de variação de estoque para regime de manejo, adimensional;
 F_I = fator de variação de estoque para entrada de matéria orgânica, adimensional; e
 A = área do estrato estimado, ha. Todas as terras no estrato devem ter condições biofísicas comuns (ou seja, clima e tipo de solo) e histórico de gestão durante o período do inventário a serem tratadas em conjunto para fins analíticos.

Dados de atividades e outros parâmetros

6.6.1.1 Emissões Diretas

- Fertilizantes Sintéticos (F_{SN})

A quantidade de N na forma de fertilizante aplicada aos solos (F_{SN}), em kg N ano⁻¹, foi obtida dos anuários estatísticos da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), em que são apresentados dados anuais sobre estoques, produção, importação e exportação por tipo de fertilizante (1990 a 2020), com dados desagregados ao âmbito estadual. Pela indisponibilidade de dados a partir de 2020, uma vez que a ANDA ainda não havia disponibilizado os dados do Anuário 2022, foi feita uma extrapolação linear para os anos 2021 e 2022, com os dados dos cinco anos anteriores (2016-2020).

Os anuários da ANDA informam a quantidade de fertilizantes entregues ao consumidor final, o que foi considerado como fertilizante utilizado na UF. De 1990 a 2012, a ANDA relatava a quantidade de N total entregue na região Norte, sem desagregação por UF, exceto Tocantins, que tinha informação individualizada, tal como as UFs das demais regiões do país. Para que a série fosse completada, considerou-se que as proporções por UF do total de N em fertilizantes da região Norte em 2013, excetuando-se Tocantins, corresponderam aos anos anteriores até 1990, permitindo a distribuição dos totais da região entre as UFs.

Para estimar a quantidade de N fertilizante aplicada na cultura do arroz inundado, utilizou-se a área total ocupada pela cultura relatada pelo IBGE e a proporção da área total de arroz utilizada como arroz inundado (arroz irrigado, terras baixas) estimada no Inventário da Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2021). A quantidade de N utilizada nessas áreas foi estimada pela multiplicação da área de arroz inundado por 70 kg N ha⁻¹, assumida como uma média da recomendação de fertilização por especialistas da Embrapa Clima Temperado (2018)⁵⁷ para solos com teores médios de matéria orgânica e para uma expectativa de média produção.

⁵⁷ Valor recomendado em reunião técnica sobre a cultura do arroz irrigado na Embrapa Clima Temperado.

- Adubos Orgânicos (F_{ON})

O total de N de adubos orgânicos correspondeu àquele presente nos dejetos manejados (F_{ON}), na vinhaça e na torta de filtro (F_{OOA}) produzidas na indústria sucroalcooleira que retornam anualmente aos solos agrícolas.

- Dejetos (F_{AM})

Foram consideradas como dados de atividade as populações das espécies do rebanho nacional com seus níveis de desagregação, tal como relatado nos Subsetores Fermentação Entérica (3.A) e Manejo de Dejetos (3.B).

Parte do total de N nos dejetos é perdida por volatilização, processo que se inicia no local onde estão os animais e continua durante o manejo dos dejetos, onde a quantidade que realmente é utilizada como fertilizante deve ser deduzida dessas perdas. O IPCC (2006) possui fatores-padrão, apresentados na Tabela 6.9, para se estimar as perdas por volatilização, os quais são aplicados sobre as quantidades totais de N de dejetos que passam por manejo.

Tabela 6.9. Fatores de perda de N ($FracLoss_{MS}$) que incluem as perdas de N desde o local ocupado pelos animais até o local de manejo dos dejetos.

Categoria de animal do rebanho	Sistema de manejo	$FracLoss_{MS}$
Bovinos de corte	Piso de confinamento (<i>Dry Lot</i>)	0,40
	Pilha/amontoa (<i>Solid storage</i>)	0,50
Bovinos de leite	Lagoa anaeróbica (<i>Anaerobic lagoon</i>)	0,77
	Pilha/amontoa (<i>Solid storage</i>)	0,40
Suíno	Lagoa anaeróbica (<i>Anaerobic lagoon</i>)	0,78
	Armazenamento abaixo do piso (<i>Pit storage</i>)	0,25
	Lagoa com pouca adição de água (<i>Liquid/slurry</i>)	0,48
Aves	Acumulação no piso da granja (<i>Poultry without litter</i>)	0,55
	Acumulação sobre cama (<i>Poultry with litter</i>)	0,50

Fonte: IPCC (2006, v. 4, cap. 11); $FracLoss_{MS}$ é a fração do N em determinado sistema de manejo que é perdido e não contabilizado como adubo orgânico.

- Vinhaça e Torta de Filtro (F_{OOA})

Com os dados de produção de etanol e açúcar obtidos da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) compreendendo toda a série histórica do inventário, foram aplicados parâmetros obtidos da literatura que permitiram calcular o volume de vinhaça e a massa de torta de filtro, e as respectivas quantidades de N.

Os totais de N na vinhaça e na torta de filtro foram estimados a partir de revisão de literatura especializada (Elia Neto; Nakahodo, 1995; Siqueira Neto *et al.* 2016; Elia Neto 2016).

Para vinhaça, utilizaram-se os valores encontrados por Elia Neto (2016) para estimativa de produção de vinhaça, isto é, para cada litro de etanol produzido é gerada uma média de 11,5 litros de vinhaça, com uma concentração média de $0,433 \text{ kg N m}^{-3}$. Segundo vários estudos (Carmo *et al.*, 2013; Paredes *et al.*, 2014; Siqueira Neto *et al.*, 2016), a vinhaça tem contribuição nas emissões de N_2O pela utilização como adubo orgânico, mas a perda de N por volatilização na forma de NH_3 segundo Paredes *et al.* (2014) parece não ocorrer de forma significativa na vinhaça, tendo contribuição apenas nas emissões diretas de N_2O . A torta de filtro é um resíduo procedente dos procedimentos industriais da cana-de-açúcar em razão do processo de filtração do caldo extraído no filtro rotativo a vácuo, em que cada tonelada de cana-de-açúcar filtrada resulta em cerca de 40 kg de torta de filtro (Gurgel, 2012; Bernardinho *et al.*, 2018; Bonassa *et al.*, 2015).

Sua utilização na agricultura pode complementar as adubações minerais, por isso tem sido utilizada em larga escala no país (Gurgel, 2012). Diferentes valores sobre o teor de nitrogênio na torta de filtro têm se gerado em pesquisas. Gurgel (2012) estimou em cerca de 0,4%, Embrapa (2019a) apenas 0,28%, Tellecha (2015) entre 1 e 1,4%. Bernardinho *et al.* (2018) relata valores vão de 0,95% a 1,87%. Para o cálculo da quantidade de N presente na torta de filtro, foi considerado o valor de 1,5% (15 g N kg⁻¹ de torta de filtro), correspondente ao valor médio de teor de N relatado por Bernardinho *et al.* (2018).

Para a estimativa do total de torta de filtro produzida, foi considerado que para a produção de uma tonelada de açúcar são necessárias, em média, 8,5 toneladas de cana-de-açúcar como matéria-prima e há uma geração de 0,085 m³ de etanol com o mel residual. E, de acordo com Cortez *et al.* (1992), cada tonelada de cana-de-açúcar produz aproximadamente 70 litros de etanol, ou seja, para cada m³ de etanol produzido, são filtradas 14,3 toneladas de cana-de-açúcar (Tabela 6.10). Assim, para a estimativa do total de torta de filtro gerado pela produção de etanol, deve-se subtrair a quantidade produzida de etanol como resíduo da produção de açúcar para que não se superestime o volume de torta de filtro gerada.

Tabela 6.10. Parâmetros utilizados para estimar a quantidade de N na vinhaça e na torta de filtro.

Nome do parâmetro	Valor	Unidade de Medida
Toneladas de cana filtrada para cada 1 tonelada de produção de açúcar	8,5	tonelada
Toneladas de cana filtrada por m ³ de etanol produzido	14,3	tonelada
Etanol "residual" produzido com 1 tonelada de produção de açúcar	0,085	m ³
Torta de filtro produzida para cada tonelada de cana filtrada	0,040	tonelada
Teor de N da torta de filtro	0,015	kg N/kg
Produção de vinhaça para cada 1 m ³ de etanol produzido	11,5	m ³
Teor de N na vinhaça	0,433	kg N/m ³

Fonte: Elia Neto (2016), Gurgel (2012); Bernardinho *et al.* (2018); Bonassa *et al.* (2015); Embrapa (2019b).

Para determinar o valor do fator de emissão da vinhaça (EF₁), foi realizada revisão de literatura e se decidiu utilizar um fator de emissão específico de 0,0052 kg N/kg N na vinhaça.

- Resíduos de culturas e renovação de pastagens (F_{CR})

Os dados de atividade para o cálculo da quantidade de N em resíduos de culturas (F_{CR}) foram os de produtividade e área colhida para as principais culturas, assim consideradas por representarem mais de 90% da área cultivada com espécies anuais no país.

No que se refere às estimativas relacionadas à cultura do arroz inundado, os dados de atividade estão descritos na Seção 6.5.1. Além das culturas anuais, também foram utilizadas como dados de atividade as áreas de pastagens que permaneceram como pastagens e áreas de pastagens convertidas para outros usos consideradas na seção 7.2 deste documento, que trata do Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Para as estimativas relacionadas a cultura da cana-de-açúcar, os dados de atividade estão descritos na Seção 6.7.1 deste NIR, considerando neste caso o resíduo não queimado.

Considerou-se que a conversão de pastagem para outro uso, de 1994 para 2002, ocorreu de forma linear, ou seja, porções iguais ano após ano. Para as pastagens que permaneceram como pastagens, sugere-se como padrão (IPCC, 2006) considerar que as áreas se renovam a cada 10 anos, ou seja, um décimo da área que permanece como pastagem se renova a cada ano. A estimativa do tempo de renovação foi estabelecida com base em consulta a especialistas em pastagens, resultando em

opiniões convergentes sobre o tempo, podendo variar de 10 a 20 anos, porém com mais frequência de 10 anos (Brasil, 2020). Este valor está próximo ao tempo padrão (IPCC, 2006) e reflete a realidade brasileira. Sobre as quantidades de N dos resíduos, aplicou-se o fator padrão de emissão direta de N_2O (EF_1) (Tabela A.VI.4, Apêndice VI).

A estimativa da quantidade de N proveniente dos resíduos de colheita é realizada por meio da utilização de alguns parâmetros como a relação entre matéria seca do produto colhido e a matéria seca dos resíduos deixados no campo, a área plantada e o conteúdo de N nos resíduos. É necessário calcular a contribuição dos resíduos aéreos e subterrâneos (N_{bg}), ou seja, a quantidade de N existente nas raízes também é fonte de N_2O , tal como os resíduos aéreos mencionados anteriormente. As culturas de arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, soja e trigo são responsáveis pela maior parte da área plantada e colhida entre as culturas temporárias no país, para as quais foram desenvolvidos parâmetros específicos com base na informação existente na literatura nacional (Tabela A.VI.5, Apêndice VI).

- Mineralização de N pela perda de C do solo (F_{SOM})

Para o cálculo do N mineralizado (F_{SOM}), quando ocorre perda de carbono do solo em função do uso, foram utilizadas as áreas dos diferentes biomas sob diferentes usos provenientes de mapeamento realizado para o Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas em Brasil (2020) para os anos de 1994, 2002, 2010 e 2016, considerando-se os usos “Vegetação nativa”, “Reflorestamento”, “Pastagens” e “Lavouras” e respectivas subcategorias. Para estimar as variações dos estoques de C do solo por UF, para os anos do período 2017-2022, as mudanças no uso do solo para esse período foram estimadas a partir da aplicação das taxas de desmatamento anual por bioma como *proxy* (método de dados substitutos) para extrapolar (apenas) as emissões brutas de CO_2 . O restante das emissões líquidas de solo e remoções brutas advindas do crescimento da vegetação (que inclui, a remoção do crescimento em pastagens e nos cultivos agrícolas) foi mantida como fixa (i.e. foram replicados os valores de 2016). Os dados de desmatamento foram: Amazônia e Cerrado (INPE, 2024a; 2024b), Mata Atlântica (Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 2023), Pantanal (SOS Pantanal, 2020) e Caatinga e Pampa (MMA, 2012). Na Tabela A.VI.6 (Apêndice VI) são mostradas essas variações em função do uso e mudanças de uso do solo entre os anos que foram considerados no mapeamento digital dos anos 1994, 2002, 2010 e 2016.

Nos casos em que a variação dos estoques de C do solo implicou perda, a quantidade de N mineralizada foi estimada pela multiplicação do fator R, que é o inverso da relação C/N do solo.

Com a análise de dados da literatura que relataram conteúdos de C e N do solo para a camada de 0-30 cm, as relações C/N foram agrupadas por bioma, e em subgrupos de usos denominados “vegetação nativa (VN)”, “pastagens (P)” e “lavouras (L)” (Figura A.VI.4, Apêndice VI). Com base nos resultados da análise estatística, definiu-se a relação C/N = 12 para todos os biomas, independentemente do uso do solo, exceto para o bioma Cerrado, no qual o uso com pastagens ou lavouras resulta em relação C/N = 15; e a vegetação nativa tem relação C/N = 14.

- Entrada de N pelos dejetos de animais não manejados (F_{PRP})

Com base na metanálise realizada por Bastos (2018), confirmou-se que os dejetos de bovinos não manejados poderiam ser desagregados em urina e fezes como fonte direta de N_2O , sendo as emissões das fezes a metade da urina. Dessa forma, o fator de emissão direta de N_2O de dejetos de bovino foi definido como 0,015. Por outro lado, o fator de emissão direta de N_2O para dejetos de outros animais foi mantido padrão (IPCC, 2006).

- Manejo de solos orgânicos (F_{OS})

O manejo de solos orgânicos utilizou como dados de atividade as áreas de solos orgânicos no Brasil, que foram extraídos a partir do mapa de solos do Brasil e refinado com mapas estaduais com maior detalhamento. Os dados são apresentados na Tabela A.VI.3 (Apêndice VI). Este mapa de solos foi cruzado com o mapa de uso do solo do Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas, obtendo-se assim as áreas de solos orgânicos manejadas anualmente. Sobre a área manejada, aplicaram-se fatores de emissão padrão para os ambientes tropical ($EF_{2CG,Trop}$) e temperado ($EF_{2CG,Temp}$). O Quadro 6.18 traz os fatores de emissão direta de N_2O considerados para as estimativas de emissões de N_2O pelo manejo de solos agrícolas.

Quadro 6.18. Resumo dos fatores de emissão utilizados no cálculo das categorias de emissões diretas de N_2O .

Categorias	Parâmetros	Fatores de emissão	Referência
3.D.1.a, 3.D.1.b, 3.D.1.d, 3.D.1.e	EF_i	0,01	Tabela 11.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap.11)
3.D.1.b	$EF_{1Vinhaça}$	0,52	Oliveira <i>et al.</i> (2013); Siqueira Neto <i>et al.</i> (2016); Sousa Neto (2012); Silva (2014); Paredes <i>et al.</i> (2014); Zuchello (2010)
3.D.1.d.iv	EF_{1FR}	0,003	Tabela 11.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
3.D.1.f	$EF_{2CG,Temp}$	8	Tabela 11.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
3.D.1.f	$EF_{2CG,Trop}$	16	Tabela 11.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
3.D.1.f	$EF_{2F,Temp,NR}$	0,6	Tabela 11.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
3.D.1.f	$EF_{2F,Temp,NP}$	0,1	Tabela 11.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
3.D.1.f	$EF_{2F,Trop}$	8	Tabela 11.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
3.D.1.c	$EF_{3PRP, CPP}$	0,02	Tabela 11.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
3.D.1.c	$EF_{3PRP, CPP\ bov}$	0,015	Bastos (2018)
3.D.1.c	$EF_{3PRP, SO}$	0,01	Tabela 11.1 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)

Nota: ¹: Adotou-se o fator de emissão padrão do IPCC (2006) apenas na Subcategoria “Outros sistemas de preparo do solo”.

6.6.1.2 Emissões Indiretas de N_2O

As emissões indiretas são decorrentes da deposição do N volatilizado e do N lixiviado das fontes de N descritas para as emissões diretas. No entanto, as emissões indiretas decorrentes da lixiviação dependem do balanço entre chuvas/irrigação e evapotranspiração durante a estação de chuvas (definida como o período em que as chuvas foram maiores do que 0,5 x evaporação no mesmo período). Para a avaliação da ocorrência de lixiviação no âmbito de microrregião, foi preciso analisar anualmente os locais onde a chuva deduzida da evapotranspiração potencial (ETP) superou a capacidade do solo de reter água.

Para realizar esta avaliação no país, foram necessárias algumas adaptações e considerações. A definição das épocas de chuva foi feita utilizando os dados de normal climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do período de 1981 a 2010, numa abordagem estadual, isto é, uma UF tem a mesma época de chuva para toda sua extensão com base nos dados médios de chuvas mensais. Pelo fato de não existir dados de evaporação, foram utilizados dados de evaporômetro de Piché. Assim, foi possível definir os meses do ano cujas chuvas superavam 0,5x a evaporação de Piché.

Um novo critério, não previsto na metodologia do IPCC (2006), foi incluído visando selecionar apenas os meses em que as chuvas foram mais intensas. O mês foi classificado como chuvoso somente quando o volume de chuvas foi maior que 0,5x a evaporação de Piché (IPCC, 2006) e maior do que 6% da chuva anual da UF (Tabela A.VI.7, Apêndice VI). Dos 338 meses analisados (12 por UF, com exceção de Rondônia), somente 7 apresentaram meses com acumulados superiores a 0,5x evaporação de Piché e média mensal acima de 6% da média anual da UF, todas no Nordeste. Com isso, o número de locais onde a lixiviação ocorreu aumentou em relação ao que seria obtido somente com a regra do IPCC (2006). Os mapas anuais de excedente hídrico foram obtidos a partir do cruzamento dos mapas anuais de excedente de chuvas (resultantes da operação chuvas – ETP) com o mapa de capacidade de armazenamento de água do solo (CAD). Em decorrência do grande volume de dados e análises, a abordagem foi simplificada considerando-se que a microrregião possuía área superior a 20% com excedente hídrico.

As perdas de N por volatilização são estimadas pela aplicação do fator de volatilização $FracGASF$ às quantidades de N de fertilizantes (F_{SN}). Utiliza-se o valor de 0,30 para o N utilizado na forma de ureia, e 0,10 para os demais fertilizantes nitrogenados.

O fator $FracGASM$ é utilizado para estimar a volatilização de N de adubos orgânicos (F_{ON}) e de dejetos não manejados (F_{PRP}). A fração de volatilização da vinhaça foi desagregada, sendo considerada igual a zero. Para os demais adubos, $FracGASM$ foi mantido igual a 0,20.

As perdas de N por lixiviação são estimadas pela aplicação do fator $FracLEACH(H)$, que por padrão é igual a 0,30 (IPCC, 2006) para os locais onde o balanço hídrico favorece o processo e igual a zero na condição em que o balanço indica não ocorrer lixiviação. Para a análise de existência ou não de lixiviação, utilizou-se o mapa de microrregiões do Brasil. A estimativa das emissões indiretas foi realizada mediante aplicação dos fatores de emissão padrão do IPCC (Quadro 6.19).

Quadro 6.19. Fatores de emissão indireta de N_2O para solos agrícolas manejados.

Categorias	Parâmetros	Fatores de emissão	Referência
3.D.2.a	EF ₄	0,01	Tabela 11.3 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
3.D.2.b	EF ₅	0,0075	Tabela 11.3 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)

6.6.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Solos Manejados (3.D) são citados na Seção 2.5 deste documento.

6.6.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de N₂O de Solos Manejados (3.D) é apresentada no Apêndice II.

O processo de atualização do Inventário Nacional considerou a revisão das séries históricas de dados de atividade de manejo do solo. Em síntese, os principais ajustes decorrem de:

- *Fertilizante Sintético (2021-2022)*: pela falta de dados nos referidos anos, os valores de consumo de fertilizante foram estimados a partir da extrapolação linear dos resultados dos cinco anos prévios (2016-2020).; e
- *Área de pastagem (2021-2022)*: as emissões líquidas de solo e remoções brutas advindas do crescimento da vegetação (que inclui, a remoção do crescimento em pastagens e nos cultivos agrícolas) replica o valor de 2016 para o período de 2017 a 2022, conforme citado na Seção 7.2.5 deste NIR.

Considerando os resultados consolidados do inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, a maior proporção dos ajustes é verificada em 2018, com 10,8% de diferença entre emissões estimadas. Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de 10,6%, e no período de 1990 a 2020, de 1,4%, o que demonstra a consistência da série temporal do subsetor (Figura 6.9).

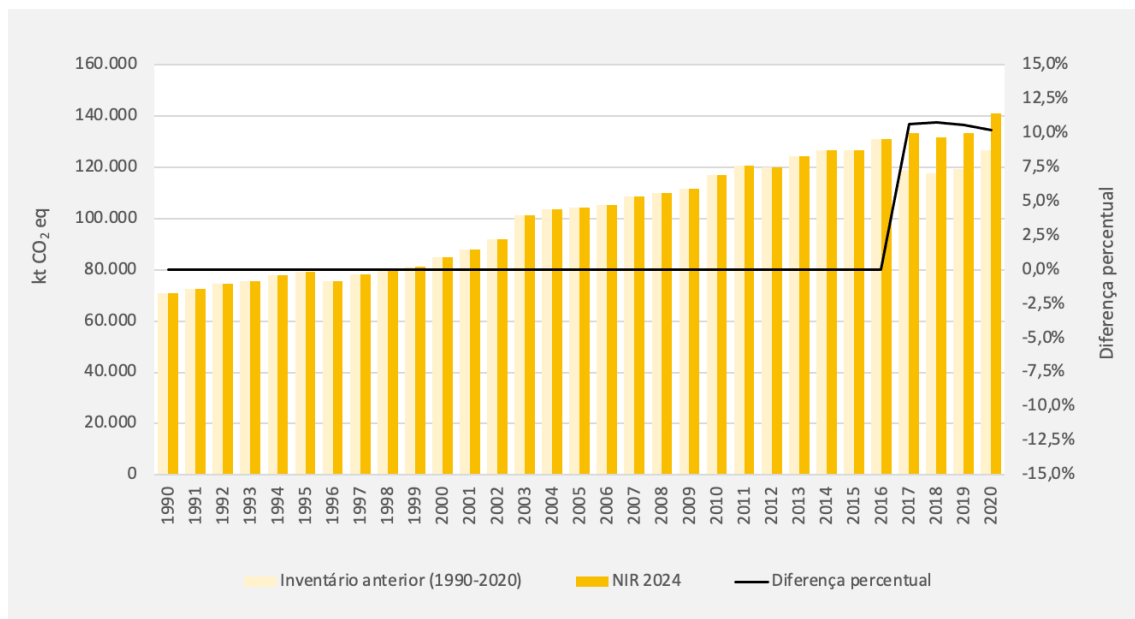


Figura 6.9. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Solos Manejados (3.D) entre os inventários.

6.6.4 Plano de melhoria

A experiência acumulada na elaboração periódica dos Inventários Nacionais de GEE propiciou a proposição de uma série de medidas de melhoria da consistência e maior detalhamento dos resultados do Inventário no particular de Solos Manejados (3.D).

O Quadro 6.20 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para implementação em futuras edições do inventário deste subsetor.

Quadro 6.20. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Solos Manejados (3.D).

Subsetor	Categoria	Melhoria
3.D. SOLOS MANEJADOS	Geral (todas as categorias)	▪ Alinhar parceria para fomentar a coleta e obtenção sistemática de dados de práticas de cultivo e restauração de pastagem; ▪ Alinhar Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias com instituições de pesquisa com vistas a avaliar a possibilidade de revisar os métodos e/ou parâmetros utilizado no cálculo de quantidades de biomassa e de N retornado ao solo em razão da renovação de pastagens; ▪ Aprofundar estudos sobre fatores de emissão, visando à futura regionalização desse parâmetro, o que permitiria considerar as características locais de manejo do solo.

6.7 Queima de Resíduos Agrícolas (CRT 3.F)

No Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas são contabilizadas as emissões de CH₄ e N₂O decorrentes da queima realizada na pré-colheita da cana-de-açúcar e na pós-colheita de algodão herbáceo, sendo que este último ocorreu até 1994. Ainda são apresentadas neste documento estimativas das emissões de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x) que também são originados na queima de resíduos agrícolas. Apesar de que durante o processo de queima do resíduo pode haver emissão de CO₂, este é reabsorvido pela próxima colheita por meio da fotossíntese, e faz parte do ciclo biológico com a atmosfera, não sendo contabilizado no Inventário Nacional (IPCC, 2006). A magnitude das emissões de GEE decorrentes da queima da palha da cana-de-açúcar está associada aos dados de produção e fatores de emissão e combustão empregados.

A queima de resíduos da cana-de-açúcar ainda é aplicada no Brasil como método de despalha pré-colheita. Porém, diferentemente dos outros subsetores, o Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas vem apresentando uma diminuição acentuada desde 2007 como consequência da implementação da mecanização do processo de colheita da cana-de-açúcar, principalmente no Estado de São Paulo, onde está concentrada a maior extensão de área de produção da cultura.

O Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas contribuiu com 0,1% das emissões do Setor Agropecuária em 2022, correspondentes a 477 kt CO₂ eq. De 2020 a 2022, observou-se um aumento de 0,9% nas emissões derivadas da queima de resíduos de cana-de-açúcar no país, apesar da área colhida ter diminuído em 1,3%, segundo dados do PAM (2024). Isso provavelmente esteja associado a um aumento da área queimada nas UFs das regiões onde ainda é praticada a colheita manual, que faz uso do fogo, como na região Nordeste que aumentou a área colhida em 3,4% de 2020 a 2022. No entanto, isso reflete que o processo de transição da colheita manual para a colheita mecanizada ainda está se consolidando no país (Figura 6.10).

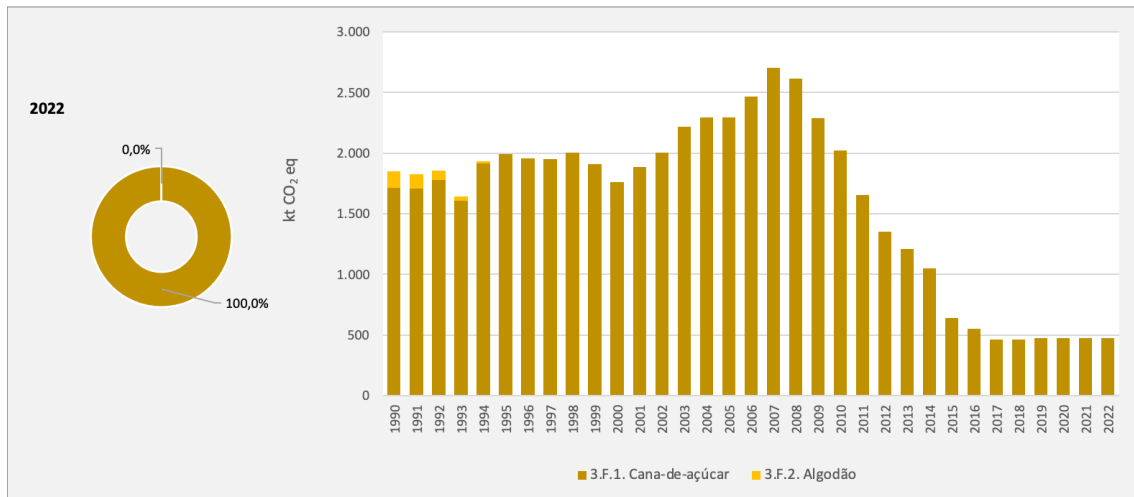


Figura 6.10. Emissões da Queima de Resíduos Agrícolas (3.F), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

6.7.1 Aspectos metodológicos

Para o cálculo das emissões das categorias do Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F), foi utilizada a equação 6.30, exposta no Quadro 6.21, com detalhamento metodológico *Tier 2* e 1.

Quadro 6.21. Equações para estimar as emissões do Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 6.30	CH ₄ , CO, NO _x e N ₂ O	3.F.1 3.F.2	$L_{\text{fire}} = A \times MB \times C_f \times G_{\text{ef}} \times 10^{-3}$	Equação 2.27 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 2)

Em que:

L_{fire} = quantidade de emissões de gases de CH₄, CO, NO_x e N₂O da queima de resíduos, em toneladas (t);
 A = área queimada, em hectares (ha);
 MB = biomassa disponível para combustão, em t/ha;
 C_f = fator de combustão, adimensional (valores-padrão, Tabela 2.6, IPCC, 2006, v. 4); e
 G_{ef} = fator de emissão, em g kg⁻¹ de matéria seca queimada (valores-padrão IPCC, 2006).

A área queimada (A) corresponde ao produto entre a área colhida e a porcentagem de colheita manual, uma vez que o emprego dela está vinculado ao uso do fogo como prática agrícola na colheita de cana-de-açúcar. A biomassa disponível para combustão (MB) corresponde ao produto entre a produtividade e a relação palhicho/colmo – a qual está ligada à variedade da cana-de-açúcar. O fator de combustão (C_f) é a relação entre a matéria seca queimada pela matéria seca disponível para queima. Por fim, o fator de emissão (G_{ef}) ocorre pela quantidade de gás emitido em relação à quantidade de matéria seca queimada (IPCC, 2006). Assim, a contabilização das emissões de GEE provenientes da queima dos resíduos da cana-de-açúcar é precedida por um extensivo levantamento de parâmetros e fatores, os quais integram a Equação 6.30.

Dados de atividades e outros parâmetros

- Biomassa disponível

Sendo a biomassa disponível para combustão (MB) o produto entre a produtividade e a relação palha/colmo, foram levantados dados de produtividade, porcentagem da variedade colhida e seus respectivos valores da fitomassa de palha e colmo (relação palha/colmo).

- Produtividade (produção/área colhida)

Os dados sobre área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar⁵⁸ foram coletados das bases de dados do IBGE da pesquisa Produção Agrícola Municipal (PAM) (IBGE, 2024b). Apesar de a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) também disponibilizar dados de área colhida, produção e produtividade (Tabela 6.11), estes dados só estão disponíveis a partir de 2007, e o menor nível territorial é a UF. Desta maneira, foram utilizados dados do IBGE, os quais têm maior acompanhamento histórico, além de serem disponibilizados também em âmbito municipal. O cálculo das emissões de GEE provenientes da cana-de-açúcar foi feito com base nos dados em âmbito municipal.

Tabela 6.11. Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar no Brasil.

Anos	Área colhida (mil ha)	Produção (mil t)	Produtividade (t/ha)
1990	4.272,60	262.674,2	61,5
1991	4.210,95	260.887,9	62,0
1992	4.202,60	271.474,9	64,6
1993	3.863,70	244.530,7	63,3
1994	4.345,26	292.101,8	67,2
1995	4.559,06	303.699,5	66,6
1996	4.750,30	317.106,0	66,8
1997	4.814,08	331.612,7	68,9
1998	4.985,82	345.255,0	69,2
1999	4.898,84	333.847,7	68,1
2000	4.804,51	326.121,0	67,9
2001	4.957,90	344.292,9	69,4
2002	5.100,41	364.389,4	71,4
2003	5.371,02	396.012,2	73,7
2004	5.631,74	415.205,8	73,7
2005	5.805,52	422.956,6	72,9
2006	6.355,50	477.410,7	75,1
2007	7.080,92	549.707,3	77,6
2008	8.140,09	645.300,2	79,3
2009	8.617,56	691.606,1	80,3
2010	9.076,71	717.463,8	79,0
2011	9.601,32	734.006,1	76,4
2012	9.705,39	721.077,3	74,3
2013	10.195,17	768.090,4	75,3
2014	10.419,68	736.108,5	70,6
2015	10.111,38	750.290,3	74,2
2016	10.222,92	768.563,7	75,2
2017	10.189,21	758.646,2	74,5
2018	10.024,10	747.556,8	74,6
2019	10.092,43	753.470,5	74,7
2020	9.996,13	756.070,6	75,6
2021	9.971,37	715.679,3	71,8
2022	9.870,59	724.428,1	73,4

Fonte: Modificado de IBGE (2018) – Tabela 1612 – Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras.

⁵⁸ Culturas temporárias de longa duração, cujos ciclos vegetativos ultrapassam doze meses, tais como a cana-de-açúcar, que tem períodos de colheita prolongados, são computadas as colheitas realizadas dentro de cada ano civil no levantamento realizado na PAM (IBGE, 2024b).

- Valores da fitomassa de palha e colmo

Os valores da fitomassa de palha e colmo oscilam em função da variedade de cana-de-açúcar cultivada. Em razão disso, foi realizado um levantamento das principais variedades cultivadas no Brasil, e posteriormente, realizou-se uma revisão de literatura focada na relação produção de palhicho/produção de colmo para cada uma das variedades levantadas.

- Variedades cultivadas

As variedades de cana-de-açúcar mais colhidas, em âmbitos nacional e estadual, foram obtidas por meio do Censo Varietal IAC de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil – Safra 2016/17 (Braga *et al.*, 2017), para a região Centro-Sul, e do Censo Varietal Brasil – 2017, da Ridesa (2018), para as principais UFs produtoras. Os dados dos censos varietais do IAC (Instituto Agrônômico) e da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (Ridesa, 2018) são apresentados na Figura A.VI.5 (Apêndice VI), juntamente com os dados de produção e área colhida das UFs.

- Relação produção de palhicho/produção de colmo

Uma extensiva revisão bibliográfica foi realizada para obtenção dos valores da relação palhicho/colmo para as variedades levantadas junto aos censos do IAC e da RIDESA. Posteriormente, foi calculada a relação média palhicho/colmo da cana-de-açúcar para as UFs recenseadas a partir da média ponderada das relações palhicho/colmo das cinco variedades mais cultivadas, tendo como peso as áreas das variedades de cana-de-açúcar de cada UF. Para as variedades que não se encontraram valores de produção de palhicho e de colmo, adotou-se um valor genérico de produção, seguindo Hassuani *et al.* (2005). Os valores da relação média palhicho/colmo por UF são apresentados a seguir na Tabela 6.12.

Tabela 6.12. Relação média palhicho/colmo das UFs segundo o censo varietal do IAC e da Ridesa.

UF	IAC	Ridesa	Média
AL	-	0,172	0,172
ES	0,193	-	0,193
GO	0,185	-	0,185
MA	-	0,179	0,179
MG	0,184	0,185	0,185
MS	0,183	0,185	0,184
MT	0,193	-	0,193
PB	-	0,173	0,173
PE	-	0,175	0,175
PI	-	0,179	0,179
PR	0,192	-	0,192
RN	-	0,173	0,173
SP	0,183	0,187	0,185
Brasil	-	-	0,187

O resultado das médias mostra que os estados da região Centro-Sul apresentam relações palhicho/colmo maiores que dos estados do Nordeste. Ou seja, os estados do Nordeste apresentam menor produção de biomassa seca por produção de biomassa fresca em relação aos estados do Centro-Sul.

- Área Queimada

Embora a queimada em cultivos de cana-de-açúcar ainda ocorra no Brasil, não há dados oficiais da proporção dessa prática por área colhida. Contudo, o quinto volume do “Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar” (Conab, 2018) apresenta o percentual de colheita mecanizada e manual, por regiões e UF, para os anos referentes ao período de 2007 a 2016. Uma vez que a colheita manual sem queima prévia apresenta rendimento inferior à com queima prévia, o trabalho torna-se mais oneroso, o que acaba por inviabilizar economicamente a operação (Conab, 2018).

O dado de área queimada foi obtido através do percentual da colheita realizada de forma manual apresentada no quinto volume do Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar (Conab, 2018), assumindo que é um indicativo do percentual da área colhida com emprego da queima (Tabela 6.13) o qual é corroborado pelo trabalho de Fernandes *et al.* (2013). Com base nos percentuais de colheita manual por UF (Tabela A.VI.8, Apêndice VI), estimou-se ainda a área de cana-de-açúcar queimada por município, nos anos de 1990 a 2022.

Tabela 6.13. Percentual de colheita manual e estimativa da área queimada em cultivos de cana-de-açúcar.

Ano	Colheita manual	Estimativa de área queimada
	%	mil ha
1990	100,00	4.272,60
1991	100,00	4.210,95
1992	100,00	4.202,60
1993	100,00	3.863,70
1994	100,00	4.345,26
1995	100,00	4.559,06
1996	94,75	4.500,98
1997	90,95	4.378,64
1998	89,71	4.472,83
1999	88,37	4.329,08
2000	84,23	4.046,65
2001	84,98	4.213,42
2002	85,39	4.355,34
2003	86,36	4.638,44
2004	85,32	4.805,24
2005	84,43	4.901,34
2006	80,34	5.106,13
2007	75,90	5.374,46
2008	63,38	5.158,98
2009	52,45	4.519,72
2010	45,59	4.138,24
2011	36,40	3.494,61
2012	30,78	2.987,06
2013	25,96	2.646,78
2014	23,39	2.436,79
2015	14,95	1.511,99
2016	10,84	1.108,16
2017	10,25	1.043,97
2018	8,80	882,12
2019	8,40	847,76
2020	8,21	820,97
2021	10,58	1.054,53
2022	10,65	1.050,88

Fonte: Elaborado a partir de Conab (2018) e Packer *et al.* (2015).

Por fim, o Quadro 6.22 resume os fatores de emissão do Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F).

Quadro 6.22. Fatores de emissão para Queima de Resíduos Agrícolas (3.F).

Categorias	Parâmetros	Fatores de emissão	Referência
3.F.1, 3.F.2	Fator de combustão (Cf)	0,8	Tabela 2.5 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)
3.F.1, 3.F.2	FE CH ₄	0,933 (g/kg de matéria seca queimada)	Yokelson <i>et al.</i> (2008)
3.F.1, 3.F.2	FE CO	40,43 (g/kg de matéria seca queimada)	Yokelson <i>et al.</i> (2008); Lopes; Carvalho (2009); França <i>et al.</i> (2012)
3.F.1, 3.F.2	FE NO _x	1,5 (g/kg de matéria seca queimada)	França <i>et al.</i> (2012)
3.F.1, 3.F.2	FE N ₂ O	0,07 (g/kg de matéria seca queimada)	Tabela 2.5 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11); Andrea; Merlet (2001)

6.7.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F) são citados na Seção 2.5 deste documento.

6.7.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CO₂ Queima de Resíduos Agrícolas (3.F) é apresentada no Apêndice II deste NIR.

A consistência na série temporal das estimativas foi mantida, como resultado da disponibilidade dos dados base, de área colhida e produtividade, para gerar os dados de área queimada e a relação palhço/colmo; e por outro lado, os dados de fatores de emissão se mantiveram constantes, utilizando-se os mesmos valores definidos em Brasil (2021).

Considerando os resultados consolidados do Inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, a maior proporção dos ajustes é verificada em 2018, com 0,6% de diferença entre emissões estimadas. Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de apenas 0,3%, e no período de 1990 a 2020, de 0,04%, o que demonstra a consistência da série temporal do subsetor (Figura 6.11).

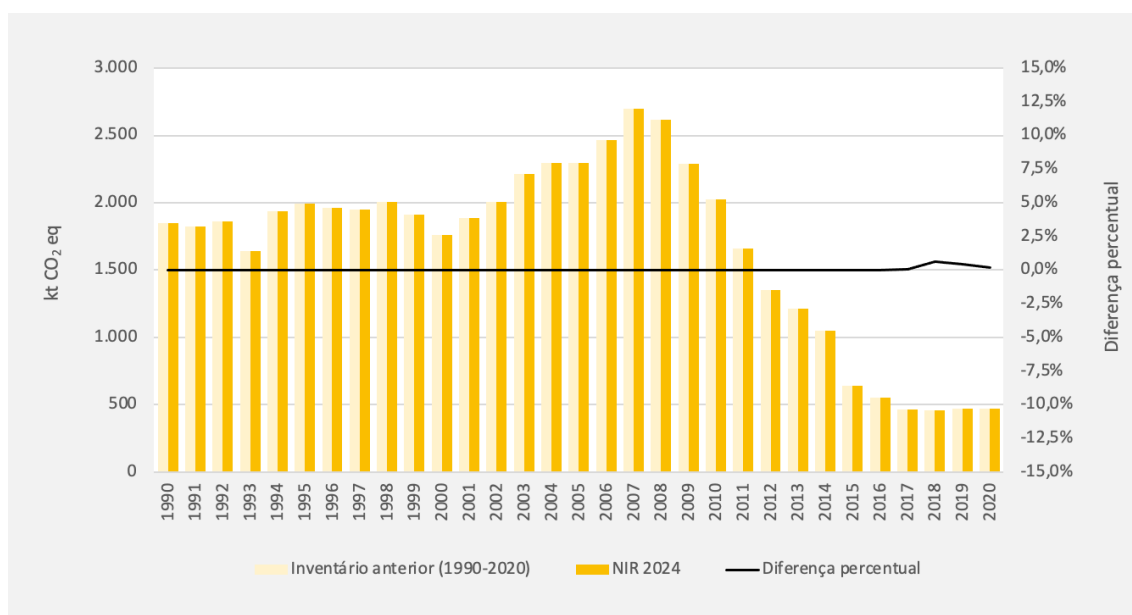


Figura 6.11. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F) entre os inventários.

6.7.4 Plano de melhoria

A experiência acumulada na elaboração periódica dos inventários nacionais de GEE propiciou a proposição de uma série de medidas de melhoria da consistência e maior detalhamento dos resultados do Inventário no particular da Queima de Resíduos Agrícolas (3.F). O Quadro 6.23 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para implementação em futuras edições do Inventário deste Subsetor.

Quadro 6.23. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões da Queima de Resíduos Agrícolas (3.F).

Subsetor	Categoria	Melhoria
3.F. QUEIMA DE RESÍDUO AGRÍCOLA	Geral (todas as categorias)	Ampliar a base de análise para a definição dos fatores de emissão dos GEE, mediante uma nova revisão de trabalhos científicos realizados nas regiões/UFs de maior produção.

6.8 Calagem (CRT 3.G)

As emissões pela Calagem compreendem apenas o gás CO₂. No Brasil, o calcário tem sido cada vez mais utilizado para fornecer Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) para as plantas e, principalmente, para reduzir a acidez característica dos seus solos. O cálcio estimula o crescimento das raízes, auxiliando na eficiência das plantas na busca por água e nutrientes do solo. Ele é essencial para um solo saudável, pois aumenta a atividade microbiana do solo, resultando em maior mineralização da matéria orgânica e fixação biológica de nitrogênio. No entanto, após ser adicionado, o calcário libera carbonato que reage no solo, ocorrendo liberação de CO₂ para a atmosfera.

O Subsetor Calagem contribuiu com 4% das emissões do Setor Agropecuária em 2022, correspondentes a 27.087 kt CO₂ eq. De 2020 a 2022, observou-se um aumento de 25% nas emissões, em razão do aumento das áreas colhidas (Figura 6.12).

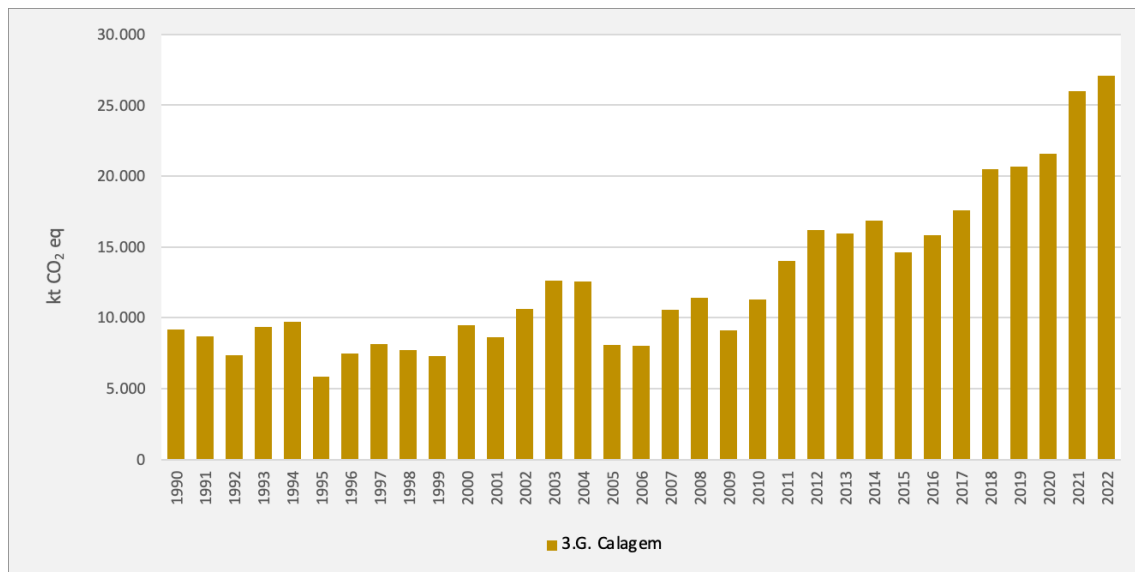


Figura 6.12. Emissões da Calagem (3.G), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

6.8.1 Aspectos metodológicos

Para o cálculo das emissões de CO₂ das categorias do Subsetor Calagem (3.G) foi utilizada a equação 6.31 exposta no Quadro 6.24, com detalhamento metodológico *Tier 1*.

Quadro 6.24. Equações para estimar as emissões Subsetor Calagem (3.G).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 6.31	CO ₂	3.G	$\text{Emissões de CO}_2 - \text{C} = (M_{\text{Limestone}} \times EF_{\text{Limestone}}) + (M_{\text{Dolomite}} \times EF_{\text{Dolomite}})$	Equação 11.2, (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)

Em que:

CO₂ emitido = quantidade de CO₂ emitido no ano T (kt CO₂. ano⁻¹);
M_{Limestone} = quantidades de calcário calcítico (kt);
EF_{Limestone} = fator de emissão do calcário calcítico;
M_{Dolomite} = quantidades de calcário dolomítico (kt); e
EF_{Dolomite} = fator de emissão do calcário dolomítico.

Dados de atividades e outros parâmetros

Para o cálculo das emissões de CO₂ pela calagem foram utilizados os dados de consumo aparente de calcário dolomítico, que é o tipo de calcário utilizado na atividade agrícola do país por seu alto teor de Ca e Mg.

Os dados do consumo aparente de calcário no Brasil, de 2017 a 2022, foram obtidos junto à Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (ABRACAL), que relata valores por UF ou total nacional, e considera a produção própria, subtraído do volume exportado e acrescentado o volume importado. A série histórica possui dados do consumo aparente para os principais produtores agrícolas do país, entretanto não fornece esses dados para as UFs. Para essas unidades federativas que não se reporta o consumo aparente, os dados das quantidades de calcário consumidas são agrupados em “outros estados”.

Dessa forma, a quantidade de calcário consumida pelos “outros estados” de forma individual foi obtida considerando o percentual da área plantada de cada UF, utilizando-se de uma média ponderada, com pesos diferenciados por uso da terra de cada UF em 2016, multiplicada pelo total de cada ano (Abracal, 2022). Assim os dados de consumo de calcário utilizados no cálculo de emissões são apresentados na Tabela 6.14 a seguir.

Tabela 6.14. Quantidades de calcário consumidas no país de 1990 a 2022.

Ano	Calcário toneladas	Ano	Calcário toneladas
1990	19.176.307	2007	22.160.700
1991	18.194.375	2008	23.972.000
1992	15.408.000	2009	19.078.600
1993	19.659.000	2010	23.690.100
1994	20.435.000	2011	29.352.900
1995	12.262.200	2012	33.943.000
1996	15.617.000	2013	33.471.000
1997	17.059.400	2014	35.377.700
1998	16.135.900	2015	30.641.900
1999	15.304.400	2016	33.238.900
2000	19.812.200	2017	36.911.000
2001	18.077.600	2018	42.909.900
2002	22.286.400	2019	43.296.200
2003	26.462.900	2020	45.299.700
2004	26.319.800	2021	54.517.700
2005	16.987.300	2022	56.826.800
2006	16.849.800		

Fonte: Elaborado a partir de Abracal (2022).

As emissões de CO₂ de calcário são estimadas pela aplicação dos fatores de emissão de CO₂ sobre os dados de atividade referentes à quantidade de calcário. Os fatores de emissão para o calcário utilizados foram definidos segundo a metodologia do IPCC (2006) (Quadro 6.25).

Quadro 6.25. Fatores utilizados no cálculo de emissão de CO₂ pela Calagem.

Categorias	Parâmetros	Fatores de emissão	Referência
3.G.	EF _{Dolomite}	0,13	(IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)

6.8.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Calagem (3.G) são citados na Seção 2.5 deste documento.

6.8.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CO₂ da Calagem (3.G) é apresentada no Apêndice II.

O processo de atualização do Inventário Nacional considerou as séries históricas de dados de atividade de aplicação de calcário adiante da publicação de documentos atualizados. Contudo não foram identificadas diferenças, motivo pelo qual neste NIR 2024 também não foram observadas alterações entre as emissões anuais estimadas para série histórica do Subsetor Calagem (3.G) (Figura 6.13).

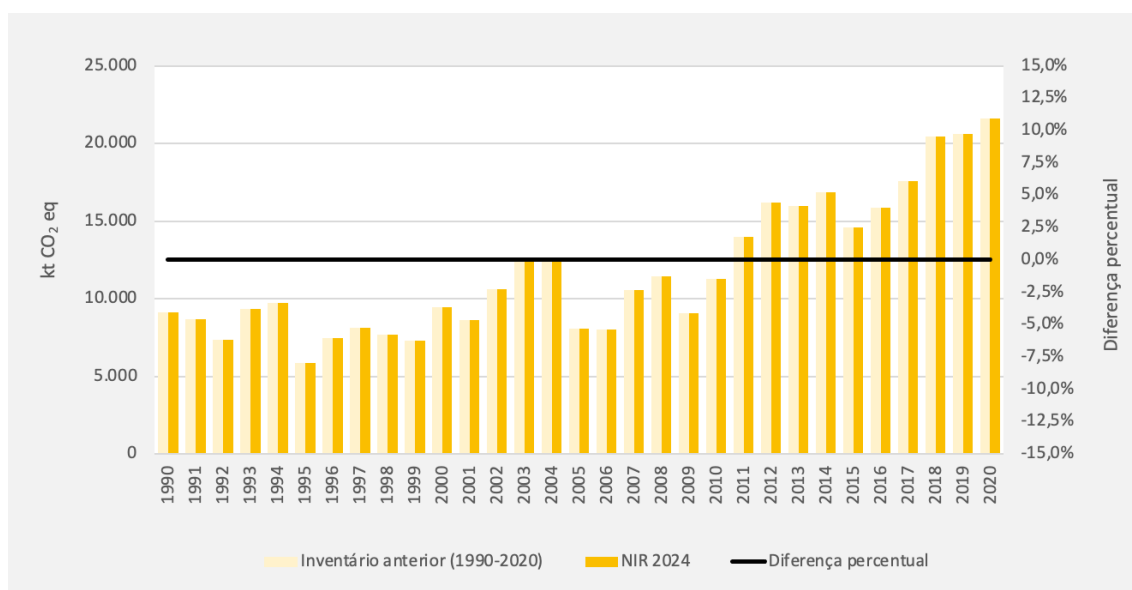


Figura 6.13. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Calagem (3.G) entre os inventários.

6.8.4 Plano de melhoria

A experiência acumulada na elaboração periódica dos Inventários Nacionais de GEE propiciou a proposição de uma série de medidas de melhoria da consistência e maior detalhamento dos resultados do Inventário no particular da Calagem (3.G).

O Quadro 6.26 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para implementação em futuras edições do inventário deste subsetor.

Quadro 6.26. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Calagem (3.G).

Subsetor	Categoria	Melhoria
3.G. CALAGEM	Geral (todas as categorias)	Avaliar a possibilidade de estabelecer parcerias com instituições que gerenciam os dados de consumo e aplicação de calcário com o objetivo de aprimorar a qualidade e regionalizar os dados de atividade.

6.9 Aplicação de Ureia (CRT 3.H)

No Brasil, a ureia é amplamente utilizada como fertilizante orgânico e, assim como em Calagem, a sua aplicação gera emissões de CO₂. A ureia possui carbono em sua constituição e, quando aplicada no solo, passa pelo processo de hidrólise, que gera amônia para as plantas e CO₂ que vai para a atmosfera.

O Subsetor Aplicação de Ureia contribuiu com 0,7% das emissões do Setor Agropecuária em 2022, correspondentes a 4.397 kt CO₂ eq. De 2020 a 2022, observou-se uma redução de 0,5% nas emissões (Figura 6.14).

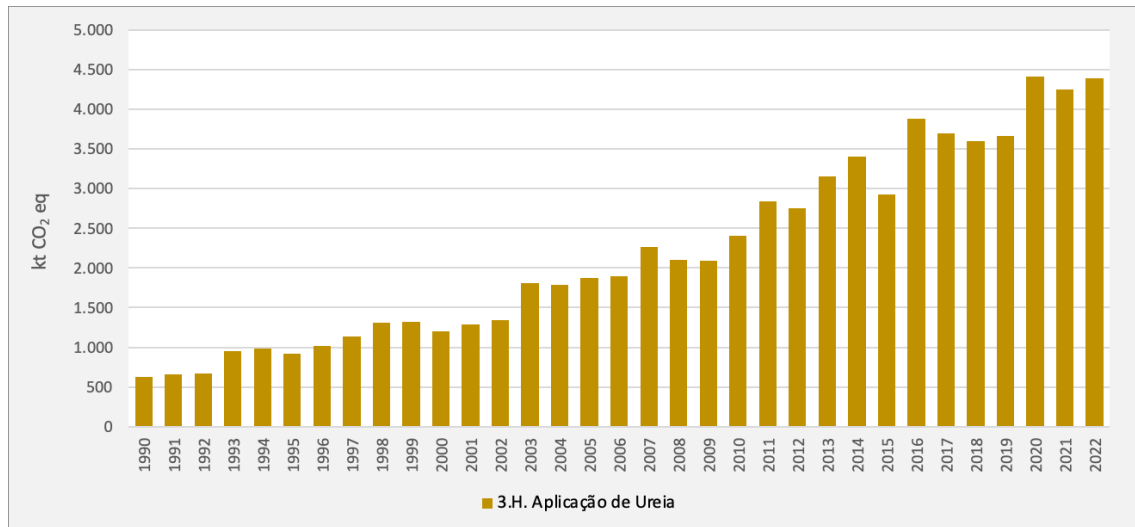


Figura 6.14. Emissões da Aplicação de Ureia (3.H), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

6.9.1 Aspectos metodológicos

Para o cálculo das emissões de CO₂ das categorias do Subsetor Aplicação de Ureia (3.H) foi utilizada a equação 6.32 exposta no Quadro 6.27, com detalhamento metodológico *Tier 1*.

Quadro 6.27. Equações para estimar as emissões do Subsetor Aplicação de Ureia (3.H).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 6.32	CO ₂	3.H	Emissões de CO ₂ – C = M x EF	Equação 11.11 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 11)

Em que:

CO₂ emitido = quantidade de CO₂ emitido no ano T (kt CO₂. ano⁻¹);

M = quantidade de Ureia (kt); e

EF = fator de emissão.

Dados de atividades e outros parâmetros

Para o cálculo das emissões de CO₂ pelo uso de ureia, utilizam-se os dados de quantidade de ureia consumida no país ao longo dos anos do inventário, sendo obtida para a estimativa de F_{SN}, em quantidade de N, mas expressa e listada como quantidade do fertilizante. A partir da consulta aos

anúários estatísticos da ANDA, foi feita a desagregação da quantidade de ureia do total, em ureia consumida e outras fontes. Essa separação foi realizada considerando-se que a quantidade de ureia consumida em dado ano corresponde à diferença de estoques do final e do início do ano, somada com a quantidade fabricada e a quantidade importada, subtraindo-se a quantidade exportada. Esses números não estavam desagregados em âmbito estadual, por isso assumiu-se que a porcentagem de ureia em relação ao consumo total de fertilizantes no país foi a mesma para cada UF. Assim, os dados de consumo de ureia utilizados no cálculo de emissões são apresentados na Tabela 6.15 a seguir.

Tabela 6.15. Quantidades de ureia consumidas no país de 1990 a 2022.

Ano	Ureia toneladas	Ano	Ureia toneladas
1990	860.050	2007	3.082.120
1991	893.235	2008	2.871.713
1992	919.133	2009	2.855.578
1993	1.296.002	2010	3.280.297
1994	1.347.879	2011	3.866.403
1995	1.254.713	2012	3.753.797
1996	1.379.902	2013	4.307.956
1997	1.542.742	2014	4.646.897
1998	1.787.490	2015	3.997.773
1999	1.800.629	2016	5.302.413
2000	1.638.097	2017	5.035.974
2001	1.760.927	2018	4.907.887
2002	1.830.635	2019	4.992.272
2003	2.465.713	2020	6.022.992
2004	2.432.772	2021*	5.794.367
2005	2.560.902	2022*	5.995.837
2006	2.582.137		

Fonte: Elaborado a partir de Abracal (2022) e Anda (2021). Nota: * Valores estimados a partir da extrapolação dos últimos cinco anos (2016-2020).

As emissões de CO₂ de ureia são estimadas pela aplicação dos fatores de emissão de CO₂ sobre os dados de atividade referentes as quantidades de ureia. Os fatores de emissão para a ureia utilizados foram os definidos na metodologia do IPCC (2006) (Quadro 6.28).

Quadro 6.28. Fatores utilizados no cálculo de emissão de CO₂ pela Aplicação de Ureia.

Categorias	Parâmetros	Fatores de emissão	Referência
3.H.	EF _{Ureia}	0,20	IPCC (2006, v. 4, cap. 11)

6.9.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Aplicação de Ureia (3.H) são citados na Seção 2.5 deste documento.

6.9.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CO₂ da Aplicação de Ureia (3.H) é apresentada no Apêndice II.

O processo de atualização do Inventário Nacional considerou a revisão das séries históricas de dados de atividade de aplicação de ureia diante da publicação de documentos atualizados. Considerando os resultados consolidados do Inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, a maior proporção dos ajustes é verificada em 2020, com 0,12% de diferença entre emissões estimadas. Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de apenas 0,06%, e no período de 1990 a 2020, de 0,01%, o que demonstra a consistência da série temporal do subsetor (Figura 6.15).

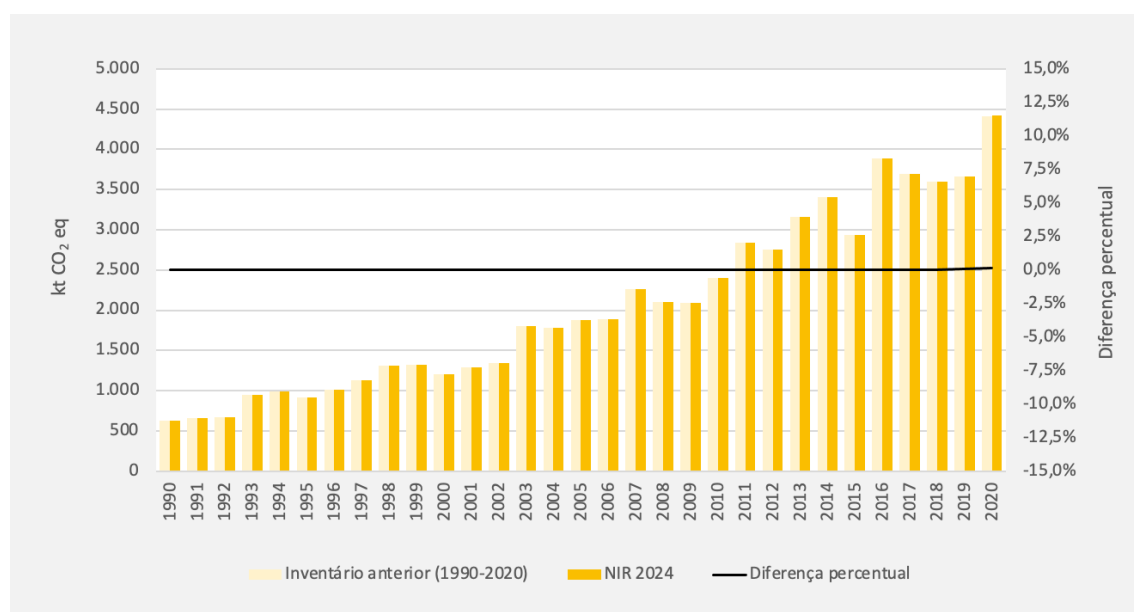


Figura 6.15. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Aplicação de Ureia (3.H) entre os inventários.

6.9.4 Plano de melhoria

A experiência acumulada na elaboração periódica dos Inventários Nacionais de GEE propiciou a proposição de uma série de medidas de melhoria da consistência e maior detalhamento dos resultados do Inventário no particular da Aplicação de Ureia (3.H).

O Quadro 6.29 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para implementação em futuras edições do inventário deste subsetor.

Quadro 6.29. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Subsetor Aplicação de Ureia (3.H).

Subsetor	Categoria	Melhoria
3.H. APLICAÇÃO DE UREIA	Geral (todas as categorias)	Avaliar a possibilidade de estabelecer parcerias com instituições que gerenciam os dados de consumo e aplicação de ureia com o objetivo de aprimorar a qualidade e regionalizar os dados de atividade.

7 USO DA TERRA, MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS (CRT 4)

7.1 Visão geral do setor

O Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF, sigla em inglês) apresenta as emissões antrópicas e remoções de CO₂ provenientes de perda e ganho de carbono (C), associadas ao uso e mudança do uso e cobertura da terra. Além disso, são estimadas as emissões de CH₄ e N₂O e de gases precursores (CO e NO_x), oriundos da queima de biomassa associada à mudança do uso e cobertura da terra. Consideram-se ainda as emissões e remoções de CO₂ por Produtos Florestais Madeireiros (PFMs), isto é, produtos manufaturados/processados após a colheita da madeira de florestas plantadas, tais como papel, madeira serrada e painéis de madeira.

Os Subsetores de LULUCF são: Floresta (4.A), Agricultura (4.B), Campo e Pastagem (4.C), Áreas Úmidas (4.D), Assentamentos (4.E), Outras Terras (4.F) e Produtos Florestais Madeireiros (4.G).

Para esse setor, os resultados são representados por emissões ou remoções líquidas. Essas estimativas são resultantes do balanço entre as emissões brutas (de CO₂ por PFMs e de CO₂ e gases não CO₂ associadas ao uso e à mudança do uso e cobertura da terra) e as remoções de CO₂ (por uso e mudança do uso e cobertura da terra e por PFMs). Quando as emissões brutas são maiores que as remoções, há emissões líquidas; quando as remoções são maiores que as emissões brutas, há remoções líquidas.

As emissões líquidas do Setor LULUCF totalizaram 805.694 kt CO₂ eq em 2022, o que indicou aumento de 21% em relação a 2020 (Figura 7.1). Ainda que o setor tenha apresentado aumento nas emissões a partir de 2018, cumpre destacar que os Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas (Brasil, 2023a; 2023b) se constituíram em política pública efetiva para a redução das emissões desse setor a partir de 2005, visto que a emissão de 2022 foi aproximadamente 69% inferior à verificada em 2004.

As emissões de CO₂ representaram 93% das emissões líquidas totais (751.467 kt CO₂ eq), enquanto as emissões de CH₄ (41.885 kt CO₂ eq) e N₂O (12.342 kt CO₂ eq) representaram 5% e 2%, respectivamente. Em 2022, as emissões líquidas mais representativas do setor foram advindas do Subsetor Campo e Pastagem (4.C) (959.862 kt CO₂ eq), refletindo principalmente as conversões de Floresta para Campo e Pastagem (949.958 kt CO₂ eq). As maiores remoções líquidas foram oriundas do Subsetor Floresta (4.A), que contribuiu com -312.125 kt CO₂ eq (Figura 7.1), resultantes, principalmente, da vegetação protegida dentro de Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs).

As emissões de CH₄ e N₂O, resultantes da queima de biomassa associada à dinâmica do uso e cobertura da terra, foram provenientes, sobretudo, do Subsetor Campo e Pastagem (4.C), que contribuiu com 35.353 kt CO₂ eq (ou 84%) e 10.282 kt CO₂ eq (ou 83%) das emissões desses gases no setor, respectivamente, em 2022.

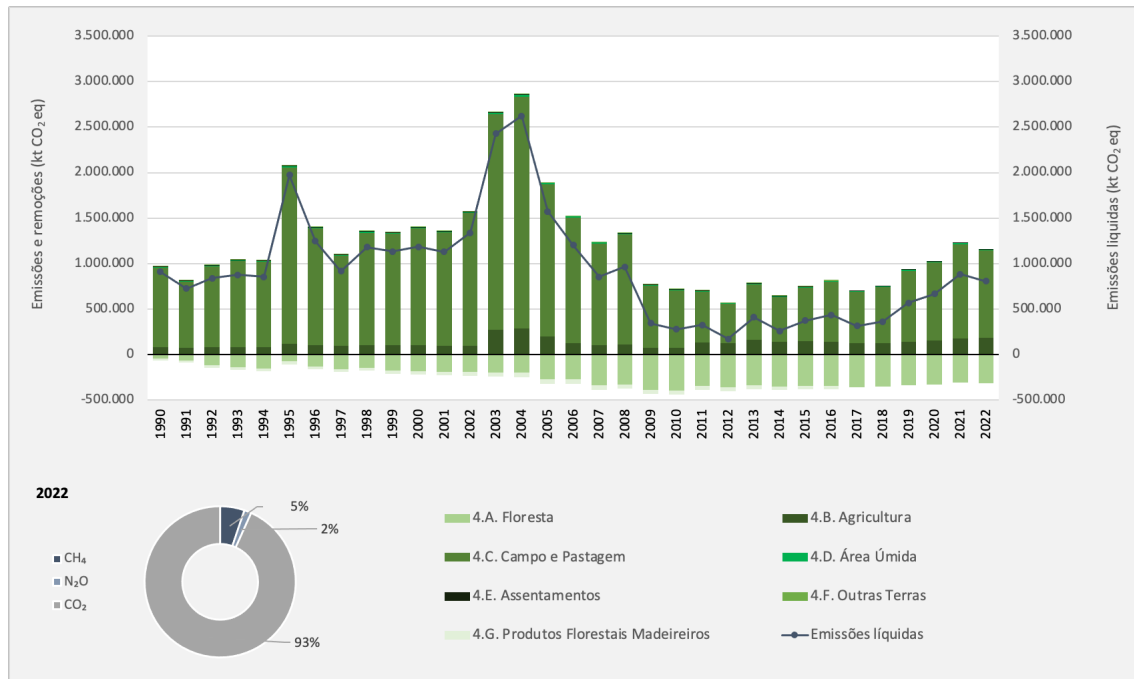


Figura 7.1. Emissões do Setor LULUCF, em kt CO₂ eq, por subsetor, de 1990 a 2022.

7.2 Aspectos metodológicos gerais do setor

As estimativas de emissões e remoções de CO₂ por uso e mudança do uso e cobertura da terra e por produtos florestais madeireiros, assim como as emissões de gases não CO₂, basearam-se na metodologia do IPCC (2006).⁵⁹ Os níveis metodológicos aplicados por gás para as categorias de LULUCF são apresentados no Quadro 7.1.

A fim de melhor representar as variações de estoques de carbono de seu território, foi criado um banco de dados com diversas camadas de informação espacial de todo o território – Abordagem 3 do IPCC (2006)⁶⁰. Uma vez identificadas as áreas manejadas, foram estimadas as emissões e remoções do Setor LULUCF. Foram produzidos mapas de uso e cobertura da terra de todo o país para os anos de 1994, 2002, 2005 (apenas Amazônia), 2010 e 2016 a partir da interpretação visual de imagens de satélite, conforme apresentado na Figura 7.2.

As áreas manejadas⁶¹ do país são compostas por: *áreas antropizadas* – classificadas como Agricultura, Pastagem, Mineração, Solo exposto, Assentamentos, Reservatório, Reflorestamento, Corte Seletivo (florestas sob regime de corte seletivo), Floresta secundária, Campo secundário, Outras formações lenhosas secundárias – bem como *áreas naturais protegidas*, situadas em UCs e TIs – classificadas como Floresta Manejada, Campo Manejado, Outras Formações Lenhosas Manejadas, Dunas manejadas, Afloramento rochoso manejado⁶².

A partir do cruzamento dessas informações, foram geradas matrizes de uso e cobertura da terra e de emissão e remoção de CO₂ por período avaliado e por bioma, que terão os procedimentos metodológicos descritos nas Seções 7.2.1, 7.2.2 e 7.2.3. A anualização das emissões brutas de CO₂ foi realizada com base nas taxas de desmatamento anual por bioma (Seção 7.2.4). As

⁵⁹ Agriculture, Forestry and Other Land Use (IPCC, 2006, v. 4).

⁶⁰ IPCC (2006, v. 4, cap. 3).

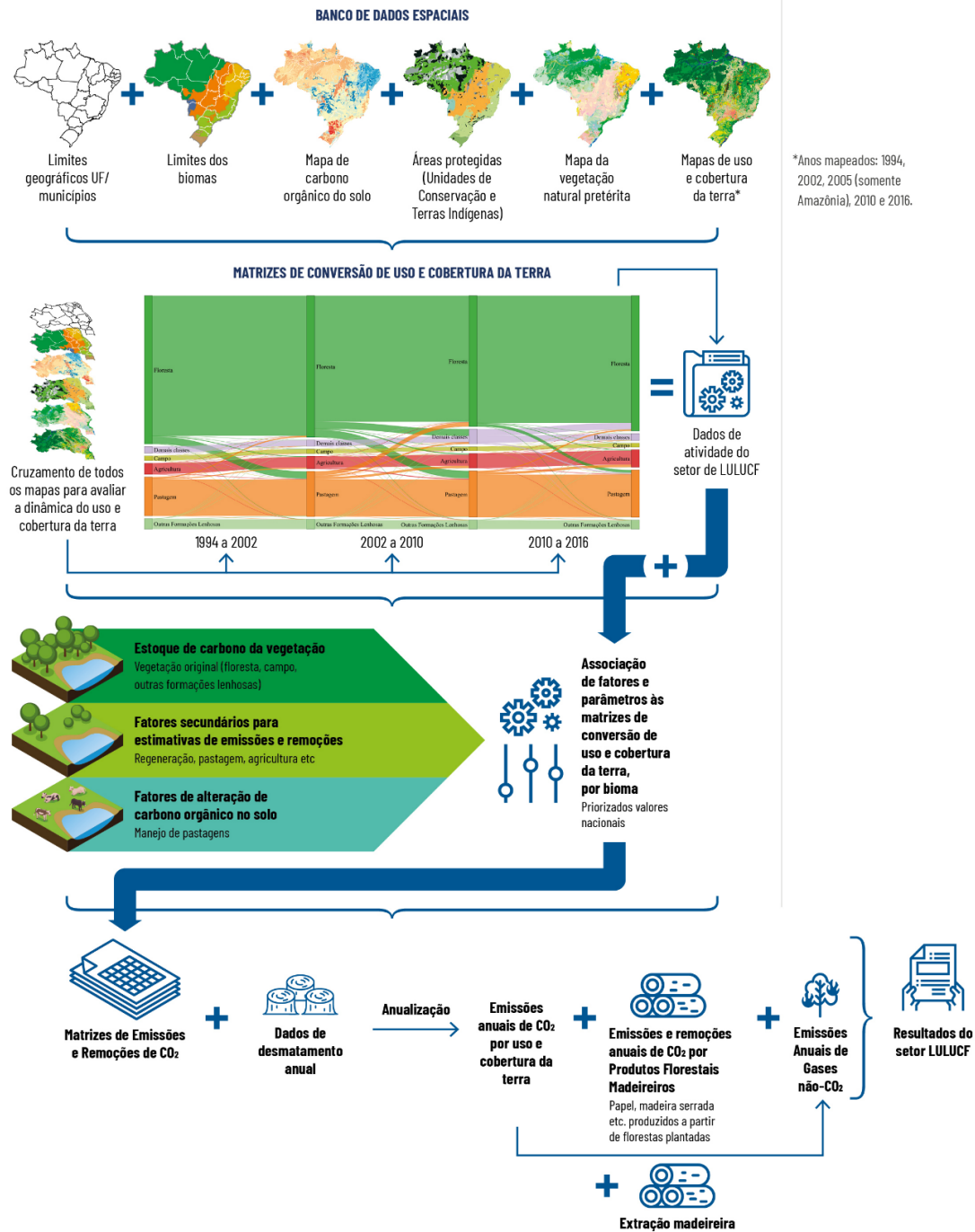
⁶¹ “Áreas manejadas consistem em áreas onde intervenções humanas e práticas foram aplicadas para desempenhar funções produtivas, ecológicas ou sociais” (IPCC, 2006, v. 4, cap. 3, página 3.6).

⁶² Não são computadas emissões em áreas não manejadas – classificadas como Floresta não manejada, Campo não manejado, Outras formações lenhosas não manejadas, Dunas não manejadas, Afloramento rochoso não manejado, Água, bem como em Áreas não observadas. O estoque de carbono em áreas de Reservatório, Solo exposto, Mineração, Afloramento rochoso, Dunas e Assentamento é considerado como zero.

estimativas para o período 1990-1994, anterior aos mapeamentos completos do território (realizados a partir de 1994), foram recalculadas por meio da ponderação de dados levantados na Comunicação Nacional Inicial do Brasil à UNFCCC (Brasil, 2004) e de informações e mapeamentos (1994 e 2002) produzidos no Inventário apresentado na Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2021). A extrapolação das emissões para além do período de mapeamento (Seção 7.2.5) foi elaborada por meio do método de dados substitutos (IPCC, 2006),⁶³ com base no desmatamento anual por bioma. Ainda foram contabilizadas as emissões de gases não CO₂ pela queima da biomassa associada à mudança do uso da terra, a partir de dados de emissão bruta de CO₂ e dados nacionais de extração de lenha e tora (Seção 7.2.6). As emissões e remoções de Produtos Florestais Madeireiros (PFM) (categoria 4.G) foram baseadas no método de fluxo atmosférico (*Tier 1*) (IPCC, 2006)⁶⁴ (Seção 7.9).

⁶³ IPCC (2006, v. 1, cap. o 5, p. 5.10).

⁶⁴ IPCC (2006, v. 4, cap. 12).



Nota: No procedimento de anualização, foram usadas as taxas anuais de desmatamento para distribuir, de forma anual, as emissões brutas de CO₂ da vegetação por período.

Figura 7.2. Fluxograma da metodologia utilizada para elaboração do inventário do Setor LULUCF.

Quadro 7.1. Níveis metodológicos aplicados por gás para as categorias do Setor LULUCF.

Subsetor	Categoria	Subcategoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS					NMVOC
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	
4.A. FLORESTA	4.A.1. Floresta permanecendo Floresta		T1/T2	T1/ T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	NA
	4.A.2. Área convertida para Floresta	4.A.2.a. Agricultura para Floresta	T1/T2	NA	NA	NA	NA	NA
		4.A.2.b. Campo e Pastagem para Floresta	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	NA
		4.A.2.c. Área Úmida para Floresta	T1/T2	NA	NA	NA	NA	NA
		4.A.2.d. Assentamentos para Floresta	NO	NA	NA	NA	NA	NA
		4.A.2.e. Outras Terras para Floresta	T1/T2	NA	NA	NA	NA	NA
	4.B. AGRICULTURA	4.B.1. Agricultura permanecendo Agricultura	NE	IE	IE	IE	IE	NA
4.B.2. Área convertida para Agricultura		4.B.2.a. Floresta para Agricultura	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	NA
		4.B.2.b. Campo e Pastagem para Agricultura	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	NA
		4.B.2.c. Área Úmida para Agricultura	T1/T2	NA	NA	NA	NA	NA
		4.B.2.d. Assentamentos para Agricultura	NO	NA	NA	NA	NA	NA
		4.B.2.e. Outras Terras para Agricultura	T1/T2	NA	NA	NA	NA	NA
4.C. CAMPO/PASTAGEM	4.C.1. Campo e Pastagem permanecendo Campo e Pastagem	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	NA	

Subsetor	Categoria	Subcategoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS					
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC
4.D. ÁREA ÚMIDA	4.C.2. Área convertida para Campo e Pastagem	4.C.2.a. Floresta para Campo e Pastagem	T1/T2	NA	NA	NA	NA	NA
		4.C.2.b. Agricultura para Campo e Pastagem	T1/T2	NA	NA	NA	NA	NA
		4.C.2.c. Área Úmida para Campo e Pastagem	NO	NA	NA	NA	NA	NA
		4.C.2.d. Assentamentos para Campo e Pastagem	NO	NA	NA	NA	NA	NA
		4.C.2.e. Outras Terras para Campo e Pastagem	T1/T2	NA	NA	NA	NA	NA
	4.D.1. Área Úmida permanecendo Área Úmida	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	4.D.2. Área convertida para Área Úmida	4.D.2.a. Floresta para Área Úmida	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	NA
		4.D.2.b. Agricultura para Área Úmida	T1/T2	NA	NA	NA	NA	NA
		4.D.2.c. Campo e Pastagem para Área Úmida	T1/T2	T1/T2	T1/T 2	T1/T2	T1/T2	NA
		4.D.2.d. Assentamentos para Área Úmida	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		4.D.2.e. Outras Terras para Área Úmida	NA	NA	NA	NA	NA	NA
4.E. ASSENTAMENTOS	4.E.1. Assentamentos permanecendo Assentamentos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	4.E.2. Área convertida para Assentamentos	4.E.2.a. Floresta para Assentamentos	T1/T2	T1/ T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	NA
		4.E.2.b. Agricultura para Assentamentos	T1/T2	NA	NA	NA	NA	NA
		4.E.2.c. Campo e Pastagem para Assentamentos	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/ T2	NA

Subsetor	Categoria	Subcategoria	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS					
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NM VOC
		4.E.2.d. Área Úmida para Assentamentos	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		4.E.2.e. Outras Terras para Assentamentos	T1/T2	NA	NA	NA	NA	NA
4.F. OUTRAS TERRAS	4.F.1. Outras Terras permanecendo	Outras Terras	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		4.F.2.a. Floresta para Outras Terras	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2
		4.F.2.b. Agricultura para Outras Terras	T1/T2	NA	NA	NA	NA	NA
	4.F.2. Área convertida para Outras Terras	4.F.2.c. Campo e Pastagem para Outras Terras	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2	T1/T2
		4.F.2.d. Área Úmida para Outras Terras	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		4.F.2.e. Assentamentos para Outras Terras	NA	NA	NA	NA	NA	NA
4.G. PRODUTOS FLORESTAIS MADEIREIROS			T1	T1	T1	T1	T1	T1

Nota: Níveis metodológicos (IPCC, 2006) – T1: *Tier 1*; T2: *Tier 2*; T3: *Tier 3*.

Notações: NA – atividade em uma determinada categoria de fonte/sumidouro que ocorre no país, mas não resultou em emissões ou remoções de um gás específico; IE – incluído em outro local/categoria de emissões ou remoções; NO – categorias e processos que não ocorrem no país; NE – dados de atividade e/ou emissões por fontes e remoções por sumidouros de GEE que não tenham sido estimados, mas para os quais uma atividade correspondente pode ocorrer no país.

As emissões e remoções de solos minerais e solos orgânicos do Setor LULUCF não foram desagregadas e as emissões de não CO₂ da categoria Agricultura permanecendo Agricultura (4.B.1) foram incluídas (IE) no Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F) do Setor Agropecuária (Capítulo 6 no NIR).

Em incêndios onde ocorre a conversão de classe de uso e cobertura da terra, são estimadas apenas as emissões de CO₂ associadas à perda do estoque de carbono na classe de vegetação original. As emissões de CO₂ e de gases não-CO₂ provenientes de incêndios em que não ocorre conversão de classe de uso e cobertura da terra ainda não foram contabilizadas neste NIR. O acompanhamento da dinâmica das queimadas e da regeneração vegetal ao longo dos anos inventariados não é simples, pois demanda o acesso a imagens de satélite com maior periodicidade, além de dados científicos específicos de taxas de crescimento da vegetação. Ademais, a diferenciação de incêndios naturais e de antrópicas não é trivial.

As emissões e remoções de CO₂ de Agricultura permanecendo Agricultura (4.B.1) não foram contabilizadas por indisponibilidade de dados especializados por tipo de cultivo para os períodos anteriores a 2022. Apesar de as Pastagens Degradadas (APD) terem sido mapeadas no inventário da Quarta Comunicação Nacional, as remoções de CO₂ foram contabilizadas apenas para áreas convertidas de outros usos que não pastagem para pastagens bem manejadas, para toda a série histórica. Essas estimativas foram feitas a partir da aplicação de fatores de alteração de carbono orgânico do solo estratificados proporcionalmente, por Unidade Federativa (UF), com relação à qualidade das pastagens (naturais/ plantadas em boas condições/plantadas em más condições). O *Box 7.1* discorre sobre a contabilização de remoções de CO₂ da vegetação no Inventário Nacional.

Box 7.1. Contabilização de Remoções de CO₂ da Vegetação

As remoções de CO₂ são resultado da fotossíntese, processo em que há fixação de carbono na biomassa. Quando há conversão de uso e cobertura da terra, são contabilizadas as remoções associadas à fixação de carbono da nova classe de vegetação. Além disso, quando uma classe de vegetação permanece na mesma classe, são contabilizadas as remoções em dois casos, em vegetação primária situada em área protegida e nas áreas de floresta de corte seletivo (CS).

As remoções em vegetação secundária são contabilizadas somente quando ocorre a conversão de uma classe de uso e cobertura para a classe de vegetação secundária (Floresta secundária, Outras Formações Lenhosas secundárias e Campo secundário). A determinação dos padrões de crescimento e dinâmica das áreas de vegetação secundária não está bem estabelecida para todas as formações vegetacionais brasileiras. Em razão da impossibilidade de identificação da dinâmica e tempo de crescimento dessas áreas entre os anos mapeados, foram contabilizadas as remoções de áreas que foram convertidas para vegetação secundária apenas no primeiro período identificado no mapeamento.

O Quadro 7.2 resume os métodos, assim como descreve as principais referências de dados de atividade, fatores de emissão, premissas e outros parâmetros considerados na elaboração das estimativas de emissões do Setor LULUCF.

Quadro 7.2. Resumo metodológico e referências de dados de atividade, fatores de emissão, premissas e outros parâmetros para estimar as emissões e remoções do Setor LULUCF.

MUDANÇA DO USO E COBERTURA DA TERRA – EMISSÕES E REMOÇÕES DE CO ₂		
Método: Abordagem 3 do IPCC (2006): todas as categorias de uso e cobertura da terra e suas mudanças são consideradas espacialmente em todo o território. Os parâmetros e fatores de emissão/remoção para cada compartimento de carbono dos diferentes usos e coberturas da terra foram estimados a partir de estudos realizados no país (<i>Tier 2</i>) e, na ausência de dados nacionais, foram utilizados dados padrão do IPCC (<i>Tier 1</i>).		
Dados de atividade	Fator de emissão (FE) e outros parâmetros	Outras premissas ou parâmetros para anos estimados
Matrizes de conversão de uso e cobertura da terra obtidas a partir do cruzamento de mapeamentos de todos os biomas brasileiros para os anos de 1994, 2002, 2005 (somente Amazônia), 2010 e 2016, a partir de imagens dos satélites Landsat e Resourcesat-1 em escala 1:250.000 e área mínima de 6 ha. As classes consideradas foram Floresta Manejada (FM)⁶⁵, Floresta Não Manejada (FNM), Floresta Secundária (FSec), Corte Seletivo (CS, somente para o bioma Amazônia), Reflorestamento (Ref), Campo Manejado (GM)¹ Campo Não Manejado (GNM), Campo Secundário (GSec), Pastagem (Ap)⁶⁶, Agricultura (Ac)⁶⁷, Assentamentos (S), Água (A, rios e lagos), Reservatórios artificiais (Res), Afloramento rochoso (ArM, ArNM), Dunas (DnM, DnNM), Solo Exposto (SE), Mineração (Min) e Áreas Não Observada (NO, áreas cobertas por nuvens e/ou sombras). Os mapas de uso e cobertura da terra também foram cruzados com outras camadas de informações: mapa de limites dos biomas (IBGE, 2004), mapa de limites municipais (IBGE, 2017), mapa de vegetação natural pretérita⁶⁸ adaptado do (IBGE, 2019) pelo SFB e Rede CLIMA, mapa de carbono orgânico do solo (adaptado de Bernoux <i>et al.</i>, 2002) e mapa de áreas protegidas (FUNAI, 2016; ICMBio, 2016).	A associação das matrizes de conversão de uso e cobertura da terra com as equações de perda e ganho de carbono do IPCC (2006) e os fatores descritos abaixo permitiram gerar as matrizes de emissões brutas da vegetação, de remoções da vegetação, de emissões/remoções líquidas do solo, e emissões/remoções líquidas, por bioma e período. <u>Carbono da vegetação:</u> às fitofisionomias do mapa de vegetação natural pretérita de cada bioma foram associados valores de carbono da biomassa para cada compartimento: acima do solo (AGB); abaixo do solo ou subterrânea (BGB) e matéria orgânica morta (DOM, constituída de madeira morta em pé e caída, e serapilheira), com base em dados de campo e literatura científica e, na ausência de informações, razões e/ou valores-padrão do IPCC (madeira morta do IPCC 2003 e BGB do IPCC, 2006). O teor de carbono da biomassa seca florestal foi de 47% para todos os compartimentos, com exceção da serapilheira (46%) (IPCC, 2006; Ometto <i>et al.</i>, 2006). Já para a vegetação campestre e outras formações lenhosas, consideraram-se 47% para AGB e BGB, 50% para madeira morta e 40% para serapilheira (IPCC, 2006). <u>Fatores de emissão/remoção da vegetação:</u> o incremento em biomassa/carbono da vegetação foi estimado a partir de literatura científica e, em alguns casos, foram utilizados valores-padrão do IPCC com relação à BGB (IPCC, 2006). <u>Outros parâmetros:</u> estoque e/ou incremento de pastagem e agricultura foram estimados a partir de literatura científica e valores-padrão do IPCC (2006). Classes como Área Urbana, Solo Exposto, Mineração, Reservatório, Dunas e Afloramento Rochoso tiveram seu estoque de carbono associado a zero. <u>Estoque de carbono orgânico do solo:</u> foi adaptada a metodologia desenvolvida por Bernoux <i>et al.</i> (2002), que estima a quantidade de carbono orgânico do solo em	<u>Anualização das emissões (categorias 4.A a 4.F):</u> para a anualização das emissões brutas de CO₂ entre os anos mapeados, foram calculados índices de anualização com base no desmatamento anual de cada bioma para distribuir as emissões brutas ao longo do período avaliado, quando disponíveis: Prodes do INPE (2024a) para a Amazônia, Atlas de Remanescentes Florestais da Mata Atlântica para Mata Atlântica (Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2023), Prodes Cerrado para o Cerrado (INPE, 2024b), Atlas do Monitoramento da Cobertura Vegetal da Bacia do Alto Paraguai (SOS Pantanal, 2020) e PMDBBS para Caatinga, Pampa (MMA, 2012). Na ausência de dados de desmatamento anual, foi usada a média aritmética das emissões do período. Para estimar as emissões líquidas por bioma, às emissões brutas de CO₂ anualizadas foram acrescentadas as emissões/remoções líquidas de solo e diminuídas as remoções da vegetação (ambas distribuídas igualmente por

⁶⁵ Formações naturais protegidas, ou seja, dentro de Unidades de Conservação e Terras Indígenas

⁶⁶ Para 2016, foram mapeadas as pastagens degradadas dos biomas Amazônia e Cerrado.

⁶⁷ Para 2016, foram diferenciados cultivos agrícolas anuais, perenes e semiperenes. Para os anos anteriores, foram utilizadas as proporções de tipos de cultivos do IBGE.

⁶⁸ Permite identificar as fitofisionomias e suas categorias (Floresta, Campo ou Outras Formações Lenhosas).

função do tipo de solo e tipo de vegetação, ambos classificados pelos autores em 6 e 15 grandes grupos, respectivamente.

Fatores de alteração do carbono orgânico do solo: fatores de alteração de carbono por mudança de uso e cobertura da terra (fLU), pelo regime de manejo (fMG) e pelas adições (fI) foram desenvolvidos para reflorestamento, cultivos agrícolas (plantio direto x plantio convencional) e pastagens (naturais/plantadas em boas condições/plantadas em más condições/degradadas). Esses dois últimos foram aplicados considerando as proporções por UF do IBGE (2017).

ano, com exceção das remoções de formações naturais dentro de áreas protegidas).⁶⁹

Emissões para o período de 2017 a 2022 (Subsetores 4.A. a 4.F.): as emissões brutas de CO₂ foram estimadas a partir do método de dados substitutos (IPCC, 2006⁷⁰), baseado em dados de desmatamento anual até 2022 para Amazônia (INPE, 2024a), Cerrado (INPE, 2024b) e Mata Atlântica (Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2023), até 2019 para Pantanal (SOS Pantanal, 2020); e até 2011 para Caatinga e Pampa (MMA, 2012). Na ausência de dados para os anos de 2017 a 2022 foram replicados os valores do último ano com dado disponível.

Foram replicados os dados de 2016 para remoções da vegetação e emissões/remoções do solo. As emissões líquidas por bioma consistiram na soma das emissões brutas de CO₂ e emissões líquidas remoções do solo, menos as remoções da vegetação.

Queima de biomassa associada à mudança do uso e cobertura da terra – Emissões e remoções de CO₂ e de gases não CO₂

Método: As emissões pela queima de biomassa deixada no campo, associadas à conversão de formações naturais para outros usos foram calculadas de acordo com as diretrizes IPCC (2006), segundo os níveis metodológicos *Tier 1* e 2.

As emissões de gases não CO₂ por incêndios em que não houve conversão de classe de uso e cobertura da terra não foram contabilizadas.

Dados de atividade	Fator de emissão (FE) e outros parâmetros	Outras premissas ou parâmetros para anos estimados

⁶⁹ O país contabiliza as remoções de formações naturais protegidas a partir da data de criação de cada uma delas.

⁷⁰ IPCC (2006, v. 1, cap. 5, p. 5.10).

A partir das emissões brutas de CO ₂ oriundas de desmatamento, foi possível estimar a matéria seca original da vegetação antes de ser convertida para outros usos. Dessa matéria seca original, foram extraídos os valores de lenha e madeira em tora provenientes de extração vegetal (IBGE, 2024), obtendo a matéria seca restante em campo e disponível para queima.			Fatores de combustão, para cada bioma e formação vegetal, foram obtidos a partir de revisão de literatura. FE (CH ₄ , N ₂ O, NO _x e CO) padrão IPCC (2006) por tonelada de matéria seca queimada, levando em consideração a diferenciação entre formações florestais, campestres e outras formações lenhosas.		
Produtos Florestais Madeireiros (PFM) (subsetor 4.G)					
Método: Abordagem de fluxo atmosférico do IPCC (2006).					
Dados de atividade		Fator de emissão (FE) e outros parâmetros		Outras premissas ou parâmetros para anos estimados	
Produção, importação e exportação de madeira serrada, painéis de madeira, papel e papelão (FAO, 2024). Resíduos originados de madeira, papel e papelão e de resíduos de parques e jardins.		Fatores de conversão de unidades (densidade, fração de carbono e fator de carbono) de i) madeiras em tora, tora industrial, serrada, em pasta, cavacos, partículas, lenha, resíduos de madeira; ii) carvão vegetal; iii) painéis de madeira; iv) papel e papelão, pasta, pasta de fibra reciclada e papel reciclado foram os valores-padrão do IPCC (2006).			

7.2.1 Representação do uso e cobertura da terra

Este NIR utiliza como base as informações produzidas no inventário da Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2020; 2021), para a representação do uso e cobertura da terra e estimativas de GEE de 1990 a 2016, em que foram utilizados dados de conversão de uso e cobertura da terra, espacialmente explícitos para todo o território nacional.

Nessa análise espacial, todo o país foi subdividido em unidades na forma de polígonos, que resultaram do cruzamento das seguintes camadas de informações:

- Biomas brasileiros, de acordo com os limites oficiais (IBGE, 2004).
- Limites estaduais e municipais oficiais de 2016.
- Áreas protegidas: Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs) até 2016, de acordo com as bases do ICMBIO⁷¹ (2018) e da FUNAI⁷² (2018).
- Vegetação natural pretérita (distribuição das fitofisionomias), de acordo com o mapa de vegetação do IBGE (2017) adaptado pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e Rede Clima.
- Associação solo-vegetação, adaptado de Bernoux *et al.* (2002).
- Mapas de uso e cobertura da terra em 1994, 2002, 2005 (só Amazônia), 2010 e 2016.

A partir da associação dessas informações com os dados de estoque de carbono, estimou-se a perda ou ganho de carbono proveniente do uso e mudança do uso e cobertura da terra e, com seu somatório, as emissões e remoções de CO₂ foram estimadas para os períodos considerados. As informações das matrizes de emissões e remoções por bioma, desagregadas por classe de uso e cobertura da terra, foram reunidas em planilhas únicas, cujos dados foram agregados por Categoria do IPCC (2006) (4.A – 4.C) e Categorias, de acordo com as respectivas fitofisionomias (detalhes ver em Apêndice A.VII.1).

O Brasil tem dimensões continentais e contém seis biomas com elevada diversidade ambiental, ecológica e socioeconômica (Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal) (Figura 7.3). Os dados de atividade e fatores de emissão e remoção foram considerados de forma regionalizada por bioma, a fim de melhor abordar suas especificidades.

⁷¹ A base de dados das Unidades de Conservação foi repassada pelo órgão responsável (ICMBio) e os dados foram obtidos nos dias 19 e 31 de julho de 2018 pelo portal http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm?/dados/shape_file.

⁷² Os dados espaciais das Terras Indígenas (TI) foram repassados pela FUNAI e obtidos em 19 e 31 de julho de 2018 pelo portal www.funai.gov.br/index.php/i3geo.



Figura 7.3. Distribuição dos biomas brasileiros no território nacional.

Fonte: IBGE (2004).

O Brasil possui grande variedade de formações vegetais, com elevada biodiversidade e complexidade estrutural. A definição das fitofisionomias seguiu o manual técnico da vegetação brasileira desenvolvido pelo IBGE (IBGE, 2012). As fitofisionomias foram agrupadas, em termos de estrutura da vegetação, nas categorias Floresta, Campo e Outras Formações Lenhosas (Quadro 7.3), com base no mapa de vegetação pretérita (Figura 7.4).

Os detalhes metodológicos do mapa de vegetação pretérita estão no Apêndice A.VII.2. Esse mapa foi utilizado como base para os estoques pretéritos de carbono da vegetação.⁷³ Essa classificação foi baseada na comunicação brasileira ao *Global Forest Resources Assessment* (FRA) (FAO, 2015), elaborada pelo Serviço Florestal Brasileiro com o intuito de manter consistência entre os diferentes reportes brasileiros e adaptá-los com o objetivo de manter a consistência com a classificação proposta pelo IPCC (IPCC, 2006). Embora a categoria de estrutura da vegetação Outras Formações Lenhosas seja distinta da categoria Campo no FRA (FAO, 2015), ela foi incluída como Campo, conforme as diretrizes do IPCC (2006).⁷⁴

⁷³ Os estoques de carbono das classes de vegetação estão apresentados no Apêndice A.VII.3 (Tabelas A.VII.2 a A.VII.8).

⁷⁴ Segundo IPCC (2006), muitas formações arbustivas com elevada proporção de biomassa lenhosa perene podem ser consideradas Campo e os países podem optar por contabilizar algumas ou todas estas formações na categoria Campo.

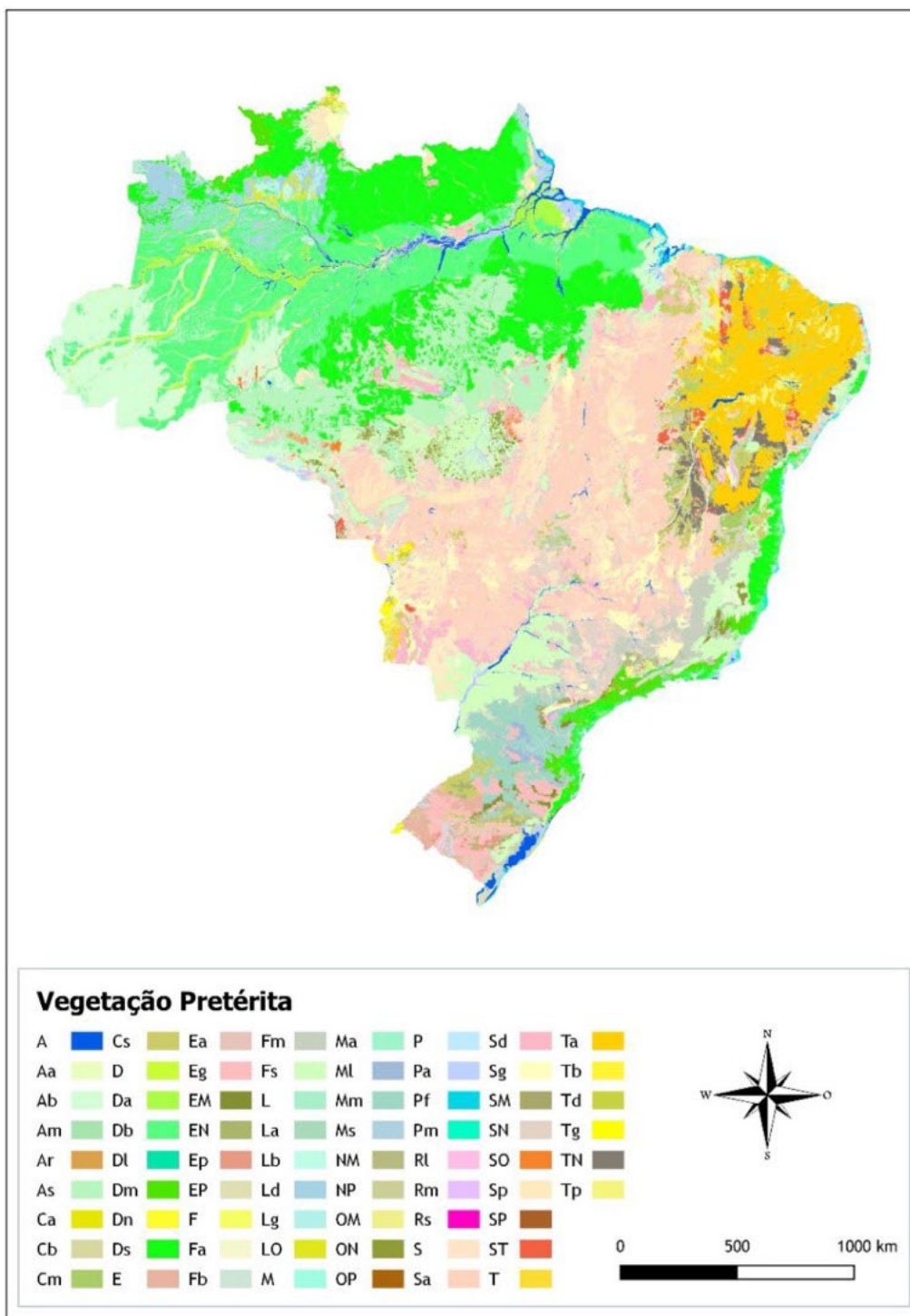


Figura 7.4. Mapa de vegetação natural pretérita do Brasil. As siglas estão descritas no Quadro 7.3 a seguir.

Fonte: IBGE (2017), adaptado pelo SFB e Rede CLIMA.

Quadro 7.3. Fitofisionomias do mapa de vegetação natural pretérita e sua correspondência com as classes do IPCC (2006).

CLASSE DO IPCC	ESTRUTURA	FITOFISIONOMIA	SIGLA
Floresta (F)	Floresta	Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial	Aa
		Floresta Ombrófila Aberta – Terras Baixas	Ab
		Floresta Ombrófila Aberta – Montana	Am
		Floresta Ombrófila Aberta – Submontana	As
		Floresta Estacional Decidual – Aluvial	Ca
		Floresta Estacional Decidual – Terras Baixas	Cb
		Floresta Estacional Decidual – Montana	Cm
		Floresta Estacional Decidual – Submontana	Cs
		Floresta Ombrófila Densa – Aluvial	Da
		Floresta Ombrófila Densa – Terras Baixas	Db
		Floresta Ombrófila Densa – Montana	Dm
		Floresta Ombrófila Densa – Submontana	Ds
		Estepe	E
		Estepe – Arborizada	Ea
		Contato Estepe/Formações	EP
		Floresta Estacional Semidecidual – Aluvial	Fa
		Floresta Estacional Semidecidual – Terras Baixas	Fb
		Floresta Estacional Semidecidual – Montana	Fm
		Floresta Estacional Semidecidual – Submontana	Fs
		Campinarana	L
		Campinarana – Arborizada	La
		Campinarana Florestada	Ld
		Contato Campinarana / Floresta Ombrófila	LO
		Floresta Ombrófila Mista – Aluvial	Ma
		Floresta Ombrófila Mista – Alto-Montana	MI
		Floresta Ombrófila Mista – Montana	Mm
		Floresta Ombrófila Mista – Submontana	Ms
		Contato Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista	NM
		Contato Floresta Estacional/Formações Pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga)	NP
		Contato Floresta Ombrófila Densa/Floresta Ombrófila Mista	OM
		Contato Floresta Ombrófila/Floresta Estacional	ON
		Contato Floresta Ombrófila/Formações Pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga)	OP
		Áreas das Formações Pioneiras	P
		Vegetação com influência fluviomarinha	Pf
		Vegetação com influência marinha (Restinga)	Pm
		Savana	S
		Savana – arborizada	Sa
		Savana – florestada	Sd
		Contato Savana/Floresta Ombrófila Mista	SM
		Contato Savana/Floresta Estacional	SN
		Contato Savana/Floresta Ombrófila	SO
		Contato Savana/Savana-Estépica	ST

CLASSE DO IPCC	ESTRUTURA	FITOFISIONOMIA	SIGLA
Campo (G)	Campo	Contato Savana/Savana-Estépica/Floresta Estacional	STN
		Contato Savana/Savana-Estépica	ST
		Savana-Estépica	T
		Savana-Estépica – arborizada	Ta
		Savana-Estépica – florestada	Td
		Contato Savana-Estépica/Floresta Estacional	TN
	Outras Formações Lenhosas	Estepe – Gramíneo-Lenhosa	Eg
		Estepe – Parque	Ep
		Contato Estepe/Floresta Ombrófila Mista	EM
		Contato Estepe/Floresta Estacional	EN
		Campinarana – Gramíneo-Lenhosa	Lg
		Savana – Gramíneo-Lenhosa	Sg
		Savana-Estépica – Gramíneo-Lenhosa	Tg
		Campinarana – arbustiva	Lb
		Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre	Pa
		Refúgios Alto-Montanos	Rl
		Refúgios Montanos	Rm
		Refúgio Submontano	Rs
		Savana – parque	Sp
		Savana-Estépica – parque	Tp
Outras Terras (O)	Outras Terras	Afloramentos rochosos	Ar
		Dunas	Dn

Assim, as categorias foram divididas, em função da diversidade de formações vegetais, dos biomas brasileiros e de uso da terra no país conforme apresentado no Quadro 7.4. O Subsetor Campo e Pastagem incluiu as formações naturais de Campos e Outras Formações Lenhosas, bem como as Pastagens.⁷⁵

Quadro 7.4. Categorias do Setor LULUCF segundo o IPCC (IPCC, 2006⁷⁶) e suas divisões conforme particularidades nacionais.

CATEGORIAS (IPCC)	DIVISÃO DAS CATEGORIAS CONFORME PARTICULARIDADES NACIONAIS	SIGLAS
Floresta (<i>Forest</i>)	Floresta manejada	FM
	Floresta não manejada	FNM
	Floresta secundária	FSec
	Corte seletivo	CS
	Reflorestamento	Ref
Campo e Pastagem (<i>Grassland</i>)	Campo manejado	GM
	Campo não manejado	GNM
	Campo secundário	GSec
	Pastagem	Ap

⁷⁵ A categoria Campo “inclui pastagens que não são consideradas terras agrícolas. Também inclui sistemas com vegetação lenhosa e outra vegetação não gramínea, como ervas e arbustos, que ficam abaixo dos limites usados na categoria Florestal. A categoria também inclui todas as pastagens, desde pastagens naturais até áreas recreativas, bem como sistemas agrícolas e silvipastoris, consistentes com as definições nacionais” (IPCC, 2006, v. 4, cap. 6, p. 6.3).

⁷⁶ IPCC (2006, v. 4, cap. 3).

CATEGORIAS (IPCC)	DIVISÃO DAS CATEGORIAS CONFORME PARTICULARIDADES NACIONAIS	SIGLAS
Agricultura (<i>Cropland</i>)	Pastagem degradada	APD
	Outras formações lenhosas manejadas	OFLM
	Outras formações lenhosas não manejadas	OFLNM
	Outras formações lenhosas secundárias	OFLSec
	Agricultura anual	AC
	Agricultura perene	PER
	Agricultura semiperene	CANA
Áreas Úmidas (<i>Wetlands</i>)	Água	A
	Reservatório	Res
Assentamentos (<i>Settlements</i>)	Assentamentos	S
Outras terras (<i>Other land</i>)	Dunas manejadas	DnM
	Dunas não manejadas	DnNM
	Afloramento rochoso manejado	ArM
	Afloramento rochoso não manejado	ArNM
	Mineração	Min
	Solo exposto	SE
	Áreas não observadas ⁷⁷	NO

As remoções de CO₂ da vegetação primária que permanece como vegetação primária foram computadas em Áreas Protegidas (UCs e TIs). O *Box 7.2* apresenta a definição de áreas protegidas adotada no Brasil, assim como descreve procedimentos metodológicos de contabilização neste NIR, segundo a área total por bioma mapeada quando da elaboração do inventário da Quarta Comunicação Nacional.

Box 7.2. Definição de áreas protegidas

⁷⁷ Nuvens ou sombras nas imagens de satélite.

Unidades de Conservação (UCs) são “espaços territoriais e seus recursos ambientais, com características naturais relevantes, que têm a função de assegurar a representatividade de amostras significativas e ecologicamente viáveis das diferentes populações, habitats e ecossistemas do território nacional e das águas jurisdicionais”⁷⁸ (em função da aprovação da Lei nº 9.985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC).

Terras Indígenas (TIs) são “uma porção do território nacional, de propriedade da União, habitada por um ou mais povos indígenas, por ele(s) utilizada para suas atividades produtivas, imprescindível à preservação dos recursos ambientais necessários a seu bem-estar e necessária à sua reprodução física e cultural, segundo seus usos, costumes e tradições.”

Aspectos metodológicos

- As remoções das Áreas Protegidas foram contabilizadas a partir de suas datas de criação (Tabela 7.1). Foram consideradas apenas as áreas classificadas como Área Protegida até 2016.
- As informações e polígonos das UCs foram disponibilizados pelo ICMBIO (2018)⁷⁹. Foram incluídas as UCs federais (exceto pelas Reservas Particulares do Patrimônio Natural), estaduais e municipais.
- As informações e polígonos das TIs foram disponibilizadas pela Funai (2018)⁸⁰. Algumas TIs não tinham data associada a nenhuma das fases de implementação (aproximadamente 0,37% da extensão territorial das áreas protegidas) e, para esses casos, ainda que a vegetação natural tenha sido classificada como “manejada”, as remoções de CO₂ não foram contabilizadas. De toda forma, elas foram consideradas no cômputo de áreas manejadas.
- A base original foi ajustada nos casos em que havia sobreposição entre Áreas Protegidas para evitar dupla contagem. Nesses casos, considerou-se a data mais antiga de criação e delimitação original.

Tabela 7.1. Área das Unidades de Conservação e Terras Indígenas criadas até 1994 e nos períodos subsequentes (2002, 2010 e 2016).

Biomassas	Criadas até 1994	Criadas entre 1995 e 2002	Criadas entre 2006 e 2010	Criadas entre 2011 e 2016
Amazônia	93.442.923	141.734.221	202.314.334	212.165.968
	(22)	(34)	(48)	(50)
Cerrado	9.705.964	20.306.539	22.773.945	23.208.206
	(5)	(10)	(11)	(11)
Mata Atlântica	5.053.003	7.656.443	8.931.858	9.586.251
	(5)	(7)	(8)	(9)
Caatinga	801.238	4.983.674	6.469.078	6.645.582
	(1)	(6)	(8)	(8)
Pampa	396.630	504.133	504.599	505.933

Nota: Entre parênteses, a contribuição relativa acumulada (%) das áreas protegidas em relação à área total de cada bioma.

⁷⁸ A base de dados das Unidades de Conservação foi repassada pelo órgão responsável (ICMBio) e os dados foram obtidos nos dias 19 e 31 de julho de 2018 pelo portal. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/o-que-sao.html>. Acesso em: 5 jul. 2024.

⁷⁹ A base de dados das Unidades de Conservação foi repassada pelo órgão responsável (ICMBio) e os dados foram obtidos nos dias 19 e 31 de julho de 2018 pelo portal http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm?dados/shape_file.

⁸⁰ Os dados espaciais das Terras Indígenas (TI) foram repassados pela FUNAI. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>. Acesso em: 5 jul. 2024.

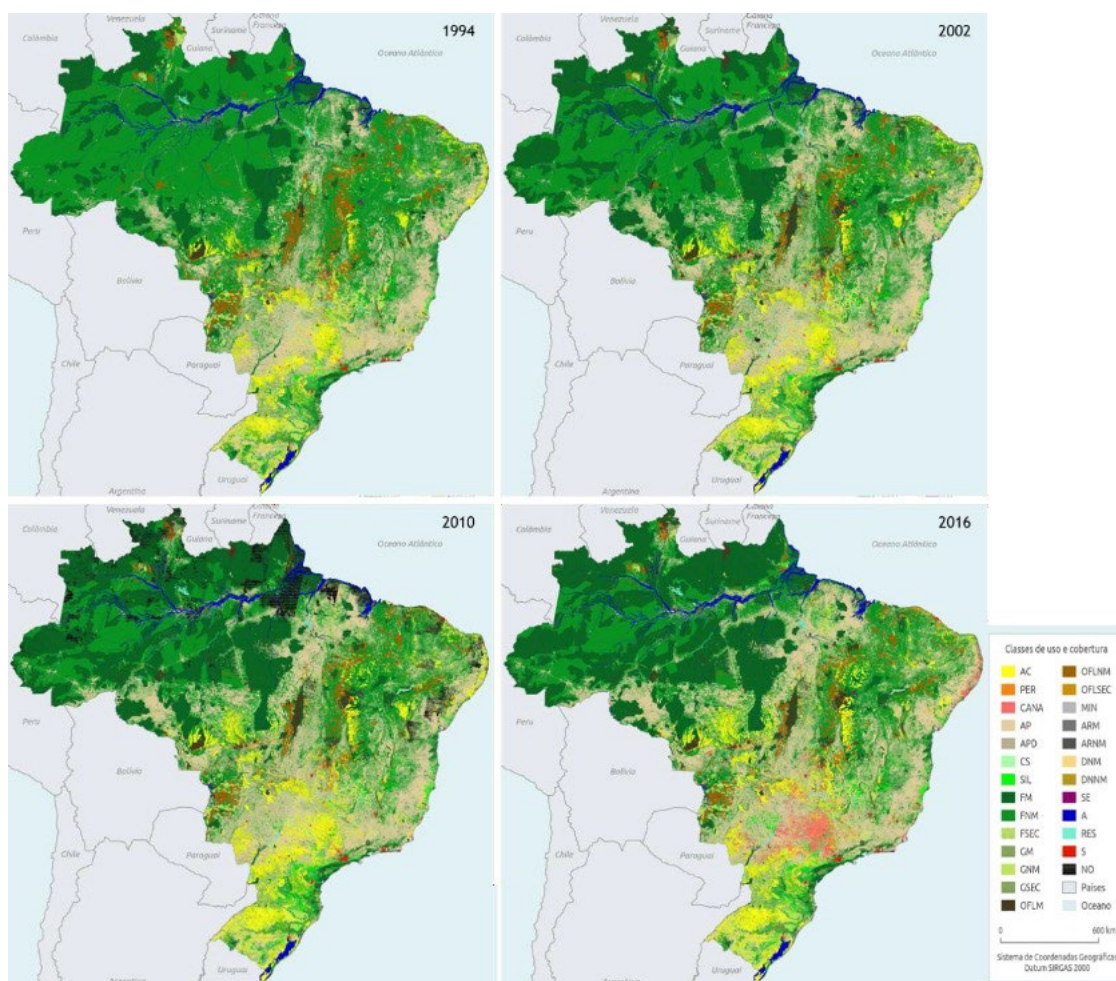
A vegetação secundária está associada ao processo de regeneração natural ou plantio de espécies nativas/restauração florestal. A determinação dos padrões de crescimento e dinâmica das áreas de vegetação secundária não está bem estabelecida para todas as formações vegetacionais brasileiras. Em razão da impossibilidade de identificação da dinâmica e tempo de crescimento dessas áreas entre os anos mapeados, foram consideradas apenas as remoções de CO₂ de classes de uso e cobertura que foram convertidas para vegetação secundária, ou seja, não foram consideradas as remoções de vegetação secundária que permanece como vegetação secundária. A categoria Reflorestamento, no âmbito deste inventário, está relacionada ao plantio comercial de espécies exóticas.

7.2.2 Estimativas entre 1995 e 2016 baseadas no mapeamento de uso e cobertura da terra

Os mapas de uso e cobertura da terra foram produzidos durante a elaboração do inventário da Quarta Comunicação Nacional, a partir da interpretação visual de um mosaico de imagens do território nacional adquiridas via satélite (Apêndice A.VII.1). Cada porção homogênea do território foi vetorizada manualmente e associada a uma das Categorias/Subcategorias de uso da terra definidas no Quadro 7.4, gerando mapas de uso e cobertura da terra dos anos avaliados.

Os dados de atividade para estimar as emissões líquidas associadas à conversão de uso e cobertura da terra foram produzidos a partir de dados espacialmente explícitos – Abordagem 3 do IPCC⁸¹ (IPCC, 2006). Para isso foi realizado o mapeamento de todo o país (por bioma), a partir da interpretação visual de imagens de satélite (sensores TM/OLI do satélite Landsat-5/8) para os anos de 1994, 2002, 2010 e 2016 (Figura 7.5). Dada a relevância da Amazônia e a necessidade em se compreender melhor as transições de uso, especialmente os impactos do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), iniciado em 2004, também foi realizado o mapeamento para o ano de 2005 para esse bioma.

⁸¹ IPCC (2006, v. 4, cap. 3, p. 3.13).



Nota: As siglas estão descritas no Quadro 7.4.

Figura 7.5. Mapas de uso e cobertura da terra do Brasil para os anos de 1994, 2002, 2010 e 2016.

No inventário da Quarta Comunicação Nacional, os mapas de uso e cobertura da terra foram combinados com diversas camadas de informação espacial. Isso gerou mais de 23 milhões de polígonos⁸², que resultaram em matrizes de conversão de uso e cobertura da terra para os períodos 1994-2002, 2002-2010 e 2010-2016⁸³. No Apêndice A.VII.1 são apresentados os procedimentos metodológicos adotados no mapeamento.

Foram considerados os estoques de carbono dos seguintes compartimentos: biomassa (acima e abaixo do solo), matéria orgânica morta (serapilheira e madeira morta caída e em pé) e solo (carbônico orgânico do solo) (IPCC, 2006)⁸⁴. A quantidade de carbono da biomassa de cada compartimento foi calculada a partir de estimativas de fração de carbono da biomassa seca obtidas

⁸² Cada polígono representou uma conversão de uso e cobertura da terra para os períodos avaliados.

⁸³ As matrizes de conversão de uso e cobertura da terra consideram as emissões anuais após o primeiro ano de mapeamento e as emissões anuais do último mapeamento de cada intervalo temporal. Ou seja, a matriz de 1994-2002 considera as emissões anuais 1995 a 2002, a matriz de 2002-2010 considera as emissões anuais de 2003 a 2010 e assim por diante. Para Amazônia também foram geradas matrizes de transição para os períodos 2002-2005 e 2005-2010. As matrizes de uso e cobertura da terra do Brasil para os períodos de 1994-2002, 2002-2010 e 2010-2016 estão no Apêndice A.VII.3 (Tabelas A.VII.9 a A.VII.11). As demais matrizes de transição de uso e cobertura da terra e de emissões/remoções do Brasil e biomas estão disponíveis em: <http://www.ccst.inpe.br/cn/>.

⁸⁴ IPCC (2006, v. 4, cap. 1, p. 1.9, Tabela 1.1).

na literatura para dados do Brasil e valores-padrão do IPCC (IPCC, 2006) (Quadro 7.5). As estimativas foram realizadas para todas as classes de vegetação e por bioma.

Quadro 7.5. Teor de carbono na biomassa seca utilizada para diferentes compartimentos e classes de estrutura da vegetação.

COMPARTIMENTO	FLORESTA/OUTRAS FORMAÇÕES LENHOSAS	FONTE	CAMPO	FONTE
AGB	0,47	IPCC (2006, v. 4, cap. 4, p. 4.48, Tab. 4.3); Ometto <i>et al.</i> , 2006	0,47	IPCC (2006, v. 4, cap. 4, p. 6.29)
BGB	0,47	IPCC (2006, v. 4, cap. 4, p. 4.48, Tab. 4.3)	0,47	IPCC (2006, v. 4, cap. 4, p. 4.48, Tab. 4.3)
DW	0,47	IPCC (2006, v. 4, cap. 4, p. 4.48, Tab. 4.3)	0,50	IPCC (2006, v. 4, cap. 6, p. 6.11)
Serapilheira	0,46	Ometto <i>et al.</i> , 2006	0,40	IPCC (2006, v. 4, cap. 6, p. 6.11)

Notas: AGB = biomassa acima do solo, BGB = biomassa abaixo do solo, DW = madeira morta.

Para cada classe de uso e cobertura da terra foram associados fatores de emissão e remoção de carbono (Tabelas A.VII.8, A.VII.12 e A.VII.13, Apêndice A.VII.3). Foram priorizados valores publicados em artigos científicos e dados nacionais de cada bioma (*Tier 2*), adotando-se os fatores padrão do IPCC (IPCC, 2006) somente quando as informações nacionais não estavam disponíveis (*Tier 1*).

A partir desse conjunto de informações, as emissões e remoções de CO₂ por uso e cobertura da terra foram estimadas para cada categoria e subcategoria, de acordo com a metodologia proposta pelo IPCC (IPCC, 2006),⁸⁵ com equações adaptadas para circunstâncias nacionais.

De acordo com a metodologia de contabilização usada no Inventário Nacional, é feito um balanço de carbono de determinada área em dois pontos no tempo (*stock-difference method*) (IPCC, 2006)⁸⁶. Por exemplo, quando uma área de floresta é convertida para agricultura, considera-se, inicialmente, que todo seu carbono é emitido (emissões brutas) e, no momento final, que há também carbono na vegetação do novo uso (remoções). A diferença entre estes estoques de carbono inicial e final corresponde às emissões líquidas da vegetação desta área, às quais se somam as emissões líquidas dos solos (Tabela A.VII.14, Apêndice A.VII.3).

7.2.2.1 Carbono orgânico no solo

As emissões líquidas de carbono do solo foram baseadas no estoque de carbono orgânico do solo (COS) para cada classe de vegetação e fatores de emissão e remoção⁸⁷. Foi considerado o ganho ou perda de COS resultante da mudança do uso e cobertura da terra que ocorre durante 20 anos, período estabelecido para que uma categoria seja finalmente classificada como outra (IPCC, 2006). As estimativas foram baseadas na Equação 2.25 do IPCC (2006)⁸⁸, adaptada na equação a

⁸⁵ IPCC (2006, v. 4, cap. 2).

⁸⁶ IPCC (2006, v. 4, cap. 2).

⁸⁷ As emissões e remoções de solos minerais e solos orgânicos de LULUCF não foram desagregadas.

⁸⁸ IPCC (2006, v. 4, cap. 2, página 2.30).

seguir para considerar o período entre os mapeamentos do Inventário Nacional (referente à variável “T”).

Quadro 7.6. Equações para estimar a emissão líquida em razão da variação no carbono do solo.

Equações	Descrição	Equação central	Referência
Equação 7.1	Emissões líquidas de carbono do solo	$ES_i = A_i \times C_{\text{solo}} \times [f_c(t_0) - f_c(t_f)] \times \frac{(T/2)}{20}$	Adaptada da Equação 2.25 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 2)
Equação 7.2	Fatores de alteração de carbono do solo	$f_c(t) = f_{IU} \times f_{MG} \times f_I$	Adaptada da Equação 2.25 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 2)

Em que:

ES_i = emissão líquida associada ao polígono i no período T devido à variação no carbono do solo (t C);

A_i = área do polígono i (ha);

C_{solo} = carbono orgânico no solo sob a associação solo-vegetação do polígono (carbono de referência);

$f_c(t)$ = fator de alteração de carbono de solo no instante t (adimensional);

T = número de anos do período avaliado no inventário (anos);

f_{IU} = fator de mudança de estoque devido ao tipo de uso ou mudança de uso da terra;

f_{MG} = fator de mudança de estoque devido ao regime de manejo; e

f_I = fator de mudança de estoque devido à adição de matéria orgânica.

Estoque de carbono do solo

O estoque médio de COS foi estimado por meio da metodologia de associação do solo-vegetação, adaptada de Bernoux *et al.* (2002), a partir das seguintes etapas: i) adaptação do mapa de solos do Brasil (Embrapa, 2003) em escala 1:5.000.000; ii) adaptação do mapa de vegetação do Brasil (IBGE, 2004) em escala 1:5.000.000; e iii) geração do mapa de associação solo-vegetação.

Primeiramente, as 69 classes inseridas nas 18 ordens do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2003) foram reclassificadas de acordo com o protocolo proposto pelo IPCC (2006), que leva em consideração a textura do solo, a saturação por bases e a umidade. O detalhamento dessa associação de classes é apresentado em Bernoux *et al.* (2002). Essas classes foram reagrupadas em seis grandes grupos de classes de solos: (S1) Solos com argila de atividade alta; (S2) Latossolos com argila de atividade baixa; (S3) Não Latossolos com argila de atividade baixa; (S4) Solos arenosos; (S5) Solos hidromórficos; e (S6) Outros Solos (Figura A.VII.26, Apêndice A.VII.3). As classes de vegetação foram agregadas em 15 categorias, considerando os principais grupos de vegetação, a fitofisionomia e/ou localização geográfica (Bernoux *et al.*, 2002) (Figura A.VII.27, Apêndice A.VII.3).

Para cada associação entre classe de solo e vegetação, foram estabelecidas estimativas de estoque de carbono até a profundidade de 30 cm (Figura 7.6 e Tabela A.VII.15, Apêndice A.VII.3).

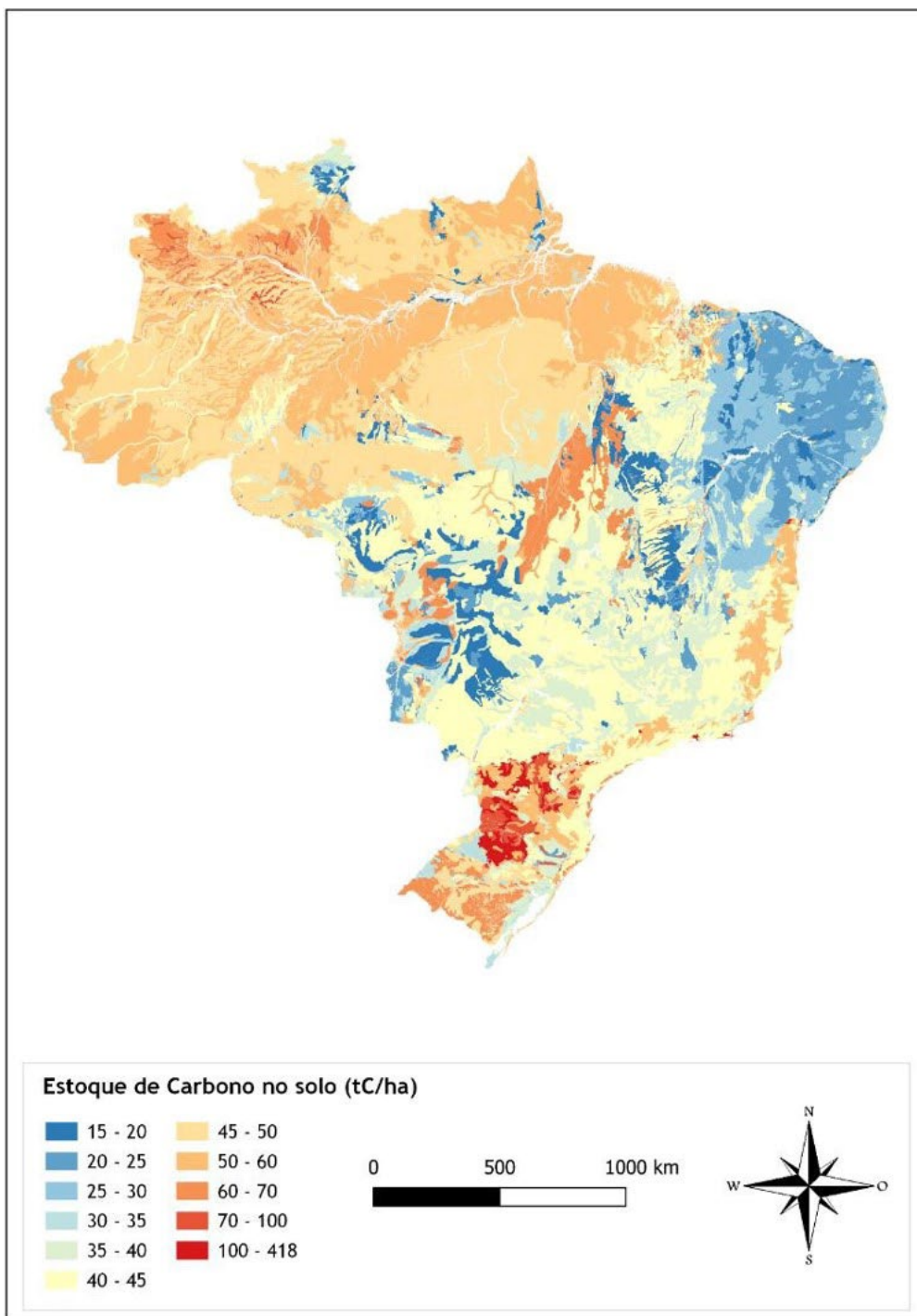


Figura 7.6. Estoque de carbono nos solos do Brasil, adaptado de Bernoux *et al.* (2002).

Fatores de alteração de carbono orgânico do solo

Para a quantificação da alteração de COS, o IPCC (2006) sugere o uso de fatores de mudança em função do uso da terra ou manejo para a camada de 0–30 cm de profundidade e período de 20 anos de conversão. Os fatores de alteração de carbono pelo uso da terra (f_{IU}), pelo regime de manejo (f_{MG}) e pelas adições (f_I) (Tabela A.VII.16, Apêndice A.VII.3) foram selecionados a partir dos valores sugeridos pelo IPCC (2006) e consulta a especialistas (Brasil, 2010). Para derivar os fatores de alteração dos estoques de COS associados aos diferentes tipos de cultivos agrícolas e pastagens, foi utilizado um modelo linear misto de regressão, descrito no *Box 7.3*, que inclui efeitos fixos e aleatórios (Pinheiro; Bates, 2000).

Box 7.3. Cálculo dos fatores de alteração dos estoques de carbono do solo

Para derivar os fatores de alteração dos estoques de COS foi utilizado um modelo de regressão misto.

A variável resposta para os diferentes sistemas de manejo foi a proporção do estoque médio de COS de determinado sistema de uso da terra (plantio convencional, plantio direto e pastagem), dividido pelo estoque médio de COS do uso anterior (vegetação nativa).

As variáveis de efeitos aleatórios foram de municípios e fazendas. Os tipos de solos e biomas foram tratados como variáveis indicadoras, também denominadas variáveis “dummy” (categóricas). Alguns estudos tiveram dados de múltiplos locais (fazendas) e foram tratados como pontos de dados separadamente na análise estatística (Pinheiro; Bates, 2000; Ogle *et al.*, 2005). As variáveis de efeitos fixos foram: tipo de solo, mineralogia, profundidade de amostragem, tempo de mudança do uso da terra e sistema de manejo.

Para a derivação dos fatores de alteração de COS partir da mudança de vegetação nativa para diferentes condições de pastagens (Tabela A.VII.17 e Tabela A.VII.18, Apêndice A.VII.3) foram utilizados 582 registros, oriundos de 50 artigos científicos e 12 teses.

A mineralogia do solo foi baseada na classificação proposta pelo IPCC (IPCC, 2006):

- i) solos com alto conteúdo de argila (*HAC*);
- ii) solos com baixo conteúdo de argila (*LAC*);
- iii) solos com conteúdo > 70% de areia e < 8% de argila (solos *Sandy*).

A inclusão de estudos com diferentes profundidades no conjunto de dados foi realizada de acordo com o procedimento proposto por Ogle *et al.* (2004). Foram gerados dois modelos de regressão (X_1 e X_2), a partir dos valores superior e inferior do incremento de uma camada de solo, com base em uma função quadrática (assumindo que os impactos são maiores na superfície e diminuem com a profundidade no perfil). A relação média do estoque COS para um único incremento foi uma integral da profundidade superior para a inferior da função quadrática dividida pela espessura do incremento. A função quadrática foi integrada aumentando a profundidade, usando as seguintes equações para as variáveis X_1 e X_2 .

$$X_1 = \frac{L^2 - U^2}{2 \times (L - U)} \quad X_2 = \frac{L^3 - U^3}{3 \times (L - U)}$$

Em que: L (cm) representa a profundidade inferior do incremento e U (cm) a profundidade superior. As incertezas foram estimadas por meio da predição do desvio-padrão do valor de cada fator de mudança nos estoques de COS. Foram realizados ajustes de estoques de COS – incluindo os casos de mudança de densidade do solo após conversão de vegetação nativa para diferentes sistemas de manejo – com a abordagem de massa equivalente do solo, seguindo o procedimento proposto por Sisti *et al.* (2004).

Os fatores de alteração de carbono do solo foram ponderados para pastagens naturais e plantados em boas e más condições, por UF e bioma, com base nos dados do IBGE, uma vez que os mapas de uso e cobertura da terra apenas possibilitaram identificar as pastagens degradadas dos biomas Cerrado e Amazônia.

A determinação dos fatores de alteração de COS na agricultura considerou os diferentes sistemas de plantio (convencional ou direto) por bioma. Para aplicá-los, os fatores foram ponderados por UF, a partir de dados de IBGE (2018d; 2018e) (Tabela A.VII.19 e Tabela A.VII.20, Apêndice A.VII.3), já que não foi possível obtê-los pelos mapas de uso e cobertura da terra).

7.2.3 Estimativas de emissões para o período 1990-1994

Uma vez que o mapeamento anterior a 1994 apresentou pressupostos metodológicos diferentes do inventário da Quarta Comunicação Nacional, foi preciso realizar ajustes e recálculos para estimar as emissões e remoções de 1990 a 1994, com base em ponderações a partir dos inventários da Comunicação Inicial do Brasil (Brasil, 2004) e da Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2020; 2021), a fim de manter consistência na série histórica deste Inventário. As atualizações são descritas a seguir (Quadro 7.7).

Quadro 7.7. Particularidades metodológicas do inventário da Comunicação Inicial do Brasil e procedimentos para calcular as estimativas 1990-1994.

PARTICULARIDADES METODOLÓGICAS DO INVENTÁRIO DA COMUNICAÇÃO INICIAL DO BRASIL

Mapeamento

- Os biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga foram analisados por amostragem, segundo o grau de antropismo. Já os biomas Mata Atlântica e Pantanal foram analisados em suas totalidades.
- Foram identificadas apenas as áreas convertidas de formações naturais para outros usos (sem detalhamento do uso final) e áreas de regeneração (com exceção do bioma Caatinga).

Remoções

- O Inventário Inicial não incluía remoções de CO₂ por formações naturais manejadas (protegidas), o que foi considerado a partir do Inventário da Segunda Comunicação Nacional.

Reflorestamento

- A metodologia de cálculo de reflorestamento considerou o aumento de área de floresta plantada por ano, de eucalipto e de pinus, e estimou o incremento anual de carbono considerando os anos do ciclo de corte.

Emissões do solo

- A metodologia usada para estimar as emissões anuais de CO₂ para mudanças de uso do solo e práticas de manejo e solos orgânicos foi diferente dos inventários posteriores.

Procedimento metodológicos para ponderação das emissões de 1990-1994

PARTICULARIDADES METODOLÓGICAS DO INVENTÁRIO DA COMUNICAÇÃO INICIAL DO BRASIL

Estoque de carbono da biomassa da vegetação natural pretérita

- Os estoques foram atualizados por bioma, considerando o estoque de carbono médio. No Inventário Inicial foram consideradas as emissões totais de carbono e respectivas áreas. No presente inventário os estoques de carbono foram ponderados por área de representatividade de cada fitofisionomia do mapa de vegetação natural pretérita.

Emissões brutas de CO₂ por transição de uso e cobertura da terra

- As emissões brutas foram corrigidas de acordo com a variação do estoque de carbono do Inventário da Comunicação Inicial, por bioma. Para o Pampa, que não havia sido analisado, tomou-se a média anual do período seguinte (1994 a 2002). Para a Amazônia, o Inventário da Comunicação Inicial estimou emissões líquidas anuais a partir da variação das taxas de desmatamento do bioma. Para manter consistência com a metodologia aplicada no inventário, apenas as emissões brutas foram moduladas; manteve-se a média simples para os demais biomas.

Remoções da vegetação:

- Os fatores de remoção foram atualizados a partir da variação das taxas médias de remoção do Inventário da Comunicação Inicial para os fatores aplicados a partir do inventário da Quarta Comunicação Nacional.
- Os fatores de remoção foram estimados por média ponderada em função das diversas transições para vegetação secundária (FSec, GSec e OFLSec), com as taxas de remoção apropriadas a cada transição, das matrizes de transição de uso e cobertura da terra do período de 1994–2002.
- Para os biomas Caatinga e Pampa, foram utilizadas diretamente as remoções anuais do período seguinte (1994–2002) calculadas no Inventário da Quarta Comunicação Nacional. Mantiveram-se as médias simples das remoções para todos os biomas.
- As remoções por reflorestamento para 1990-1994, calculadas no Inventário Inicial, foram desconsideradas nos inventários da Segunda e Terceira Comunicação Nacional. Essas estimativas foram novamente consideradas a partir do inventário da Quarta Comunicação Nacional. A distribuição dessas remoções foi dividida proporcionalmente aos biomas, segundo suas emissões brutas.

Remoções das áreas protegidas:

- Foram calculadas as remoções de formações naturais protegidas de 1990-1994 a partir da data de criação da UC ou TI.

Emissões de solo:

- Foram utilizadas as estimativas anuais obtidas para o período 1994-2002.

7.2.4 Anualização das estimativas de emissão e remoção

O mapeamento de uso e cobertura da terra permite estimar as emissões e remoções apenas por período avaliado. As emissões brutas de CO₂ desse setor estão associadas principalmente à supressão da vegetação natural (Tabela 7.2). Por isso, foram utilizados dados secundários de desmatamento anual por bioma como *proxy* para distribuir, anualmente, as emissões brutas de CO₂ estimadas por período avaliado. A soma dos índices de anualização de determinado período é exatamente o número de anos desse período (por exemplo, entre 1994 e 2002 a soma dos índices de anualização do período será de 8 anos). O método foi baseado em índices de anualização por bioma, com base nas Equações 7.3 e Equação 7.4.

Quadro 7.8. Equações para estimar as emissões brutas anuais de CO₂, a partir das emissões por período.

Equações	Descrição	Observações	Equações central	Referência
Equação 7.3	Índice de anualização	Baseado no desmatamento anual	$IA_{ano\ i\ período\ j} = \frac{DA_{ano\ i}}{\bar{DA}_{período\ j}}$	Brasil (2022)
Equação 7.4	Emissão bruta Anual de CO ₂	Baseado no índice de anualização	$E_{ano\ i\ período\ j} = IA_{ano\ i\ período\ j} \times \bar{E}_{período\ j}$	Brasil (2022)

Em que:

$IA_{ano\ i\ período\ j}$ = índice de anualização (IA) do ano i no período j para o bioma (adimensional);

$DA_{ano\ i}$ = área desmatada (DA) no ano i no bioma (km²);

$\bar{DA}_{período\ j}$ = média aritmética da área desmatada (DA) no período j para o bioma (km²);

$E_{ano\ i\ período\ j}$ = emissão bruta anual de CO₂ para o ano i no bioma (kt); e

$\bar{E}_{período\ j}$ = média aritmética da emissão bruta de CO₂ no período j para o bioma (kt).

A anualização das emissões brutas de CO₂ para os anos em que não havia dados de desmatamento anual foi obtida a partir da média aritmética das emissões de cada período avaliado. Para o compartimento solo, as estimativas de emissões e remoções líquidas foram distribuídas igualmente para cada ano dos períodos.

As remoções da vegetação foram distribuídas igualmente para cada ano do período, com exceção daquelas provenientes de vegetação protegida,⁸⁹ visto que puderam ser anualizadas com base nas datas de criação das UCs e TIs. Dessa forma, para os casos em que a vegetação permaneceu protegida durante todo o período⁹⁰, as remoções foram distribuídas igualmente a cada ano. Para os casos em que as áreas se tornaram protegidas ao longo do período,⁹¹ as remoções foram contabilizadas a partir do ano de criação.⁹²

As emissões anuais de gases não CO₂ foram estimadas a partir das emissões brutas anuais de CO₂ e segundo valores anuais de extração e lenha e tora no Brasil (IBGE, 2024).

⁸⁹ Representada pelas classes de Floresta Manejada (FM), Campo Manejado (GM) e Outras Formações Lenhosas Manejadas (OFLM).

⁹⁰ Nas matrizes de conversão, são representadas por FM-FM, GM-GM e OFLM-OFLM.

⁹¹ Nas matrizes de conversão, são representadas por FNM-FM, GNM-GM e OFLNM-OFLM.

⁹² O aumento da remoção registrado está relacionado à criação de novas UCs e TI ao longo do tempo.

Tabela 7.2. Valores de desmatamento anual (DA) por bioma e índices de anualização (IA) utilizados para estimar a emissões anuais brutas de CO₂ entre 1990 e 2016.

Ano	Amazônia Legal ⁹³		Cerrado		Caatinga		Mata Atlântica		Pantanal		Pampa	
	DA (km ² ano ⁻¹)	IA	DA (km ² ano ⁻¹)	IA	DA (km ² ano ⁻¹)	IA	DA (km ² ano ⁻¹)	IA	DA (km ² ano ⁻¹)	IA	DA (km ² ano ⁻¹)	IA
1990	13.730	1,00	-	-	-	-	1.073	-	-	-	-	-
1991	11.030	0,81	-	-	-	-	1.001	1,00	-	-	-	-
1992	13.786	1,01	-	-	-	-	1.001	1,00	-	-	-	-
1993	14.896	1,09	-	-	-	-	1.001	1,00	-	-	-	-
1994	14.896	1,09	-	-	-	-	1.001	1,00	-	-	-	-
1995	29.059	1,52	-	-	-	-	1.001	1,30	-	-	-	-
1996	18.161	0,95	-	-	-	-	892	1,16	-	-	-	-
1997	13.227	0,69	-	-	-	-	892	1,16	-	-	-	-
1998	17.383	0,91	-	-	-	-	892	1,16	-	-	-	-
1999	17.259	0,90	-	-	-	-	892	1,16	-	-	-	-
2000	18.226	0,95	-	-	-	-	892	1,16	-	-	-	-
2001	18.165	0,95	26.933	-	-	-	350	0,45	-	-	-	-
2002	21.650	1,13	26.933	-	-	-	350	0,45	-	-	-	-
2003	25.396	1,06	28.767	1,67	2.762	1,13	350	1,17	563	1,019	366	1,00
2004	27.772	1,15	28.767	1,67	2.762	1,13	350	1,17	563	1,019	366	1,00
2005	19.014	0,79	16.879	0,98	2.762	1,13	350	1,17	563	1,019	366	1,00
2006	14.286	1,34	16.879	0,98	2.762	1,13	343	1,15	563	1,019	366	1,00
2007	11.651	1,09	13.314	0,77	2.762	1,13	343	1,15	563	1,019	366	1,00

⁹³ O conceito “Amazônia Legal” está inserido no âmbito da Plano de Valorização Econômica da Amazônia. A Amazônia Legal, cuja delimitação foi definida pela Lei nº 5.173, de 27 de outubro de 1966, abrange a região compreendida pelos estados do Acre, Pará e Amazonas, pelos Territórios Federais do Amapá, Roraima e Rondônia, e ainda pelas áreas do estado de Mato Grosso a norte do paralelo de 16º, do estado de Goiás a norte do paralelo de 13º e do estado do Maranhão a oeste do meridiano de 44º.

Ano	Amazônia Legal ⁹³		Cerrado		Caatinga		Mata Atlântica		Pantanal		Pampa	
	DA (km ² ano ⁻¹)	IA	DA (km ² ano ⁻¹)	IA	DA (km ² ano ⁻¹)	IA	DA (km ² ano ⁻¹)	IA	DA (km ² ano ⁻¹)	IA	DA (km ² ano ⁻¹)	IA
2008	12.911	1,21	13.314	0,77	2.762	1,13	343	1,15	563	1,019	366	1,00
2009	7.464	0,70	9.910	0,58	1.921	0,78	152	0,51	522	0,944	331	0,90
2010	7.000	0,66	9.910	0,58	1.134	0,46	152	0,51	522	0,944	415	1,13
2011	6.418	1,07	8.976	0,88	494	-	141	0,67	380	0,840	329	-
2012	4.571	0,76	8.976	0,88	-	-	220	1,05	380	0,840	-	-
2013	5.891	0,98	13.482	1,33	-	-	239	1,14	439	0,971	-	-
2014	5.012	0,84	10.904	1,07	-	-	183	0,87	439	0,971	-	-
2015	6.207	1,03	11.129	1,10	-	-	184	0,88	538	1,189	-	-
2016	7.893	1,32	7.497	0,74	-	-	291	1,39	538	1,189	-	-

Notas:

- Hifens representam os anos sem dados de desmatamento.
- Para o bioma Amazônia foram utilizados dados de desmatamento na Amazônia Legal. O Prodes contabiliza o desmatamento somente de vegetação florestal por corte raso na Amazônia Legal. Apesar de o programa considerar um limite diferente, os mesmos valores foram utilizados para os cálculos do Inventário anterior (Brasil, 2022), uma vez que a área coberta por vegetação florestal é semelhante à do bioma Amazônia.
- Para Amazônia e Cerrado, em que foram utilizados dados do Prodes, o período de reporte de mapeamento corresponde a 1 de agosto (do ano anterior) a 31 de julho (do ano reportado).
- Para Mata Atlântica foi considerada a área desmatada nos limites da Lei da Mata Atlântica (Brasil, 2006).

Fonte: Elaborado a partir de Amazônia e Cerrado (INPE, 2024a; 2024b), Mata Atlântica (Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 2023), Pantanal (SOS Pantanal, 2020), Caatinga e Pampa (MMA, 2012).

7.2.5 Estimativas de emissões para o período 2017-2022

Emissões brutas de CO₂

As emissões de gases de efeito estufa do Setor LULUCF estão relacionadas à dinâmica de uso e cobertura da terra, principalmente ao desmatamento. O último mapeamento de uso e cobertura da terra compreende o ano de 2016. Por essa razão, as emissões brutas de CO₂ a partir de 2017 foram estimadas por meio do método de dados substitutos (IPCC, 2006)⁹⁴, com base nas taxas de desmatamento anual disponíveis por bioma e índices de anualização (Equações 7.5 e 7.6). Para os biomas onde não havia dados de desmatamento disponíveis, foram replicadas as emissões brutas de CO₂ referentes ao último ano com dado de desmatamento disponível. Assim, os valores de emissão bruta de CO₂ de 2011 da Caatinga e Pampa e de 2019 do Pantanal foram replicados para os anos de 2017 a 2022, assim adotando procedimento análogo ao aplicado no Inventário anterior (Brasil, 2022). Por sua vez, as remoções de CO₂ da vegetação, bem como as emissões líquidas do solo, foram mantidas constantes de 2017 a 2022 relativamente aos valores obtidos em 2016.

Os resultados de emissões e remoções anuais por bioma (estimados a partir dos dados de desmatamento anual) foram desagregados por classe de uso e cobertura da terra. Na sequência, foram agregados por categoria do IPCC (Categorias 4.A – 4C) e subcategorias, de acordo com as respectivas fitofisionomias.

Quadro 7.9. Equações para estimar as emissões brutas anuais de CO₂ de 2017 a 2022, a partir das taxas de desmatamento anual.

Equações	Descrição	Equações central	Referência
Equação 7.5	Método de dados substitutos	$IA_{e_{ano\ i}} = \frac{DA_{ano\ i}}{DA_{ano\ i-1}}$	Adaptado da Equação 5.2 (IPCC, 2006, v.1, p. 5.10)
Equação 7.6	Método de dados substitutos	$E_{ano\ i} = IA_{ano\ i} \times E_{ano\ i-1}$	Adaptado da Equação 5.2 (IPCC, 2006, v.1, p. 5.10)

Em que:

$IA_{e_{ano\ i\ período\ j}}$ = índice de anualização para extrapolação das emissões para o ano i (adimensional) do bioma;
 $DA_{ano\ i}$ = área desmatada (DA) no ano i no bioma (km²);
 $DA_{ano\ i-1}$ = área desmatada (DA) no ano imediatamente anterior ao ano i no bioma (km²);
 $E_{ano\ i}$ = emissão bruta anual de CO₂ extrapolada para o ano i para cada categoria o bioma (kt); e
 $E_{ano\ i-1}$ = emissão bruta anual de CO₂ estimada para o ano imediatamente anterior ao ano i para cada categoria no bioma (kt).

⁹⁴ IPCC (2006, v. 1, cap. 5, p. 5.10).

Tabela 7.3. Valores de desmatamento anual (DA) por bioma e índices de anualização (IAe) utilizados para estimar a emissões anuais brutas de CO₂ entre 2017 e 2022.

Ano	Unidade	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Amazônia Legal	DA (km ² ano ⁻¹)	6.947	7.536	10.129	10.851	13.038	11.594
	IAe	0,88	1,08	1,34	1,07	1,20	0,89
Cerrado	DA (km ² ano ⁻¹)	7.117	7.260	6.319	7.905	8.531	10.689
	IAe	0,95	1,02	0,87	1,25	1,08	1,25
Caatinga	DA (km ² ano ⁻¹)	-	-	-	-	-	-
	IAe	-	-	-	-	-	-
Mata Atlântica	DA (km ² ano ⁻¹)	126	114	144	131	216	201
	IAe	0,43	0,91	1,26	0,91	1,66	0,93
Pantanal	DA (km ² ano ⁻¹)	533	446	263	-	-	-
	IAe	0,991	0,837	0,591	-	-	-
Pampa	DA (km ² ano ⁻¹)	-	-	-	-	-	-
	IAe	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado a partir de Amazônia e Cerrado (INPE, 2024a; 2024b), Mata Atlântica (Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 2023), Pantanal (SOS Pantanal, 2020), Caatinga e Pampa (MMA, 2012).

Notas:

- Hifens representam os anos sem dados de desmatamento.
- Para o bioma Amazônia foram utilizados dados de desmatamento na Amazônia Legal. O Prodes contabiliza o desmatamento somente de vegetação florestal por corte raso, na Amazônia Legal. Apesar de o programa considerar um limite diferente, os mesmos valores foram utilizados para os cálculos das Estimativas Anuais, uma vez que a área coberta por vegetação florestal é semelhante à do bioma Amazônia.
- Para Amazônia e Cerrado, em que foram utilizados dados do Prodes, o mapeamento corresponde àquele reportado de 1º de agosto (do ano anterior) a 31 de julho (do ano reportado).
- Para Mata Atlântica foi considerada a área desmatada nos limites da Lei da Mata Atlântica (Brasil, 2006). Para 2018, as imagens foram selecionadas principalmente no segundo semestre. Para 2019 a 2022, foram selecionadas imagens principalmente no segundo semestre, tendo outubro como mês de referência.
- No caso do Pantanal, o monitoramento, utiliza o satélite *Sentinel 2*, que constituem a base de referência para o mapeamento. Em um primeiro momento, foi realizada a seleção de imagens de maio a setembro com menor cobertura de nuvens para a elaboração dos mosaicos de 2018 e 2019.

Emissões líquidas de CO₂ do solo

As emissões e remoções provenientes das transições que alteram o estoque de carbono orgânico do solo, de todos os biomas, entre 2017 e 2022, foram estimadas a partir da repetição do valor do último ano avaliado (2016), no Inventário da Quarta Comunicação Nacional.

Remoções de CO₂

Como o montante de áreas protegidas foi idêntico ao considerado no Inventário da Quarta Comunicação Nacional (que compreendeu o período de 1990 a 2016), não foram contabilizadas as remoções das UCs ou TIs criadas de 2017 a 2022. Assim, consideraram-se integralmente as remoções de vegetação preservada em áreas protegidas criadas até 2016.

Produtos Florestais Madeireiros

As emissões de Produtos Florestais Madeireiros foram baseadas nos dados atualizados da FAOSTAT (FAO, 2024) e foi mantido o valor fixo (de 2016) para a variável 1B para os anos de 2017 a 2022, em decorrência da indisponibilidade de dados atualizados. A metodologia utilizada para esse subsetor será descrita na Seção 7.9.

Emissões líquidas de CO₂

As emissões líquidas anuais do setor foram obtidas por meio da soma das emissões brutas da vegetação, emissões líquidas do solo e remoções, tanto da vegetação quanto dos produtos florestais madeireiros.

Emissões de gases não CO₂

As emissões de gases não CO₂ foram estimadas a partir do mesmo método e fonte de dados utilizados para estimar as emissões de 1990 a 2016. Foram usados dados de emissões brutas anuais CO₂ estimadas para o período de 2017 a 2022 e valores atualizados de extração de lenha e tora do IBGE (IBGE, 2024).

Agregação das estimativas por bioma para categorias do IPCC

Os resultados de emissões e remoções anuais por bioma (estimados a partir dos dados de desmatamento anual) foram agregados por classe de uso e cobertura da terra e, na sequência, por categoria do IPCC (4.A – 4C) e subcategorias.

7.2.6 Estimativas de gases não-CO₂

A estimativa de gases não CO₂ (CH₄, N₂O, CO e NO_x) é associada à queima da vegetação. Quando ocorre a conversão de vegetação natural para uso antrópico, parte da biomassa original é retirada na forma de madeira comercial para diferentes finalidades. Em seguida, normalmente a área é queimada, levando a emissões de gases não-CO₂. Assim, as estimativas para esses gases foram baseadas na conversão de vegetação natural para uso antrópico.⁹⁵

Como citado na seção 7.2, foram estimadas as emissões de gases não-CO₂ provenientes de incêndios em que ocorreram conversões de classes de uso e cobertura da terra. O acompanhamento da dinâmica das queimadas ao longo dos anos inventariados não é simples, pois demanda o acesso a imagens de satélite com maior periodicidade, além de dados científicos específicos de taxas de crescimento da vegetação. Ademais, a diferenciação de incêndios naturais e de causa antrópica não é trivial.

A estimativa de emissões de gases não CO₂ baseou-se na Equação 2.27 de IPCC (2006)⁹⁶ (Equação 7.7). A biomassa deixada no campo para queima foi estimada a partir da diferença entre a biomassa⁹⁷ da vegetação original da área desmatada e a biomassa da madeira (lenha e tora) extraída do Brasil (IBGE, 2024).⁹⁸ A quantidade de lenha e madeira em tora produzida na extração

⁹⁵ As emissões de gases não CO₂ da categoria Agricultura permanecendo Agricultura (4.B.1) foram incluídas no subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F) do setor Agropecuária.

⁹⁶ IPCC (2006, v. 4, cap. 2).

⁹⁷ Para gases não CO₂, a biomassa da vegetação original foi estimada a partir das emissões brutas anuais, aplicando-se fatores de conversão de CO₂ eq para carbono (3,667) e de carbono para biomassa (0,47).

⁹⁸ Dados disponibilizados na Tabela 289 (Quantidade produzida e valor da produção na extração vegetal, por tipo extrativo) em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289>. Como os dados são para todo o Brasil, a quantidade foi distribuída de forma proporcional à conversão da vegetação (de Floresta, Campo e Outras Formações Lenhosas) em cada bioma.

vegetal foi convertida de m³ estéreo para biomassa seca, a partir da densidade básica da madeira (0,631 t biomassa seca/m³ sólido)⁹⁹ e do fator de conversão de metros cúbicos estéreos para sólido (0,6141 m³ sólido/m³ estéreo).¹⁰⁰

Quadro 7.10. Equação para estimar as emissões de gases não-CO₂ pela queima de biomassa deixada no campo.

Equações	Descrição	Equações central	Referência
Equação 7.7	Estimativa de gases não-CO ₂ por fogo	$L_{\text{fogo}} = A \times M_B \times C_f \times G_{\text{ef}} \times 10^{-3}$	Equação 2.27 (IPCC, 2006, v. 4, p. 2.42)

Em que:

L_{fogo} = emissão de gases efeito estufa pelo fogo (t de gás);
 A = área queimada (ha);
 M_B = massa de combustível disponível para combustão (t ha⁻¹). Isso inclui a biomassa de serapilheira e madeira morta;
 C_f = fator de combustão (adimensional); e
 G_{ef} = fator de emissão (g kg⁻¹).

Foram aplicados fatores de combustão (por classe de vegetação e bioma) (Tabela 7.4) e fatores de emissão sugeridos pelo IPCC (2006)¹⁰¹ (Tabela 7.5). As emissões de CO₂ por queima não foram contabilizadas, visto que essas emissões já são consideradas no processo de conversão de uso e cobertura da terra.

Tabela 7.4. Fatores de combustão e referências, por bioma e categoria da vegetação.

Bioma	Categoria	Valor (Adimensional)	Fito-fisionomias avaliadas	Referências
Amazônia	F	0,368	Da, Db, Ds, Aa, Ab, As, Cs, Fa, Fb, Fs, Pa, Sd, Td, Sa, La	Ward <i>et al.</i> , 1992; Kauffman <i>et al.</i> , 1995; Araujo <i>et al.</i> , 1999; Fearnside <i>et al.</i> , 1993; 1999; 2001; Carvalho Jr <i>et al.</i> , 1995; 1998; 2001; Graça <i>et al.</i> , 1999; Balch <i>et al.</i> , 2008; Castro; Kauffman, 1998
	G	0,771	Sg, Tg, Lg, Rm	Barbosa; Fearnside, 2005 – Média Sg, Sp, Tg, Tp
	OFL	0,539	Sp, Tp, Lb	Barbosa; Fearnside, 2005

⁹⁹ Média obtida a partir de vários estudos (Barbosa; Fearnside, 2004; Nogueira *et al.*, 2007; Barbosa; Ferreira, 2004; Nogueira; Fearnside, 2008; Moreira; Moutinho, 2018; Silveira *et al.*, 2013).

¹⁰⁰ Média obtida a partir de vários estudos (Scolforo *et al.*, 2004; Batiste; Couto, 2002; Paiva, 2019; Batista; Couto, 2002).

¹⁰¹ IPCC (2006, v. 4, cap. 2, p. 2.47, Tabela 2.5).

Bioma	Categoria	Valor (Adimensional)	Fitofisionomias avaliadas	Referências
Cerrado	F	0,379	Dm, Ds, Aa, Ab, As, Cm, Cs, Fa, Fb, Fs, Fm, Pa, Pm, Sd, Td, Sa, Ta	Ward <i>et al.</i> , 1992; Kauffman <i>et al.</i> , 1995; Araujo <i>et al.</i> , 1999; Fearnside <i>et al.</i> , 1993; 1999; 2001; Carvalho Jr <i>et al.</i> , 1995; 1998; 2001; Graça <i>et al.</i> , 1999; Balch <i>et al.</i> , 2008; Castro; Kauffman, 1998; Balch <i>et al.</i> , 2008
	G	0,920	Sg, Tg	Castro; Kauffman, 1998 – Média Campo limpo e sujo
	OFL	0,840	Sp, Tp	Castro; Kauffman, 1998
Mata Atlântica	F	0,368	Idem Amazônia	Idem Amazônia – florestas tropicais úmidas
	G	0,920	Idem Cerrado	Idem Cerrado
	OFL	0,539	Idem Amazônia	Idem Amazônia
Caatinga	F	0,383	Cm, Cs, Fm, Fs, Pa, Sd, Td, Sa, Ta	Castro; Kauffman, 1998
	G	0,840	Idem. Outras formações lenhosas	Castro; Kauffman, 1998
	OFL	0,840	Idem Cerrado	Castro; Kauffman, 1998
Pampa	F	0,368	Idem Amazônia	Idem Amazônia – florestas tropicais úmidas
	G	0,944	Eg	Fidelis <i>et al.</i> , 2010
	OFL	0,539	Idem Amazônia	Idem Amazônia
Pantanal	F	0,379	Idem Cerrado	Idem Cerrado
	G	0,920	Idem Cerrado	Idem Cerrado
	OFL	0,840	Idem Cerrado	Idem Cerrado

Notas: F = Floresta; G = Campo; OFL= Outras Terras Florestadas. As siglas das classes de vegetação estão descritas no Quadro 7.4.

Tabela 7.5. Fatores de emissão dos gases não-CO₂ por categoria.

Gás	Floresta	Campo e Outras Formações Lenhosas
		Valor (kg/t biomassa seca queimada)
CO	104	65
CH ₄	6,8	2
N ₂ O	0,2	0
NO _x	1,6	4

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (2006).¹⁰²

7.3 Floresta (CRT 4.A)

Esse subsetor parte do conceito de floresta da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), que define floresta como área mínima de 0,5 hectares com dossel acima de 5 m de altura e cobertura de copa a partir de 10%, ou árvores capazes de atingir esses limites *in situ*, sem incluir áreas predominantemente utilizadas para fins agrícolas ou urbanos (FAO, 2012). Consideram-se tanto as florestas naturais quanto as plantadas.

O Subsetor Floresta (4.A) divide-se nas categorias Floresta permanecendo Floresta (4.A.1) e Área convertida para Floresta (4.A.2), que levam em consideração as subdivisões nacionais (Quadro 7.11). As emissões e remoções de CO₂ estão atreladas à perda ou ao ganho de carbono por uso e mudança do uso e cobertura da terra para todos os compartimentos. Já as emissões de CH₄ e N₂O estão atreladas ao processo de conversão de vegetação natural para reflorestamento.

Quadro 7.11. Subdivisão Nacional do subsetor Floresta (4.A)

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Floresta Manejada (FM)	Floresta natural, onde a ação humana não provocou alterações significativas das características, classificada com base no mapa de vegetação natural pretérita também com relação à sua fitofisionomia. Encontra-se em área protegida (UC ou TI) e, portanto, tem suas remoções de CO ₂ contabilizadas, com base em levantamento científico, quando permanece na mesma categoria nos períodos avaliados.
Floresta Não Manejada (FNM)	Floresta natural, onde a ação humana não provocou alterações significativas das características, classificada com base no mapa de vegetação natural pretérita também com relação à sua fitofisionomia. As emissões e remoções só são contabilizadas quando há conversão para uso antrópico. Não são contabilizadas remoções de CO ₂ quando ela permanece na mesma categoria nos períodos avaliados.
Floresta Secundária (FSec)	Classificada com base no mapa de vegetação natural pretérita e resultante de processo de regeneração natural associado a um uso antrópico prévio, por exemplo, cultivo agrícola ou pastagem.
Corte Seletivo (CS)	Identificado apenas no bioma Amazônia, consiste na retirada de árvores em florestas nativas, que pode estar associada à prática de manejo florestal sustentável, regulamentada e autorizada por órgãos competentes, bem como prática de corte seletivo predatório, que consiste na exploração insustentável de madeira ao longo do tempo e sem autorização dos órgãos competentes.

¹⁰² IPCC (2006, v. 4, cap. 2).

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Reflorestamento (Ref)	Florestas plantadas, em monocultura e, em sua grande maioria, com postas por espécies exóticas. No caso do Brasil, há predomínio de <i>Eucalyptus</i> spp. e <i>Pinus</i> spp, mas também há plantios de seringueira e teca.

Em 2022, o Subsetor Floresta (4.A) totalizou uma remoção líquida de -312.125 kt CO₂ eq, enquanto em 2020 o valor foi de -326.825 kt CO₂ eq. Em 2022, as remoções líquidas da categoria Floresta permanecendo Floresta (4.A.1) (-285.009 kt CO₂ eq) contribuíram com 91% das remoções líquidas em 2022, enquanto a categoria Área convertida para Floresta (4.A.2) contribuiu com 9% (-27.116 kt CO₂ eq) (Figura 7.7).

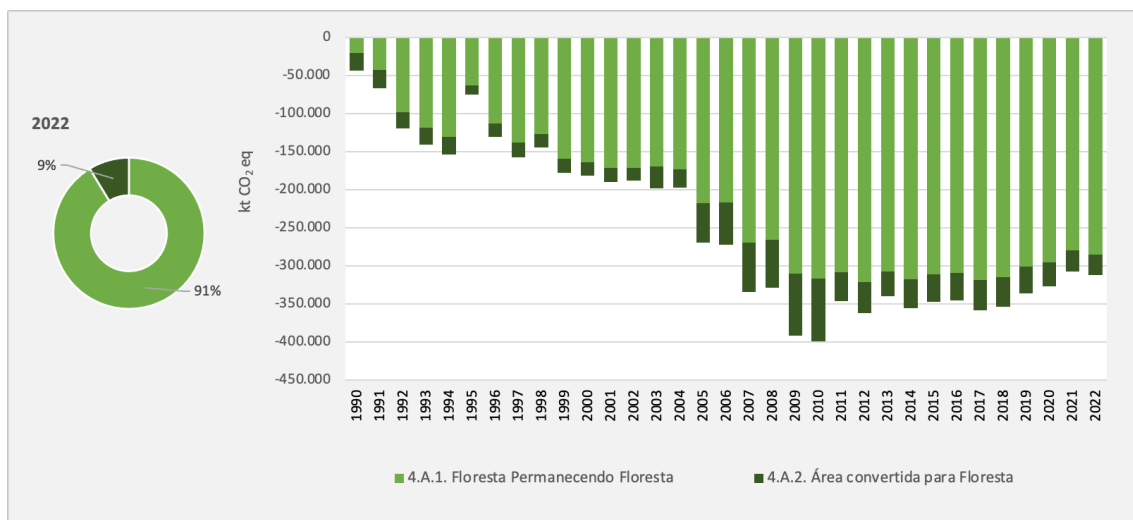


Figura 7.7. Remoções líquidas das categorias do Subsetor Floresta (4.A), em kt CO₂ eq, de 1990 a 2022.

7.3.1 Aspectos Metodológicos

As emissões e remoções de CO₂ são provenientes da perda ou ganho de carbono por mudança do uso ou cobertura da terra, para todos os compartimentos. Já as emissões de CH₄ e N₂O estão associadas ao processo de conversão de vegetação natural para reflorestamento.

Os estoques de carbono das florestas naturais foram estimados por fitofisionomia florestal e bioma (Tabela A.VII.2 a Tabela A.VII.7, Apêndice A.VII.3). Os fatores associados à emissão/remoção de CO₂ de florestas naturais, florestas submetidas a corte seletivo e reflorestamento são apresentados nas Tabelas A.VII.8, A.VII.12 e A.VII.13 (Apêndice A.VII.3), respectivamente.

Reflorestamento

Foram adotados os valores de estoques e ganhos de carbono do reflorestamento no Brasil para *Eucalyptus* spp., *Pinus* spp. e acácia-negra (*Acacia mearnsii*) dada a importância econômica e disponibilidade de informações dessas espécies.

Os mapas de uso e cobertura da terra não diferenciam as espécies plantadas por área de reflorestamento. Assim, a distribuição espacial foi feita com base em dados secundários, por UF. Primeiramente, foi realizada busca sobre as áreas de florestas plantadas para os anos 1994, 2002,

2005 e 2010 em diferentes fontes de informação (relatórios técnicos, anuários e outros documentos). Não foram encontradas diferenças significativas nas áreas de florestas plantadas previamente reportadas no inventário da Terceira Comunicação Nacional (Brasil, 2016). Por isso, foram utilizados os mesmos valores de área de reflorestamento (Tabela 7.6).

Tabela 7.6. Área de reflorestamento com eucalipto e pinus no Brasil utilizada como base para os anos de 1994, 2002, 2005 e 2010.

Cultura	Área plantada em 1994 (ha)	Área plantada em 2002 (ha)	Área plantada em 2005 (ha)	Área plantada em 2010 (ha)
Eucalipto	148.004 (87)	1.144.188 (74)	3.462.719 (65)	4.754.334 (73)
Pinus	23.067 (13)	392.464 (26)	1.831.485 (35)	1.756.359 (27)
Total	171.071	1.536.652	5.294.204	6.510.693

Nota: Os valores entre parênteses representam a porcentagem de área plantada de cada cultura.

Fonte: 1994 (Brasil, 2004), 2002 (Brasil, 2016), 2005 (ABRAF, 2012) e 2010 (ABRAF, 2011).

No presente inventário, foram usados dados de reflorestamento de eucalipto e pinus atualizados, no âmbito do inventário da Quarta Comunicação Nacional, para o ano de 2016 (Tabela 7.7), bem como para as demais principais culturas utilizadas em reflorestamento no Brasil (Tabela 7.8). Os dados utilizados aqui são oriundos do relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBA) (IBA, 2017), que apresenta as áreas de florestas plantadas para 15 UFs do Brasil.

A metodologia adotada pelo IBA foi a mesma em todas as UFs e baseia-se em: i) questionários respondidos pelas empresas e associações estaduais filiadas à IBA; ii) documentos oficiais e dados de instituições governamentais e autarquias, tais como secretarias estaduais, institutos, fundações e universidades; e iii) contato com empresas da cadeia produtiva de árvores plantadas não associadas à IBA.

Tabela 7.7. Área de reflorestamento para todas as Unidades Federativas (UF) em 2016.

UF	Área plantada (ha)		
	Eucalipto	Pinus	Total
Amapá	65.026 (100)	0	65.026
Bahia	612.199 (99)	3.301 (1)	615.500
Espírito Santo	233.760 (99)	2.500 (1)	236.260
Goiás	127.201 (94)	8.500 (6)	135.701
Maranhão	221.859 (100)	0	221.859
Mato Grosso	185.219 (100)	0	185.219
Mato Grosso do Sul	877.795 (99)	5.852 (1)	883.647
Minas Gerais	1.390.032 (97)	36.764 (3)	1.426.796
Pará	133.996 (100)	0	133.996
Paraná	294.050 (30)	672.607 (70)	966.657
Piauí	26.068 (100)	0	26.068
Rio Grande do Sul	308.178 (63)	184.595 (37)	492.773
Santa Catarina	116.240 (18)	545.835 (82)	662.075
São Paulo	946.124 (88)	124.179 (12)	1.070.303
Tocantins	116.798 (100)	200 (0,0)	116.998

UF	Área plantada (ha)		
	Eucalipto	Pínus	Total
Outras UFs	19.239 (100)	0	19.239
Total	5.673.784	1.584.333	7.258.117

Fonte: IBA (2017). Os valores entre parênteses representam a porcentagem de área plantada de cada cultura na UF.

Tabela 7.8. Área total de reflorestamento com outras culturas em 2016 no Brasil.

Culturas	Área plantada (ha)
Seringueira	229.964 (39)
Acácia	159.877 (27)
Teca	87.502 (15)
Paricá	90.047 (15)
Araucária	11.114 (2)
Pópulus	4.216 (1)
Outras	6.641 (1)
Total	589.361

Fonte: IBA (2017). Os valores entre parênteses representam a porcentagem de área plantada de cada cultura.

Para a estimativa do carbono de plantios florestais foi utilizada a equação do IPCC (2006), que sugere o uso da produtividade média das florestas em volume como a base para o cálculo de carbono. Neste caso, o incremento médio anual de carbono na biomassa de florestas plantadas (ΔC_{GRef}) foi baseado na equação 2.10 do IPCC (2006)¹⁰³, que sugere o uso da produtividade média das florestas em volume como a base para o cálculo de carbono (Equações 7.8 e 7.9).

Quadro 7.12. Equações para estimar estoques e remoções de CO₂ em áreas Reflorestamento.

Equações	Descrição	Equações central	Referência
Equação 7.8	Média de incremento de biomassa	$G_W = I_V \times D \times BEF$	Adaptado da Equação 2.10 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 2).
Equação 7.9	Incremento anual de carbono	$\Delta C_{GRef} = G_W \times 0,47 \times (1 + R)$	Adaptado da Equação 2.10 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 2).
Equação 7.10	Estoque médio de carbono em Reflorestamento	$C_{Ref} = \Delta C_{GRef} \times T/2$	Brasil (2015)

Em que:

G_W = média anual de incremento da biomassa acima do solo (t massa seca ha⁻¹ ano⁻¹);
 I_V = incremento líquido médio anual em volume, adequado para processamento industrial (m³ ha⁻¹ ano⁻¹);
 D = densidade básica de madeira (t massa seca m³);

¹⁰³ IPCC (2006, v. 4, cap. 2, p. 2.15).

BEF = fator de expansão da biomassa para converter o incremento líquido médio anual (em volume, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) para incremento da biomassa da árvore acima do solo (t ha^{-1}) (adimensional);
 $\Delta C_{G\text{Ref}}$ = incremento anual previamente calculado para cada uma das duas espécies ($\text{t C ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);
 R = razão biomassa raiz/biomassa parte aérea para cada cultura especificamente (adimensional);
 C_{Ref} = estoque médio de carbono de reflorestamento (t C ha^{-1});
 $\Delta C_{G\text{Ref}}$ = incremento anual previamente calculado para cada uma das duas espécies ($\text{t C ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$); e
 T = tempo do ciclo do plantio (ano). Para os plantios de eucalipto e acácia negra foi considerado um ciclo de 7 anos e para o pinus um ciclo de 15 anos (IBA, 2016).

No presente NIR foram utilizados dados coletados no âmbito do inventário da Quarta Comunicação Nacional para calcular o incremento anual médio em carbono das áreas de reflorestamento. Os parâmetros incremento líquido médio anual (I_V), densidade básica (D), proporção de raiz (R) e teor de carbono estão apresentados na Tabela 7.9.

Tabela 7.9. Parâmetros utilizados para calcular o incremento anual médio em carbono das áreas de reflorestamento de eucalipto e pinus.

Parâmetro	Ano	Eucalipto ¹	Pinus ¹	Acácia-negra
Incremento líquido médio anual – I_V ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)	1994	28,33 ¹	26,25 ¹	20,7 ⁶
	2002	41 ²	36 ²	23,63 ⁷
	2005	36,7 ³	30,7 ³	23,6
	2010	34,5 ⁴	33,5 ⁴	23,6
	2016	35,7 ⁵	30,5 ⁵	23,6
Densidade básica – D ($\text{t matéria seca m}^3$)	Todos	0,425 ¹	0,385 ¹	0,623 ⁸
Fator de expansão da biomassa - BEF (adimensional)	Todos	1,2 ¹	1,25 ¹	1,8 ⁹
Proporção raiz – R (adimensional)	Todos	0,35 ¹	0,35 ¹	0,12 ¹⁰
Teor de Carbono (%)	Todos	0,47 ¹¹	0,47 ¹¹	0,47 ¹¹

Fonte: Elaborado a partir de ¹Brasil (2004); ²Brasil (2004); ³ABRAF (2011); ⁴IBA (2016); ⁵IBA (2017); ⁶Mora (2002); ⁷Mochiutti (2007); ⁸Gonzaga *et al.* (1982); Schneider *et al.* (2005); Hillig *et al.* (2002); Martinez (2006); ⁹Mochiutti (2007); ¹⁰Schneider *et al.* (2001); Saidelles *et al.* (2009); ¹¹IPCC (2006).

A partir do valor de $\Delta C_{G\text{Ref}}$ de cada cultura foi estimado o valor de estoque de carbono médio acumulado pelo plantio florestal no ciclo da cultura, por meio da equação 7.10 (Brasil, 2015, p. 192). O estoque foi calculado como uma média do ciclo ($T/2$), pois, como explicado anteriormente, não é possível identificar o ano exato de estabelecimento do plantio entre os dois pontos no tempo referente aos anos efetivamente mapeados para fins do Inventário. O valor de estoque de carbono de reflorestamento (C_{Ref}) das culturas ao longo dos anos, utilizado para os cálculos por UF, pode ser observado na Tabela 7.10.

Tabela 7.10. Valores de incremento anual médio de carbono (ΔC_{GRef}) e estoque médio de carbono (C_{Ref}) de reflorestamentos de eucalipto, pínus e acácia-negra para os anos de 1994, 2002, 2005, 2010 e 2016.

Anos	Eucalipto		Pínus		Acácia	
	ΔC_{GRef}	C_{Ref}	ΔC_{GRef}	C_{Ref}	ΔC_{GRef}	C_{Ref}
	(t C ha ⁻¹ ano ⁻¹)	(t C ha ⁻¹)	(t C ha ⁻¹ ano ⁻¹)	(t C ha ⁻¹)	(t C ha ⁻¹ ano ⁻¹)	(t C ha ⁻¹)
1994	9,17	32,09	8,02	60,12	5,40	18,92
2002	11,91	41,68	9,01	67,56	6,17	21,58
2005	11,16	39,07	10,23	76,72	6,17	21,58
2010	11,16	39,07	10,23	76,72	6,17	21,58
2016	11,55	40,43	9,31	69,85	6,17	21,58

Os valores de ΔC_{GRef} e C_{Ref} de cada cultura foram multiplicados pela fração de área da cultura em UF. Para 1994, foi utilizado um único valor para todas as UFs, pois as estatísticas de área de floresta plantada não estavam disponíveis por UF (Tabela A.VII.13, Apêndice A.VII.3). Destaca-se que o estoque de carbono da acácia-negra foi estimado apenas para o estado do Rio Grande do Sul (RS), visto que a cultura é comercialmente presente apenas nessa UF.

Para Reflorestamento permanece como Reflorestamento (Ref-Ref), o valor foi considerado nulo, ou seja, não foi contabilizado o carbono que fica armazenado na forma de produtos florestais madeireiros. Para mais detalhes metodológicos acerca das estimativas, ver Seção 7.2.

7.4 Agricultura (CRT 4.B)

O Subsetor Agricultura (4.B) compreende áreas cultivadas com lavouras temporárias, perenes ou semiperenes. Também estão incluídas nesta categoria as terras que são colocadas em pousio antes de serem cultivadas novamente. Este subsetor inclui as categorias Agricultura permanecendo Agricultura (4.B.1) e Área convertida para Agricultura (4.B.2).

Quadro 7.13. Subdivisão nacional do Subsetor Agricultura (4.B).

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Agricultura anual (AC)	Áreas destinadas às culturas que possuem ciclo anual de produção, que culmina na morte da planta após a colheita da safra. São consideradas nesta categoria as áreas para horticultura e cultivo de soja, arroz, feijão, milho, algodão, tubérculos etc.
Agricultura perene (PER)	Áreas destinadas às culturas que produzem ao longo de vários anos, sem a necessidade de novo plantio após as colheitas. As culturas perenes incluem árvores e arbustos, representados principalmente por frutíferas, tais como os citros, banana, coco, café, entre outras.
Agricultura semiperene (CANÁ)	No Brasil, esse tipo de cultivo é representado pela cana-de-açúcar, que é colhida várias vezes antes de haver novo plantio. Os cultivos semiperenes podem produzir durante um período que varia de cinco a seis anos, dependendo do manejo de cortes.

O Subsetor Agricultura (4.B) resultou em uma emissão líquida de 184.499 kt CO₂ eq em 2022, enquanto em 2020 foi de 157.403 kt CO₂ eq (Figura 7.14). Em 2022, as Subcategorias Floresta para Agricultura (4.B.2.a) e Campo e Pastagem para Agricultura (4.B.2.b) contribuíram com 108.725 kt CO₂ eq e 75.776 kt CO₂ eq, respectivamente, para as emissões líquidas dessa categoria. Já a Subcategoria Outras Terras para Agricultura (4.B.2.e) contribuiu com uma remoção de -0,8 kt CO₂ eq (Figura 7.8).

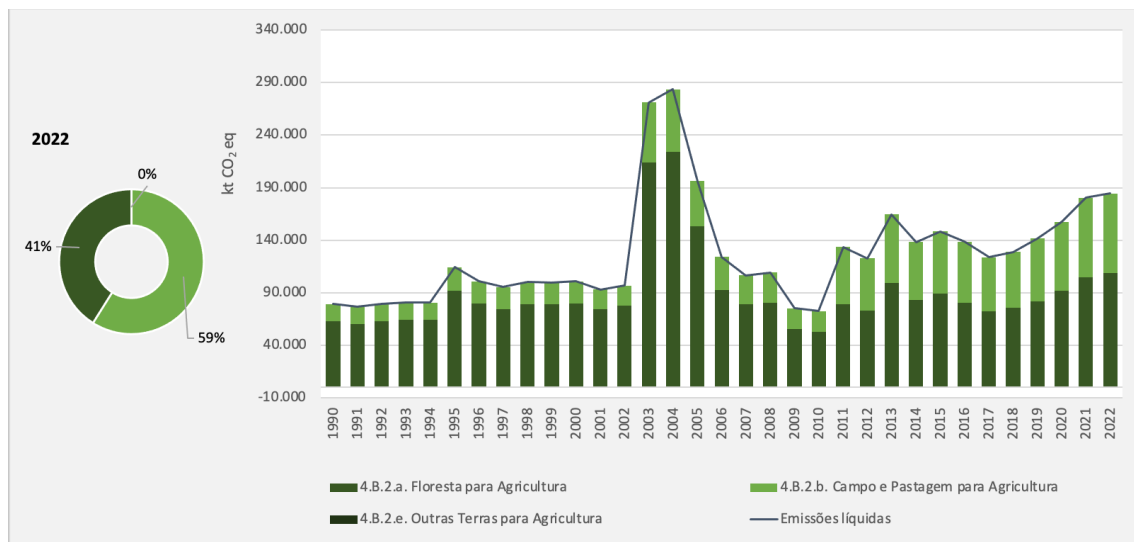


Figura 7.8. Emissões e remoções líquidas das subcategorias da Categoria Área convertida para Agricultura (4.B.2) do Subsetor Agricultura (4.B), em kt CO₂ eq, de 1990 a 2022.

7.4.1 Aspectos metodológicos

As emissões e remoções de CO₂ são provenientes da perda ou ganho de carbono por mudança do uso e cobertura da terra, para todos os compartimentos, enquanto as emissões de CH₄ e N₂O estão associadas ao processo de conversão de vegetação natural para Agricultura. Os estoques de carbono das classes de vegetação natural para cada bioma são apresentados nas Tabelas A.VII.2 a A.VII.7 do Apêndice A.VII.3.

Para a espacialização dos estoques de carbono de cultivos agrícolas para 1994, 2002, 2005 (somente para a Amazônia) e 2010, foram utilizadas as proporções, por UF, obtidas a partir dos dados disponibilizados pelo IBGE (IBGE, 2018a; IBGE, 2018b). Essas proporções foram multiplicadas pelos fatores de emissão apresentados na Tabela A.VII.8 do Apêndice A.VII.3. Para o ano de 2016, essa etapa não foi necessária porque houve mapeamento para os tipos de cultivos agrícolas – anual, semiperene e perene. Os valores finais aplicados por UF são apresentados para Amazônia (Tabela 7.11) e demais biomas (Tabela 7.12). Como as diferentes culturas foram mapeadas em 2016, o cálculo do incremento de carbono entre 2010 e 2016 foi baseado nos fatores apresentados na Tabela A.VII.8 e equações da Tabela A.VII.14 do Apêndice A.VII.3.

Para mais detalhes metodológicos acerca das estimativas, ver Seção 7.2.

Tabela 7.11. Estoque (CAc) e ganho (Δ CGAc) proporcional de carbono de agricultura para os estados do bioma Amazônia.

UF	CAc 1994 (t C/ha)	CAc 2002 (t C/ha)	CAc 2005 (t C/ha)	CAc 2010 (t C/ha)	Δ CGAc 1994-2002 (t C/ha)	Δ CGAc 2002-2005 (t C/ha)	Δ CGAc 2005-2010 (t C/ha)
Acre	6,52	6,88	6,83	6,75	0,49	0,17	0,25
Amazonas	7,31	7,52	7,30	7,39	0,94	0,30	0,53
Amapá	6,64	6,76	6,77	6,80	0,41	0,16	0,27
Maranhão	6,28	6,30	6,29	6,29	0,09	0,03	0,05
Mato Grosso	6,29	6,25	6,22	6,21	0,05	0,01	0,01
Pará	7,24	7,24	7,14	7,44	0,74	0,25	0,55
Rondônia	7,52	8,71	8,08	7,74	1,77	0,50	0,69
Roraima	6,66	6,73	6,73	7,08	0,39	0,15	0,39
Tocantins	6,40	6,30	6,23	6,22	0,08	0,01	0,02

Tabela 7.12. Estoque (CAc) e ganho (Δ CGAc) proporcional de carbono de agricultura para as UFs dos biomas Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal e Pampa.

UF no bioma	CAc 1994 (tC/ha)	CAc 2002 (tC/ha)	CAc 2010 (tC/ha)	Δ CGAc 1994-2002 (tC/ha)	Δ CGAc 2002- 2010 (tC/ha)
Bioma Cerrado					
Bahia	9,70	9,68	9,55	3,04	2,96
Distrito Federal	5,77	5,63	5,34	0,41	0,22
Goiás	5,16	5,18	5,14	0,12	0,09
Maranhão	5,31	5,38	5,34	0,25	0,22
Minas Gerais	8,52	9,57	8,75	2,97	2,44
Mato Grosso do Sul	5,05	5,06	5,03	0,04	0,02
Mato Grosso	5,35	5,20	5,09	0,13	0,06
Pará	8,28	8,26	8,90	2,12	2,53
Piauí	7,73	7,62	7,24	1,70	1,46
Paraná	5,48	5,42	5,29	0,27	0,19
Rondônia	9,14	12,79	9,82	5,06	3,14
São Paulo	7,95	7,77	7,09	1,80	1,36
Tocantins	5,67	5,37	5,14	0,24	0,09
Bioma Mata Atlântica					
Alagoas	0,64	4,54	4,61	0,19	0,21
Bahia	6,91	9,59	9,44	1,53	1,49
Espírito Santo	15,31	19,63	19,41	4,20	4,15
Goiás	0,23	4,06	4,00	0,06	0,05
Minas Gerais	5,18	9,46	8,45	1,50	1,23
Mato Grosso do Sul	0,07	3,90	3,86	0,02	0,01
Paraíba	2,62	5,70	6,32	0,50	0,66
Pernambuco	1,32	5,28	5,54	0,38	0,45
Paraná	0,70	4,34	4,19	0,14	0,09
Rio de Janeiro	5,53	8,21	8,40	1,17	1,21

UF no bioma	CAC 1994 (tC/ha)	CAC 2002 (tC/ha)	CAC 2010 (tC/ha)	ΔCGAc 1994-2002 (tC/ha)	ΔCGAc 2002- 2010 (tC/ha)
Rio Grande do Norte	6,32	10,39	12,78	1,75	2,38
Rio Grande do Sul	0,47	4,28	4,26	0,12	0,11
Santa Catarina	0,66	4,68	4,73	0,23	0,24
Sergipe	6,34	10,17	8,76	1,69	1,31
São Paulo	4,33	7,23	6,40	0,91	0,68
Bioma Caatinga					
Alagoas	1,22	1,43	1,52	0,20	0,22
Bahia	7,68	7,65	7,46	1,60	1,56
Ceará	5,77	6,32	7,68	1,30	1,61
Maranhão	1,03	1,14	1,08	0,13	0,12
Minas Gerais	5,89	7,49	6,25	1,57	1,29
Paraíba	3,26	2,86	3,62	0,52	0,69
Pernambuco	1,92	2,34	2,66	0,40	0,47
Piauí	4,70	4,53	3,96	0,90	0,77
Rio Grande do Norte	7,07	8,63	11,57	1,83	2,49
Sergipe	7,10	8,36	6,62	1,76	1,37
Bioma Pantanal					
Mato Grosso do Sul	5,05	5,06	5,03	0,04	0,02
Mato Grosso	5,35	5,20	5,09	0,13	0,06
Bioma Pampa					
Rio Grande do Sul	5,32	5,37	5,35	0,24	0,23

7.5 Campo e Pastagem (CRT 4.C)

O Subsetor Campo e Pastagem (4.C) inclui os campos naturais, pastagens naturais e plantadas, e Outras Formações Lenhosas. O Campo é caracterizado por áreas com predominância de vegetação herbácea e arbustiva, onde a incidência da luz solar ocorre diretamente sobre o solo ou estratos inferiores, uma vez que não há o adensamento de dossel nesses ambientes (IBGE, 2012). A inserção das Outras Formações Lenhosas nesse subsetor considerou a definição utilizada no *Forest Resources Assessment* (FRA) da FAO (2015), que as classifica como formações que não se enquadram no Subsetor Floresta, que abrangem mais de 0,5 hectare com árvores superiores a 5 metros e uma cobertura de dossel de 5 a 10%, ou com árvores capazes de atingir esses limites, ou com uma cobertura combinada de arbustos e árvores acima de 10%.

Este subsetor divide-se nas categorias Campo e Pastagem, permanecendo Campo e Pastagem (4.C.1) e Área convertida para Campo e Pastagem (4.C.2). As emissões e remoções de CO₂ estão atreladas à perda ou ao ganho de carbono por mudança do uso e cobertura da terra, incluindo o manejo do solo, para todos os compartimentos (matéria viva acima e abaixo do solo, matéria orgânica morta, e solo). As Pastagens Degradadas (APD) foram mapeadas em 2016, mas as remoções de CO₂ foram contabilizadas apenas para áreas convertidas de outros usos que não pastagem para pastagens bem manejadas, para toda a série histórica, a partir de fatores de alteração de carbono orgânico do solo ponderados pela qualidade das pastagens. Com relação às

emissões de CH_4 e N_2O , elas estão atreladas ao processo de conversão de vegetação natural para pastagem, especificamente.

Quadro 7.14. Subdivisão nacional do Subsetor Campo e Pastagem.

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Campo Manejado (GM)	Campo natural, onde a ação humana não provocou alterações significativas de suas características, classificado com base no mapa de vegetação natural pretérita. Encontra-se em área protegida (UC ou TI) e, portanto, tem suas remoções de CO ₂ contabilizadas, quando permanecem com a mesma cobertura nos períodos avaliados.
Campo Não Manejado (GNM)	Campo natural, onde a ação humana não provocou alterações significativas de suas características, classificado com base no mapa de vegetação natural pretérita. As emissões e remoções só são contabilizadas quando há conversão para uso antrópico. Não são contabilizadas remoções de CO ₂ quando ela permanece com mesma cobertura nos períodos avaliados.
Campo Secundário (GSec)	Classificado com base no mapa de vegetação pretérita natural e resultante de um processo de regeneração natural associado a um uso antrópico prévio, por exemplo cultivo agrícola ou pastagem.
Pastagem (Ap)	Áreas destinadas ao pastoreio, compostas tanto por campos pastejáveis de origem nativa (pastagens naturais) quanto plantada (em sua maioria de espécies de gramíneas exóticas). A junção de áreas (natural e plantada) ocorreu, principalmente, em decorrência da semelhança espectral observada nas imagens de satélite, sobretudo em áreas de pastagens degradadas ou com grande variação sazonal. Em biomas como Pampa e Pantanal há extenso uso de pastagens naturais. Já em biomas como Amazônia e Cerrado, o predomínio é de pastagens cultivadas.
Pastagem degradada (APD)	São áreas de pastagens com degradação biológica avançada, caracterizada principalmente pela presença de solo exposto e de baixa produtividade.
Outras Formações Lenhosas Manejadas (OFLM)	Outras Formações Lenhosas naturais, com estrutura intermediária entre Floresta e Campo, onde a ação humana não provocou alterações significativas das características. Classificadas com base no mapa de vegetação natural pretérita. Encontram-se em área protegida (UC ou TI) e, portanto, têm suas remoções de CO ₂ contabilizadas quando permanecem na mesma categoria durante os períodos avaliados.
Outras Formações Lenhosas Não Manejadas (OFLNM)	Outras Formações Lenhosas naturais, com estrutura intermediária entre Floresta e Campo, onde a ação humana não provocou alterações significativas das características. Classificadas com base no mapa de vegetação natural pretérita. As emissões e remoções só são contabilizadas quando há conversão para um uso antrópico. Não são contabilizadas remoções de CO ₂ quando elas permanecem na mesma categoria nos períodos avaliados.
Outras Formações Lenhosas Secundárias (OFLSec)	Classificadas com base no mapa de vegetação natural pretérita e resultantes de processo de regeneração após uso antrópico, como, por exemplo cultivo agrícola ou pastagem.

As emissões líquidas de CO₂ do Subsetor Campo e Pastagem (4.C) totalizaram 959.862 kt CO₂ eq em 2022 e 855.213 kt CO₂ eq em 2020, representando um incremento de 12% no período. Em 2022, a Categoria Campo e Pastagem permanecendo Campo e Pastagem (4.C.1) contribuiu com a emissão líquida de 7.243 kt CO₂ eq para esse subsetor. A Categoria Área convertida para Campo e Pastagem (4.C.2) emitiu 952.620 kt CO₂ eq, dos quais as Subcategorias Floresta para Campo e Pastagem (4.C.2.a) e Agricultura para Campo e Pastagem (4.C.2.b) contribuíram com 949.958 kt CO₂ eq e 2.672 kt CO₂ eq. A Subcategoria Outras Terras para Campo e Pastagem (4.C.2.e) contribuiu com uma remoção líquida de -11 kt CO₂ eq (Figura 7.9).

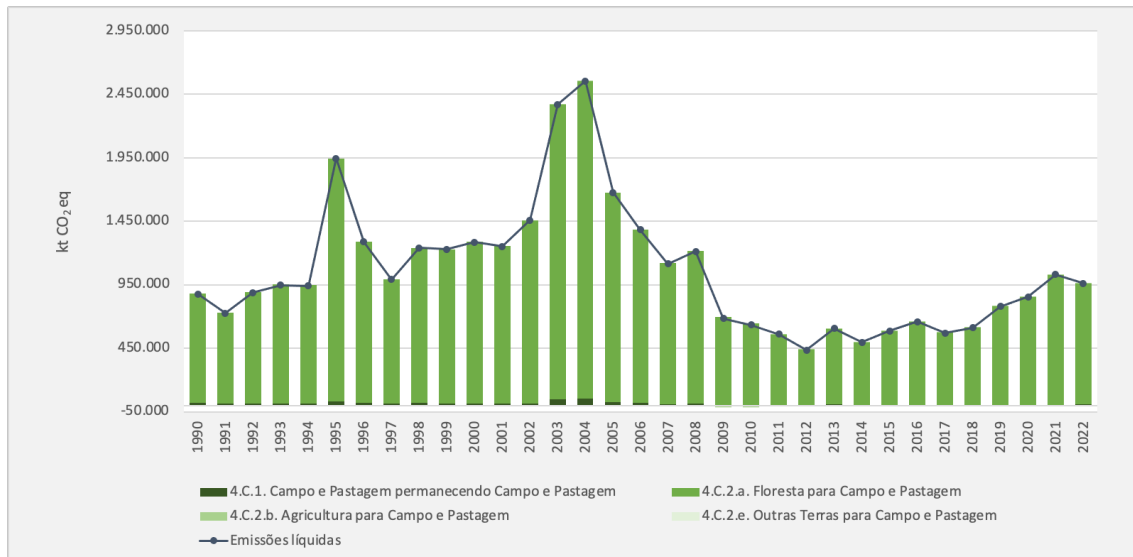


Figura 7.9. Emissões e remoções líquidas de Categorias e Subcategorias do Subsetor Campo e Pastagem (4.C), em CO₂ eq, de 1990 a 2022.

7.5.1 Aspectos metodológicos

As emissões e remoções de CO₂ são contabilizadas por perda ou ganho de carbono por mudança do uso e cobertura da terra, incluindo o manejo do solo, para todos os compartimentos. As emissões de CH₄ e N₂O foram contabilizadas quando houve conversão de vegetação natural para uso antrópico.

Os estoques de carbono das formações naturais de Campo e Outras Formações Lenhosas foram estimados para as fitofisionomias dessas categorias por bioma (Tabelas A.VII.2 a A.VII.7, Apêndice A.VII.3), enquanto os estoques e fatores de emissão de pastagens estão apresentados na Tabela A.VII.8. As Pastagens Degradadas (APD) foram mapeadas em 2016, mas as remoções de CO₂ foram contabilizadas apenas para áreas convertidas de outros usos que não pastagem para pastagens bem manejadas, para toda a série histórica, a partir de fatores de alteração de carbono orgânico do solo ponderados pela qualidade das pastagens.

Destaca-se que o inventário não detalhou os tipos de pastagem, o que exige a triangulação de metodologias mais complexas para qualificar essa análise. Vale ressaltar que os fatores de alteração de carbono orgânico do solo foram aplicados considerando as proporções por tipo de pastagem por UF (pastagem plantada, pastagem natural, pastagem melhorada, pastagem moderadamente degradada). De toda forma, essa análise só é considerada no momento da transição de uso da terra. Se uma pastagem permanece como pastagem, não são consideradas emissões ou remoções, independentemente de boas práticas aplicadas, o que será aprofundado nas próximas edições do Inventário.

Para mais detalhes metodológicos acerca das estimativas, ver Seção 7.2.

7.6 Áreas Úmidas (CRT 4.D)

O Subsetor Áreas Úmidas (4.D) compreende as regiões de marismas (formação em zonas costeiras), pântanos, turfeiras ou águas de regime natural ou artificial, permanentes ou temporárias, estancadas ou correntes, doces, salobras ou salgadas (excluindo os oceanos). Este subsetor compreende as categorias Áreas Úmidas permanecendo Áreas Úmidas (4.D.1) e Área convertida para Áreas Úmidas (4.D.2). As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O estão atreladas ao processo de conversão de vegetação natural para reservatório, especificamente.

Quadro 7.15. Subdivisão nacional do Subsetor Áreas Úmidas (4.D).

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Água (A)	Corpos d'água naturais lânticos (lagos) e lóticos (rios), desde as áreas de nascentes onde os cursos d'água apresentam pequenas dimensões, até os grandes rios, como Amazonas e São Francisco. Essas áreas não são contabilizadas como Áreas Manejadas para fins do Inventário, uma vez que não sofrem interferência antrópica.
Reservatório (Res)	Corpos d'água criados por ação antrópica, como os lagos artificiais e as áreas inundadas para a construção de hidrelétricas e abastecimento humano.

Em 2022, o Subsetor Áreas Úmidas (4.D) contribuiu com 11.675 kt CO₂ eq de emissões de GEE, que advieram apenas da categoria Área convertida para Áreas Úmidas (4.D.2). Em 2020, as emissões líquidas desse subsetor foram de 10.601 kt CO₂ eq (Figura 7.16).

A Subcategoria Floresta para Áreas Úmidas (4.D.2.a) contribuiu com 90% (10.524 kt CO₂ eq) das emissões líquidas da categoria Área convertida para Áreas Úmidas (4.D.2), seguida das Subcategorias Campo e Pastagem para Áreas Úmidas (4.D.2.c), que contribuiu com 9% (1.065 kt CO₂ eq), e Agricultura para Áreas Úmidas (4.D.2.b), que contribuiu com 1% (86 kt CO₂ eq) (Figura 7.10).

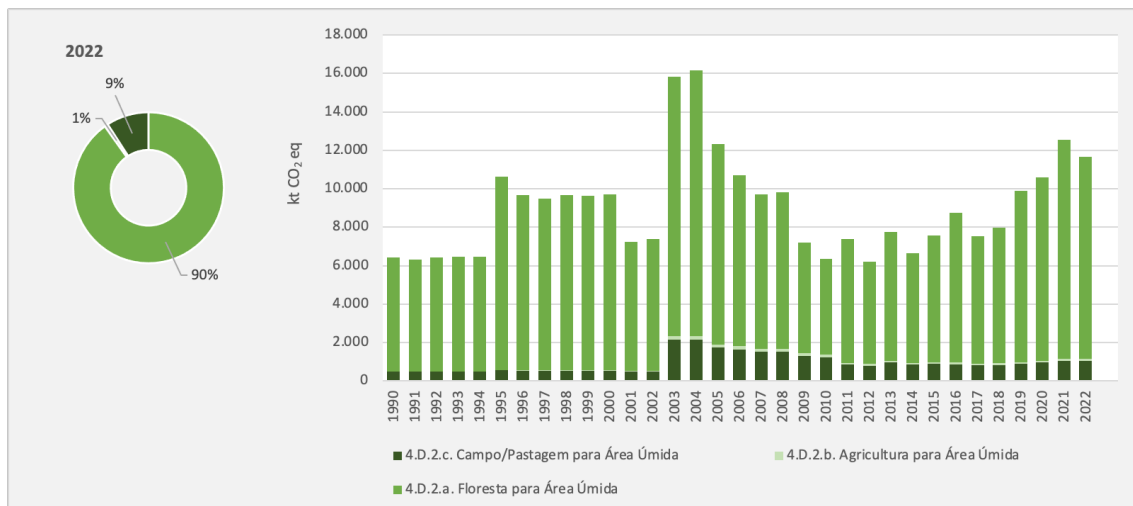


Figura 7.10. Emissões líquidas de subcategorias da Categoria Área convertida para Áreas Úmidas (4.D.2) do Subsetor Áreas Úmidas (4.D) em CO₂ eq, de 1990 a 2022.

7.6.1 Aspectos metodológicos

As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O estão associadas ao processo de conversão de vegetação natural (cujos estoques de carbono são apresentados nas Tabelas A.VII.2 a A.VII.7 do Apêndice A.VII.3). Para mais detalhes metodológicos acerca das estimativas, ver Seção 7.2.

7.7 Assentamentos (CRT 4.E)

O Subsetor Assentamentos (4.E) é caracterizado pela presença de estruturas típicas para habitação (edificações e aglomerações de residências), construções industriais e rotas para locomoção de pessoas e meios de transporte. Este subsetor divide-se nas categorias Assentamentos permanecendo Assentamentos (4.E.1) e Área convertida para Assentamentos (4.E.2). As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O estão atreladas ao processo de conversão de vegetação natural para Assentamentos, especificamente.

Em 2022, as emissões de GEE do Subsetor Assentamentos (4.E) corresponderam a 5.670 kt CO₂ eq, oriundas somente da categoria Área convertida para Assentamentos (4.E.2), enquanto em 2020 as emissões foram de 5.008 kt CO₂ eq (Figura 7.11).

As subcategorias com maior representatividade em 2022 foram Floresta para Assentamentos (4.E.2.a), que emitiu 3.006 kt CO₂ eq e contribuiu com 53%, e Campo e Pastagem para Assentamentos (4.E.2.c), que emitiu 2.264 kt CO₂ eq e representou 40% das emissões da categoria Área convertida para Assentamentos (4.E.2). A Subcategoria Agricultura para Assentamentos (4.E.2.b) contribuiu com os demais 7%, com uma emissão de 399 kt CO₂ eq.

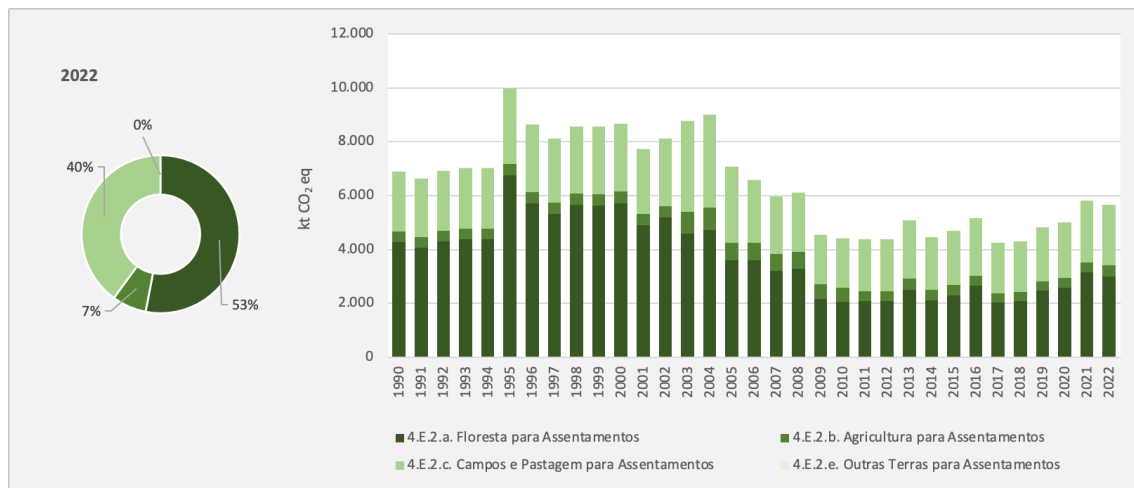


Figura 7.11. Emissões líquidas das subcategorias da Categoria Área convertida para Assentamentos (4.E.2) do Subsetor Assentamentos (4.E), em CO₂ eq, de 1990 a 2022.

7.7.1 Aspectos Metodológicos

As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O estão atreladas ao processo de conversão de vegetação natural (cujos estoques de carbono são apresentados nas Tabelas A.VII.2 a A.VII.7 do Apêndice A.VII.3) para Assentamentos. Para mais detalhes metodológicos acerca das estimativas, ver Seção 7.2.

7.8 Outras Terras (CRT 4.F)

O Subsetor Outras Terras (4.F) inclui áreas naturais, como dunas e afloramento rochoso, e áreas antropizadas, tais como solo exposto e mineração, conforme subdivisões adotadas pelo país (Quadro 7.16). Este subsetor compreende as categorias Outras Terras permanecendo Outras Terras (4.F.1) e Área convertida para Outras Terras (4.F.2). As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O estão atreladas ao processo de conversão de vegetação natural para mineração e solo exposto, especificamente.

Quadro 7.16. Subdivisão nacional do Subsetor Outras Terras (4.F).

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Dunas manejadas (DnM)	Áreas naturais compostas somente por areia, sem cobertura vegetal, localizadas em área protegida (UC ou TI).
Dunas não manejadas (DnNM)	Áreas naturais compostas somente por areia, sem cobertura vegetal, fora de área protegida.
Afloramento rochoso manejado (ArM)	Áreas em que ocorre a exposição natural de rochas na superfície do solo, sem cobertura vegetal, localizadas em área protegida (UC ou TI).
Afloramento rochoso não manejado (ArNM)	Áreas em que ocorre a exposição natural de rochas na superfície do solo, sem cobertura vegetal, fora de área protegida.
Mineração (M)	Áreas destinadas à extração de minérios para o uso comercial, caracterizadas principalmente pela remoção total da vegetação nativa.
Solo exposto (SE)	Áreas desprovidas de cobertura vegetal nativa ou exótica, sujeitas à erosão e perda da fertilidade dos solos em função da atuação de agentes abióticos (como lixiviação). Os solos expostos normalmente são originados a partir de atividades como desmatamento e queimadas.
Áreas não observadas (NO)	Áreas que não puderam ser classificadas em decorrência da presença de nuvens e de suas sombras, que comprometeram a análise das imagens de satélites disponíveis.

Em 2022, o subsetor emitiu 12.620 kt CO₂ eq, oriundos somente da categoria Área convertida para Outras Terras (4.F.2), e emitiu 11.740 kt CO₂ eq em 2020.

Em 2022, a Subcategoria Floresta para Outras Terras (4.F.2.a) representou 95,1% das emissões líquidas dessa categoria (12.010 kt CO₂ eq). A Subcategoria Campo e Pastagem para Outras Terras (4.F.2.c) emitiu 4,7% (588 kt CO₂ eq) e a Subcategoria Agricultura para Outras Terras (4.F.2.b) contribuiu com apenas 0,2% (22 kt CO₂ eq) (Figura 7.12).

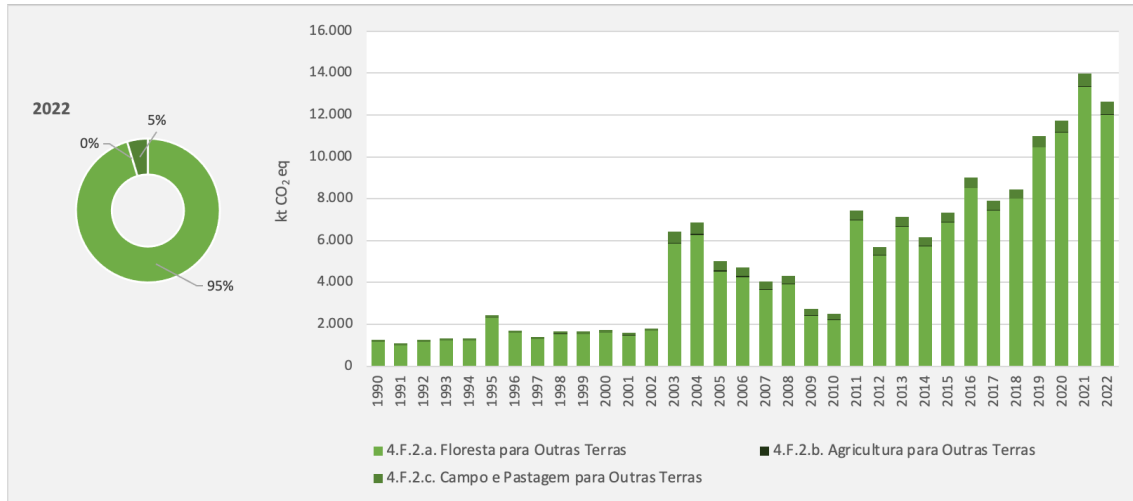


Figura 7.12. Emissões líquidas das subcategorias da Categoria Área convertida para Outras Terras (4.F.2) do Subsetor Outras Terras (4.F), em kt CO₂ eq, de 1990 a 2022.

7.8.1 Aspectos metodológicos

As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O estão associadas ao processo de conversão de vegetação natural (cujos estoques de carbono são apresentados nas Tabelas A.VII.2 a A.VII.7 do Apêndice A.VII.3) para mineração e solo exposto. Para mais detalhes metodológicos acerca das estimativas, ver Seção 7.2.

7.9 Produtos Florestais Madeireiros (CRT 4.G)

O Subsetor Produtos Florestais Madeireiros (4.G) considera as emissões e remoções de CO₂ oriundas de produtos originários de matéria-prima de florestas plantadas, tais como madeira maciça, painéis, papel e papelão. As emissões de CO₂ são resultantes da decomposição desses produtos¹⁰⁴ (contabilizadas no país consumidor), enquanto as remoções de CO₂ refletem o crescimento dos reflorestamentos (contabilizadas no país produtor).

Para 2022, a remoção correspondente à madeira colhida foi de -624.004 kt CO₂ eq para florestas plantadas, enquanto a emissão bruta foi de 567.497 kt CO₂ eq. Com isso o balanço da contribuição dos Produtos Florestais Madeireiros foi de uma remoção líquida de -56.507 kt CO₂ eq em 2022 (Figura 7.13).

¹⁰⁴ As emissões de gases não CO₂ associadas ao processo de decomposição são contabilizadas no setor Resíduos (Capítulo 8).

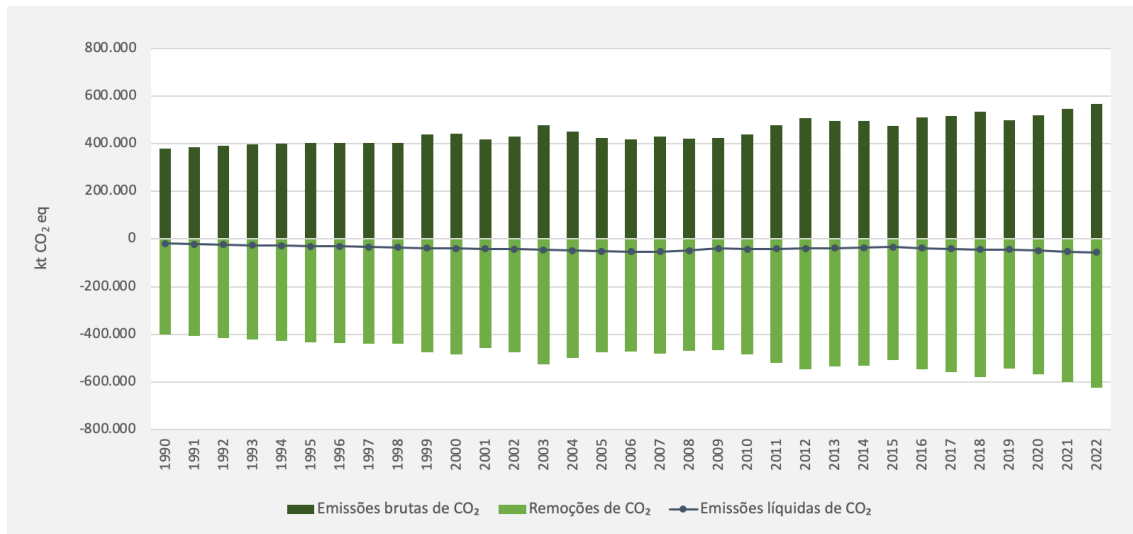


Figura 7.13. Emissões brutas, remoções e remoções líquidas de CO₂ do Subsetor Produtos Florestais Madeireiros (4.G), de 1990 a 2022.

7.9.1 Aspectos Metodológicos

Segundo o IPCC (2006, v. 4, cap. 12) existem várias abordagens diferentes para relatar o armazenamento de carbono em produtos de madeira e sua posterior emissão como CO₂, além disso caberá ao país decidir qual abordagem é mais conveniente para adoção no Inventário, de acordo com as características de produção, consumo, exportação e importação de produtos florestais madeireiros.

Diante das circunstâncias nacionais do Brasil, caracterizando-se por ser grande exportador de madeira e derivados, as estimativas para Produtos Florestais Madeireiros (4.G) foi fundamentada na Abordagem de Fluxo Atmosférico (*Tier 1*) do IPCC (IPCC, 2006).¹⁰⁵

Todavia, para atendimento dos critérios de transparência do Acordo de Paris (parágrafo 56 da Decisão 18, CMA1), o Brasil também apresenta como informação suplementar os resultados a partir da Abordagem de Produção e Abordagem de Mudança de Estoque, conforme Tabela A.VII.28, deste NIR 2024.

Para a Abordagem de Fluxo Atmosférico (*Tier 1*) utilizada são estimados os fluxos de carbono entre a atmosfera e os compartimentos florestal e de produtos florestais madeireiros dentro das fronteiras nacionais. O país declarante inclui na sua estimativa de emissões/remoções o valor das remoções de carbono da atmosfera em decorrência do crescimento de biomassa de árvores em florestas (i.e. remoções líquidas considerando a decomposição dentro das florestas) e a liberação de carbono para a atmosfera a partir da oxidação dos resíduos de produtos florestais madeireiros consumidos no país. A liberação de carbono para a atmosfera, a partir de produtos florestais madeireiros inclui a liberação de carbono das importações para o país declarante.

A fronteira do sistema e os reservatórios de carbono pela metodologia de Fluxo Atmosférico são apresentados na Figura 7.14. De acordo com o IPCC (IPCC, 2006), as emissões nacionais de CO₂ é dada pela Equação 7.11. Como a mudança anual no estoque de carbono de AFOLU sem produtos florestais madeireiros é computada em outro local, a contribuição de produtos florestais madeireiros é dada pela Equação 7.12 (Quadro 7.17).

¹⁰⁵ IPCC (2006, v. 4, cap. 12).

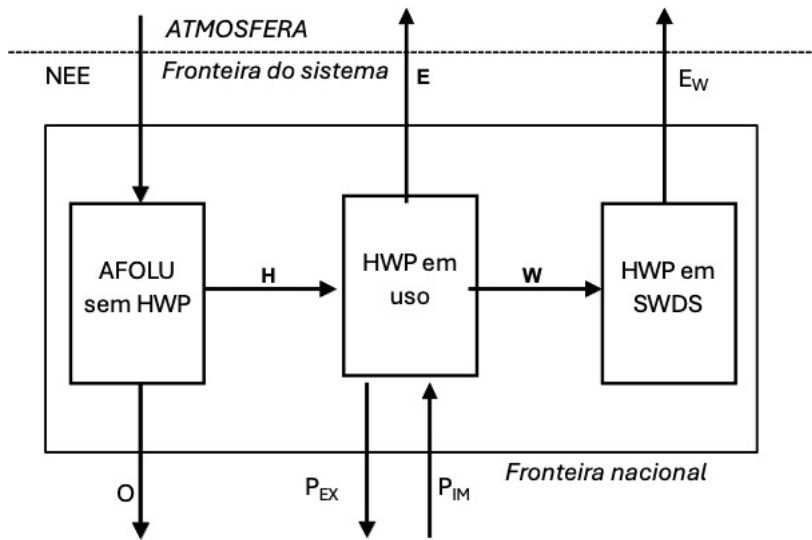


Figura 7.14. Fronteira do Sistema da Abordagem de Fluxo Atmosférico.

Fonte: IPCC (2006). Notas: AFOLU = Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra; HWP = produtos florestais madeireiros; SWDS = sítios de deposição de resíduos sólidos; NEE = troca de C líquida do ecossistema; E = emissão de carbono para atmosfera de HWP em uso; Ew = emissão de carbono para atmosfera de HWP em SWDS; H = colheita de madeira para ser usada em HWP (incluindo lenha); W = transferência de carbono de resíduos madeireiros em SWDS; PEX = transferência de carbono na forma de biomassa de produtos madeireiros exportados; PIM = transferência de carbono na forma de biomassa de produtos madeireiros importados; e O = outras transferências transfronteiriças possíveis de carbono do resto de AFOLU (assumidas aqui como zero).

Quadro 7.17. Equações para estimar emissões líquidas de CO₂ de Produtos Florestais Madeireiros pela Abordagem de Fluxo Atmosférico.

Equações	Descrição	Equação central	Referência
Equação 7.11	Emissões de CO ₂	$\begin{aligned} \text{Emissões CO}_2 \text{ de AFOLU} &= -\frac{44}{12} \times (NEE - E - E_w) \\ &= -\frac{44}{12} \times (NEE - \uparrow C_{HWP\ DC}) \\ &= -\frac{44}{12} \\ &\times [\Delta(\text{AFOLU sem HWP}) \\ &+ \Delta C_{HWP\ IU_{DC}} + \Delta C_{HWP\ SWDS_{DC}} \\ &+ P_{EX} - P_{IM}] \end{aligned}$ ou $= -44/12 \times [\Delta(\text{AFOLU sem HWP}) + H - \uparrow C_{HWP\ DC}]$	Equação 12A.3 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 12)
Equação 7.12	Contribuição das emissões líquidas de HWP	$N_{HWP\ AFOLU_{AFA}} = -\frac{44}{12} \times [\Delta C_{HWP\ IU_{DC}} + \Delta C_{HWP\ SWDS_{DC}} + P_{EX} - P_{IM} + O] = -44/12 \times [H \times \uparrow C_{HWP\ DC}]$	Equação 12A.4 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 12)

Em que:

AFOLU = Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra;
 AFA = método de fluxo atmosférico;
 HWP = produtos florestais madeireiros;
 $\Delta(\text{AFOLU sem HWP})$ = mudança anual no estoque de carbono de AFOLU sem HWP;
 SWDS = sítios de deposição de resíduos sólidos;
 NEE = troca de C líquida do ecossistema;
 H = colheita de madeira para ser usada em HWP (incluindo lenha);
 $\uparrow C_{\text{HWP DC}} = E + E_W$;
 E = emissão de carbono para atmosfera de HWP em uso;
 E_W = emissão de carbono para atmosfera de HWP em SWDS;
 HWP em uso inclui todos os HWP em uso consumidos no país declarante e HWP em SWDS;
 P_{EX} = transferência de carbono na forma de biomassa de produtos madeireiros exportados;
 P_{IM} = transferência de carbono na forma de biomassa de produtos madeireiros importados;
 $\Delta C_{\text{HWP IU DC}}$ = mudança anual no estoque de carbono de HWP em uso;
 $C_{\text{HWP SWDS DC}}$ = mudança anual no estoque de carbono de HWP em SWDS nos quais a madeira é proveniente da colheita doméstica;
 $N_{\text{HWP AFOLU AFA}}$ = Contribuição das emissões líquidas de HWP de AFOLU com o método AFA;
 O = outras transferências transfronteiriças possíveis de carbono do resto de AFOLU (assumidas aqui como zero); e
 $\Delta(\text{AFOLU sem HWP})$ = mudança anual no estoque de carbono de AFOLU sem HWP.

Foram utilizados valores-padrão do IPCC (2006)¹⁰⁶ para fatores de conversão de unidades (densidade, fração de carbono e fator de carbono) e dados nacionais de produção, importação e exportação da FAOSTAT (FAO, 2024) e seus respectivos resíduos e resíduos de parques e jardins. Todos os dados de atividade e estimativas intermediárias desse subsetor estão apresentados nas Tabelas A.VII.23 a A.VII.28 do Apêndice A.VII.4.

Os dados de quantidade de madeira em tora industrial (em metros cúbicos) são subdivididos em: a) toras para produção de polpa de madeira e partículas; b) toras para produção de laminados e madeira sólida; e c) outras toras industriais.

A estimativa do carbono armazenado em PFM foi realizada separadamente para "produtos em uso" e locais de deposição de resíduos sólidos (*solid waste disposal*, SWDS, sigla em inglês). Dessa forma, os cálculos foram realizados considerando as Variáveis 1 e 2 (Quadros 7.18 e 7.19) que estão divididas em duas partes correspondentes ao armazenamento em produtos em utilização e em produtos no SWDS (IPCC, 2006).¹⁰⁷ Para a obtenção dos valores em carbono, a produção, importação e exportação de madeira sólida ou papel foram convertidas de metros cúbicos ou toneladas (secos ao ar) para toneladas de carbono (IPCC, 2006).¹⁰⁸

Quadro 7.18. Variáveis de produtos florestais madeireiros (PFM) utilizadas para estimar suas emissões e remoções anuais de CO₂.

DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS	NOME DAS VARIÁVEIS	
	PFM EM PRODUTOS EM USO	PFM EM SWDS
1. Mudança anual no estoque de carbono em a) PFM em uso e b) em PFM em locais de eliminação de resíduos sólidos no país, oriundos de carbono de madeira de consumo doméstico de produtos.	Variável 1A	Variável 1B

¹⁰⁶ IPCC (2006, v. 4, cap. 12).

¹⁰⁷ IPCC (2006, v. 4, cap. 12, p. 12.8, Tabela 12.1).

¹⁰⁸ IPCC (2006, v. 4, cap. 2, p. 12.19, Tabela 12.4).

$\Delta\text{CHWP DC} = \Delta\text{CHWP IU DC} + \Delta\text{CHWP SWDS DC}$	$\Delta\text{CHWP IU DC}$	$\Delta\text{CHWP SWDS DC}$
2. Mudança anual no estoque de carbono em a) PFM em uso e b) em PFM em locais de eliminação de resíduos sólidos (SWDS) em que a madeira dos produtos veio da colheita doméstica – árvores colhidas em país declarante, isso inclui o PFM exportado para outros países.	Variável 2A	Variável 2B
$\Delta\text{CHWP DH} = \Delta\text{CHWP IU DH} + \Delta\text{CHWP SWDS DH}$	$\Delta\text{CHWP IU DH}$	$\Delta\text{CHWP SWDS DH}$
3. Carbono nas importações anuais de PFM do país, incluindo todo o material à base de madeira – madeira em produtos de madeira maciça, papel, polpa e papel reciclado.		PIM
4. Carbono nas exportações anuais de PFM do país, incluindo todo o material à base de madeira – madeira em produtos de madeira maciça, papel, polpa e papel reciclado		PEX
5. Carbono na colheita anual de toras para produtos – madeira retirada dos locais de colheita no país declarante, incluindo lenha.		H

Notas: $\Delta\text{CHWP DC}$ é a liberação anual de carbono para a atmosfera de PFM contida no país declarante. Inclui liberação de carbono de toda a madeira colhida e retida no país e de importações de madeira no país, mas excluindo as exportações (Gg ano^{-1}); 1A. $\Delta\text{CHWP IU DC}$ é a variação anual do carbono armazenado no PFM que provém do consumo interno do país, incluindo importações (Mg C ano^{-1}); 1B. $\Delta\text{C SWDS DC}$ é a variação anual do carbono armazenado no PFM em produtos no SWDS que provém do consumo interno de produtos do país, incluindo as importações (Mg C ano^{-1}); $\Delta\text{CHWP DH}$ é a liberação anual de carbono para a atmosfera a partir de PFM proveniente da madeira colhida no país declarante. Isso inclui a liberação de carbono de toda a madeira colhida no país, incluindo madeira que é exportada, mas excluindo importações, (Gg ano^{-1}); 2A. $\Delta\text{C HWP IU DH}$ é a mudança anual no carbono armazenado no PFM em produtos em uso que provém da colheita doméstica do país (Mg C ano^{-1}); 2B. $\Delta\text{C SWDS DH}$ é a variação anual do carbono armazenado no PFM em produtos no SWDS que provém de madeira de colheita doméstica do país (Mg C ano^{-1}).

Quadro 7.19. Definição das variáveis de produtos florestais madeireiros (PFM) utilizadas para estimar suas emissões e remoções anuais de CO₂.

VARIAÇÃO ANUAL DO ESTOQUE DE CARBONO NO “PRODUTO EM USO” NO PAÍS

Variável 1A A variável de influxo de carbono no produto em uso é o consumo anual no país declarante de produtos de madeira semiacabados, incluindo madeira serrada, painéis de madeira e outros produtos de madeira maciça, papel e papelão. O consumo é igual à produção doméstica, com adição das importações e subtração das exportações (Equação 12.2; IPCC, 2006)¹⁰⁹. A taxa na qual a madeira sólida ou papel é perdida dos *pools* em dado ano é especificada por uma taxa de perda constante (k) e por conveniência também é especificada pela meia-vida em anos. O tempo de meia-vida de cada categoria de produto florestal madeireiro é de 2 anos para produtos de papel e papelão ($k = 0,347$) e de 30 anos para produtos sólidos e painéis de madeira ($k = 0,023$) (IPCC, 2006).¹¹⁰

Varição anual do estoque de carbono em “produtos em uso” em que a madeira veio da colheita no país declarante (inclui exportações).

Variável 2A A variável de fluxo para este *pool* é a produção de todos os produtos da madeira colhida no país declarante incluindo produtos exportados e mantidos em uso em outros países (Equação 12.3, IPCC, 2006).¹¹¹

Varição anual do estoque de carbono no SWDS no país declarante (1B) e mudança anual no estoque de carbono no SWDS, em que a madeira tem origem na colheita no país declarante (2B).

Variáveis 1B e 2B A variável 1B, que é a variação do estoque de carbono de PFM do consumo interno descartado para o SWDS do país declarante é estimada diretamente pelos métodos e planilhas-modelo do Setor Resíduos do guia do IPCC (IPCC, 2006).¹¹² A porção da Variável 1B que é de colheita doméstica é obtida pela multiplicação da fração de madeira/carbono consumida no país no ano corrente com origem na colheita doméstica (Equação 12.4, IPCC, 2006).¹¹³ Para estimar a variável 2B, é necessário estimar a porção da variável 1B, que é de colheita doméstica. Dessa forma, a estimativa da Variável 2B é limitada somente a mudança de carbono em SWDS de origem doméstica.

7.10 Garantia de qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC para LULUCF foram aplicados de acordo com o plano descrito na Seção 2.5 deste NIR.

Dado ao complexo processo de geração dos dados de atividade do setor e diante do tamanho e das particularidades regionais do território nacional, é possível destacar alguns dos procedimentos adotados para garantir a qualidade das informações do setor:

- A definição dos valores de estoque de carbono e fatores de expansão para os diferentes compartimentos de cada bioma priorizou o uso de referências disponíveis em periódicos científicos, submetidos à revisão por pares. Nos casos raros de ausência de dados publicados em revista científica, foram consultadas referências da “literatura cinzenta” (e.g. dissertações e teses) que estivessem publicamente disponíveis em bases de dados conhecidas, como a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, coordenada pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia;
- Foi estabelecido um comitê de validação de mapeamento formado por especialistas de cada bioma com experiência para detectar possíveis pontos de incertezas, revisar os

¹⁰⁹ IPCC (2006, v. 4, cap. 12, p. 12.11).

¹¹⁰ IPCC (2006, v. 4, cap. 12, p. 12.17, Tabela 12.2).

¹¹¹ IPCC (2006, v. 4, cap. 12, p. 12.12).

¹¹² IPCC (2006, v. 5, cap. 3, seção 3.2.1.1, p. 3.10 e v. 5, cap. 3, seção 3.4, p. 3.23).

¹¹³ IPCC (2006, v. 4, cap. 2, p. 12.14).

mapas pretéritos, auxiliar na seleção de imagens e durante a execução dos mapas atualizados;

- Consultores especialistas para cada bioma revisaram e atualizaram estimativas de biomassa, estoques de carbono e fatores de expansão para os diferentes compartimentos;
- As incertezas relacionadas às estimativas foram documentadas pelos próprios especialistas e consultores responsáveis pelas etapas de revisão bibliográfica dos valores de biomassa e estoque de carbono; e
- Todas as matrizes de conversão de uso e cobertura da terra, emissões e remoções de gases de efeito estufa passaram pelo procedimento prévio de revisão e validação dos resultados pelo comitê de validação de cada bioma.

7.11 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada a análise da incerteza usando os métodos e técnicas de amostragem aleatória descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões do setor é apresentada no Apêndice II.

No presente inventário foram realizados recálculos de estimativas da série temporal em relação ao inventário anterior (Brasil, 2022). As alterações ocorreram, principalmente, porque houve mudança na série histórica das fontes de dados secundárias utilizadas: dados de desmatamento nos biomas Cerrado (Prodes, 2024b) e Pantanal (SOS Pantanal, 2020), dados do Subsetor Produtos Florestais Madeireiros (FAO, 2024) e dados de extração de lenha e tora (IBGE, 2024).

O detalhamento do recálculo será apresentado para todo o setor e não necessariamente por subsetor ou categoria, com exceção dos PFMs, dada as especificidades dos dados de LULUCF que se relacionam de forma integrada e impactam de forma difusa os resultados observados.

Impactos de ajustes nos dados de desmatamento anual do Cerrado e Pantanal

Os ajustes decorreram da atualização dos dados da série histórica de desmatamento anual no Cerrado pelo INPE (INPE, 2024b) e no Pantanal pela SOS Pantanal (SOS Pantanal, 2020).

De acordo com o INPE, as alterações nos dados desmatamento anual do Cerrado decorreram da nova delimitação de biomas oficial do Brasil, publicada pelo IBGE (IBGE, 2019). Diante dessas estas alterações, as maiores diferenças nas emissões brutas do bioma Cerrado para os subsectores do inventário ocorreram para os anos de 2016 (11,3%), 2018 (10,3%) e 2020 (8,5%) (Figura 7.15).

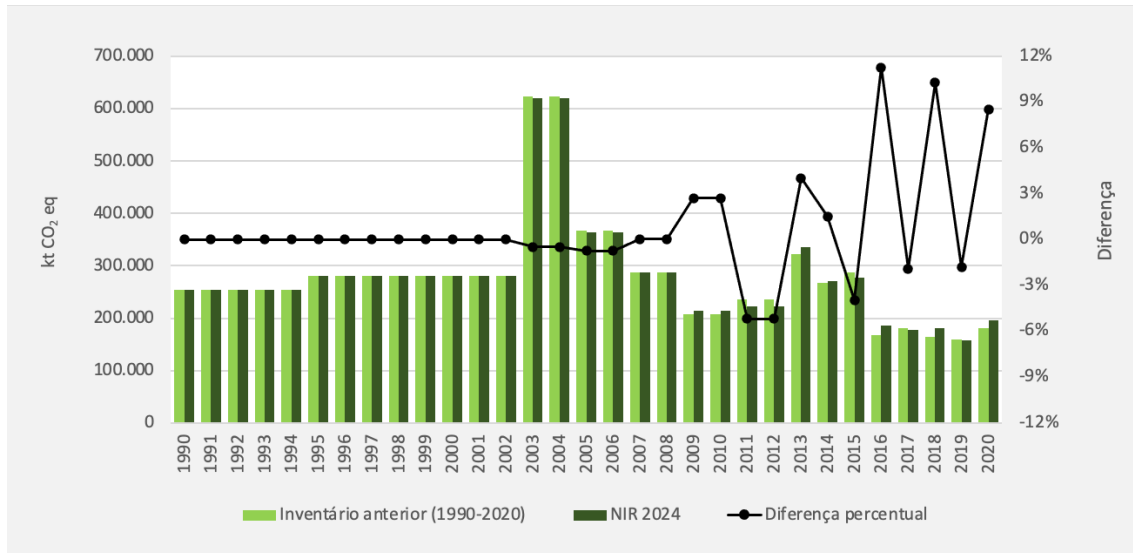


Figura 7.15. Comparação das emissões brutas de CO₂ estimada dos Subsetores Floresta (4.A). Agricultura (4.B) Campo e Pastagem (4.C), Áreas Úmidas (4.D), Assentamentos (4.E.) e Outras Terras (4.F) no Cerrado entre os inventários.

A SOS Pantanal atualizou a série histórica de dados de desmatamento anual de 2003 a 2019 (SOS Pantanal, 2020). No inventário anterior foram usados os valores atualizados de 2017 a 2020. Já no NIR 2024, foram utilizados valores atualizados de 2003 a 2020. Em função disso, no período de 2003 a 2008 as emissões acumuladas foram 17% menores que no inventário anterior. As estimativas para 2009 e 2010 foram significativamente maiores (192%), enquanto a diferença variou de -16% a 19% para os anos subsequentes até 2016. De 2017 a 2020, a diferença média foi de 0,04% (Figura 7.16).

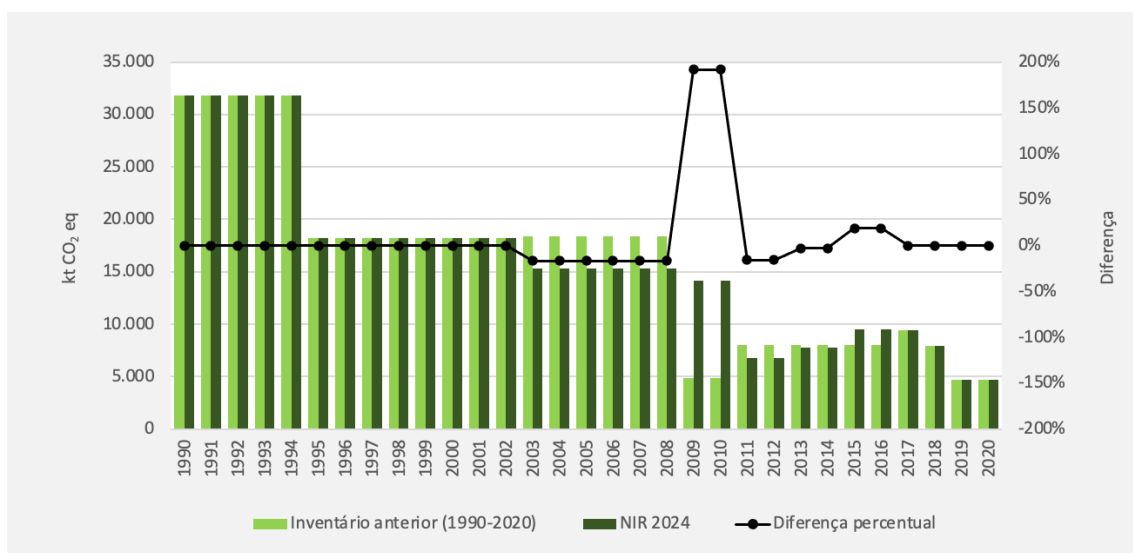


Figura 7.16. Comparação das emissões brutas de CO₂ estimada dos Subsetores Floresta (4.A). Agricultura (4.B) Campo e Pastagem (4.C), Áreas Úmidas (4.D), Assentamentos (4.E.) e Outras Terras (4.F) no Pantanal entre os inventários.

Produtos Florestais Madeireiros

Os ajustes decorreram da revisão de dados de importação, exportação e produção do Subsetor Produtos Florestais Madeireiros para toda a série temporal (1990–2020) pela FAO (FAO, 2024). Isso afetou diretamente as remoções líquidas de CO₂ para o subsetor. No inventário anterior (Brasil, 2022) em razão da ausência de dados para 2019 e 2020, esses valores foram extrapolados por tendência com base em dados dos últimos cinco anos.

As maiores diferenças em relação ao reporte anterior ocorreram entre 1990 e 1996, com aumento médio de 52% nas remoções de CO₂, com destaque para 1990, quando houve aumento de 72% nas remoções. A partir de 2003, as remoções passaram a ser menores, principalmente, entre 2009 e 2022, quando a redução média das emissões foi de 11%. Entre 2017 e 2020, a redução média também foi 11% de (Figura 7.17).

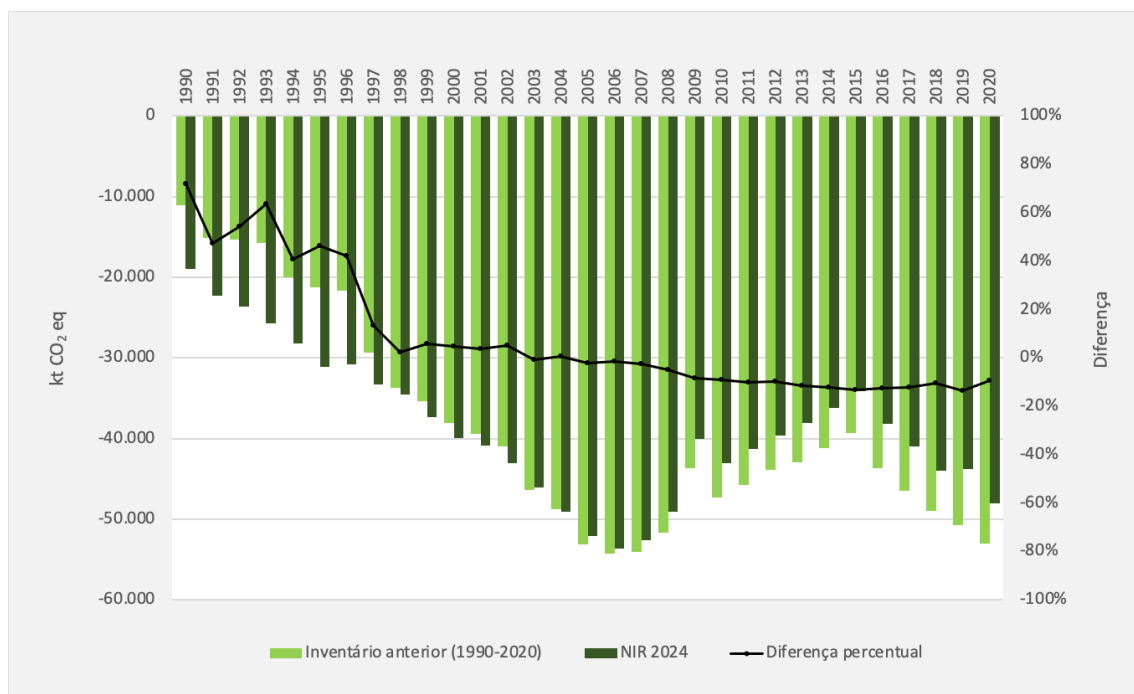


Figura 7.17. Comparação das remoções líquidas de CO₂ estimadas do Setor Produtos Florestais Madeireiros (4.G) entre os inventários.

Gases não CO₂

As emissões de gases não-CO₂ foram revisadas diante dos seguintes ajustes:

- Revisão das emissões brutas de CO₂, conforme descrito, que impactaram diretamente as emissões a partir de 2003.
- No inventário anterior, em razão da ausência de dados, os valores de extração de lenha e tora de 2019 foram replicados para 2020. Além disso, houve alteração nos valores reportados pelo IBGE para o ano de 2019 (IBGE, 2024).

Não houve diferença significativa entre o NIR 2024 e o inventário anterior para emissões de CH₄ no período de 1990 a 2002, conforme mostrado na Figura 7.18. A partir de 2003, a diferença variou de -2,3 % (2012) a 2,2% (2013). Entre 2017 e 2020, variou de -1,2% (2017) a 1,2% (2018).

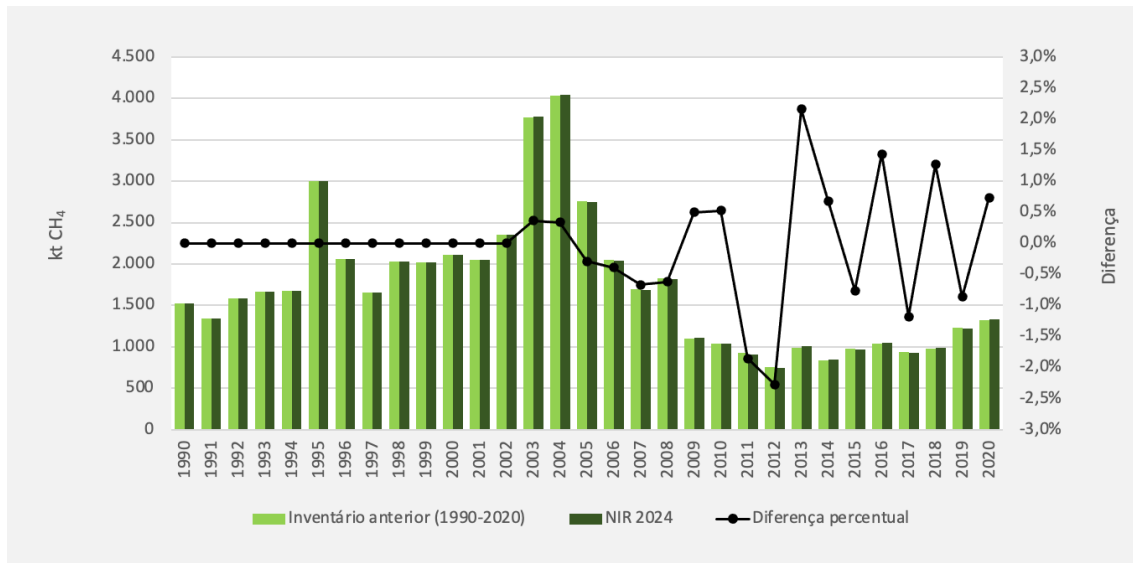


Figura 7.18. Comparação das emissões de CH₄ estimadas dos Subsetores Floresta (4.A), Agricultura (4.B) Campo e Pastagem (4.C), Áreas Úmidas (4.D), Assentamentos (4.E.) e Outras Terras (4.F) entre os inventários.

Também não ocorreu diferença significativa nas emissões de N₂O de 1990 a 2002, conforme demonstrado na Figura 7.19. De 2003 a 2020 a diferença variou entre -2,9 (2012) a 3,6% (2013). Entre 2017 e 2020, a diferença foi em média de -1,3%.

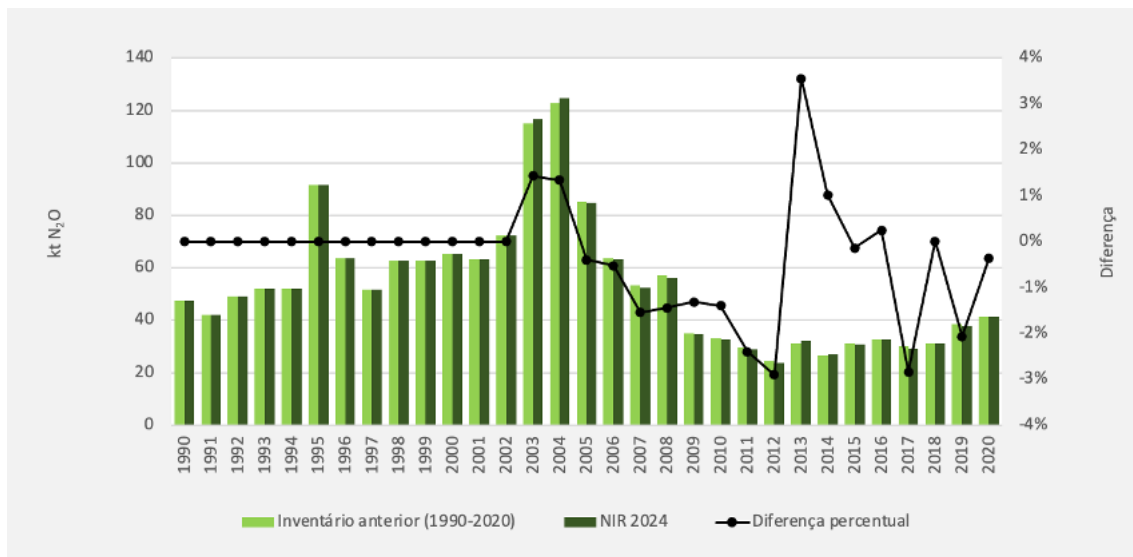


Figura 7.19. Comparação das emissões de N₂O estimadas dos Subsetores Floresta (4.A), Agricultura (4.B) Campo e Pastagem (4.C), Áreas Úmidas (4.D), Assentamentos (4.E.) e Outras Terras (4.F) entre os inventários.

Diferença nas emissões líquidas totais de LULUCF

As diferenças supracitadas, causadas por mudanças nas bases de dados secundárias, resultaram em pequenas alterações nas emissões líquidas de kt CO₂ eq para LULUCF (considerando os gases CO₂, CH₄ e N₂O) relativamente ao inventário anterior. De 1990 a 2002, a diferença variou de -

1,14% (1993) a -0,07% (1998). A partir de 2003, a diferença variou de -5,71% (2012) e 6,93% (2010). De 2017 a 2020 a diferença foi em média de 2,6% (Figura 7.20).

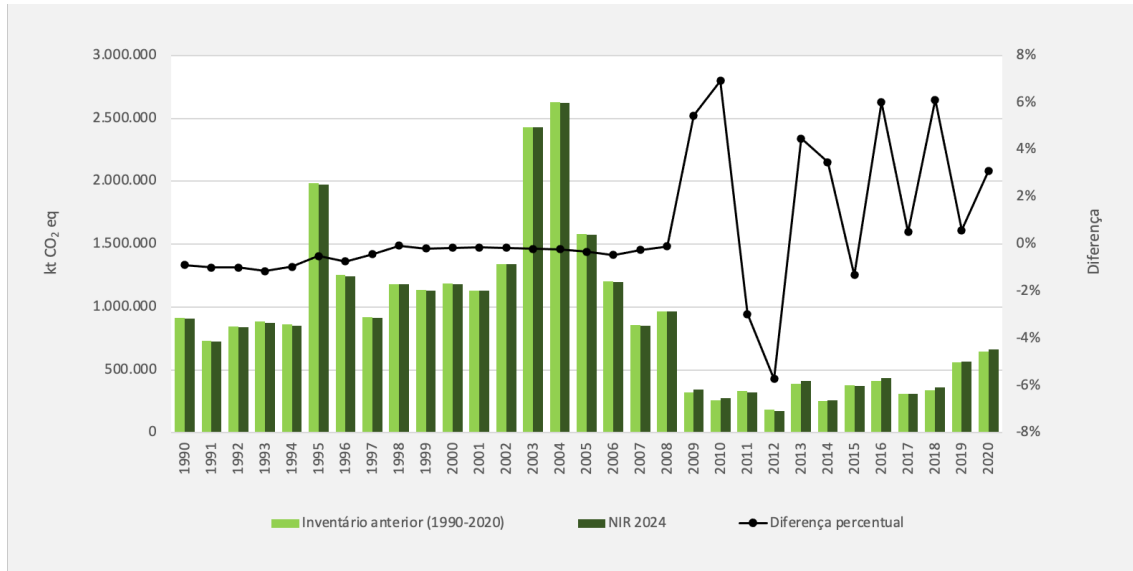


Figura 7.20. Comparação das emissões líquidas de CO₂ eq estimadas dos Subsetores Floresta (4.A), Agricultura (4.B), Campo e Pastagem (4.C), Áreas Úmidas (4.D), Assentamentos (4.E.) e Outras Terras (4.F) entre os inventários.

7.12 Plano de melhoria

O Brasil tem promovido o esforço contínuo para ampliar as bases de dados e aprimorar as metodologias de quantificação das emissões e remoções do Setor LULUCF. Considerando as dimensões do país e a complexidade e especificidades inerentes às estimativas das emissões desse setor, é possível que o exercício seja aprimorado, visando às melhorias na acurácia e consistência dos dados, além de proporcionar um maior detalhamento dos resultados obtidos. Assim, o Quadro 7.20 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para eventual implementação em futuras edições.

Quadro 7.20. Potenciais melhorias aplicáveis para aprimoramento do Inventário de Emissões do Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF).

Setor	Categoria	Melhoria
	Geral (todas as categorias)	▪ Alinhar Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias para priorizar esforços, visando à diminuição das incertezas, por meio da obtenção de dados de atividade mais bem detalhados, associadas à quantificação de emissões de categorias-chaves do setor. ▪ Aprofundar estudos para estimar emissões de categorias não contempladas no inventário.
4. LULUCF		
	Subsetores (4.A a 4.F)	▪ Ampliar a revisão da literatura acerca de estoques de carbono da vegetação e fatores de emissão e remoção da vegetação nativa, especialmente para as categorias-chave e/ou com maior incerteza (e.g. remoção para florestas primárias e florestas secundárias em diferentes estágios sucessionais). ▪ Ampliar o desenvolvimento de estudos e metodologias nacionais que assegurem a adequada contabilização de emissões não estimadas, como incêndios florestais em que não ocorre a conversão de classe de uso e cobertura da terra. ▪ Aprofundar estudos para aprimoramento da classificação de pastagens e estimativas de emissões e remoções de Pastagem que permanece como Pastagem.

8 RESÍDUOS (CRT 5)

8.1 Visão geral do setor

O Setor Resíduos compreende as emissões pela disposição e tratamento de resíduos sólidos e líquidos e contempla as emissões de CH₄, N₂O e CO₂ de quatro subsetores, conforme a metodologia do IPCC (2006):¹¹⁴ Disposição de Resíduos Sólidos (5.A), Tratamento Biológico de Resíduos (5.B), Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos (5.C) e Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D). As emissões do setor são decorrentes, principalmente, do processo de degradação anaeróbio que ocorre na destinação final de resíduos sólidos em locais manejados (aterros sanitários) ou em locais não categorizados (aterros controlados e vazadouros¹¹⁵), bem como do despejo de águas residuárias que passaram ou não por algum processo de tratamento.

As emissões do setor Resíduos totalizaram 90.761 kt CO₂ eq em 2022, com aumento de 2%, se comparado com 2020. O subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A) foi o que mais contribuiu com as emissões do setor em 2022, com 53.421 kt CO₂ eq ou, aproximadamente, cerca de 59% do total. O Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D) emitiu 36.056 kt CO₂ eq em 2022 e foi responsável por aproximadamente 40% do total do setor. Os outros subsetores contribuíram com uma parcela menor de emissão.

A Figura 8.1 ilustra as emissões do Setor Resíduos por subsetor.

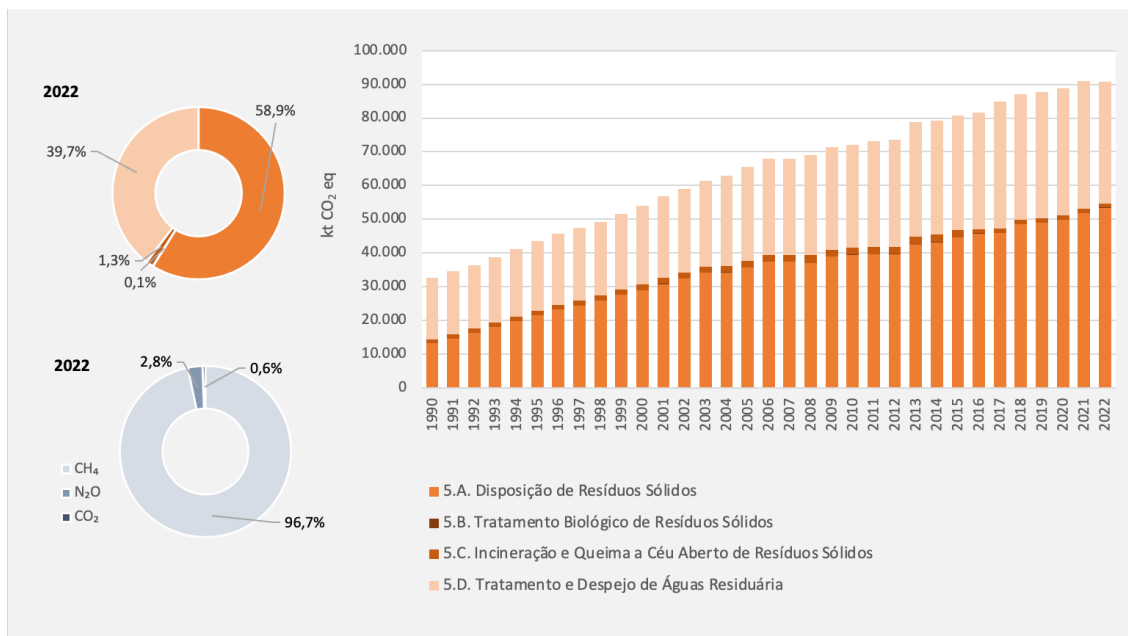


Figura 8.1. Emissões do Setor Resíduos, em kt CO₂ eq, por subsetor, de 1990 a 2022.

Ao avaliar as categorias, as que mais contribuíram foram Disposição de Resíduos Sólidos em Locais Manejados (5.A.1) e Águas Residuárias Domésticas (5.D.1), correspondendo respectivamente a 49% e 33% das emissões totais do Setor Resíduos.

As emissões do setor foram predominantemente de CH₄ com, aproximadamente, 97%, resultantes da decomposição de material biológico degradável nos locais de disposição e tratamento de

¹¹⁴ Waste (IPCC, 2006, v. 5).

¹¹⁵ Vazadouros são comumente chamados de “lixões” no Brasil.

resíduos sólidos e efluentes líquidos. Outros gases são gerados em menor quantidade durante o tratamento de efluentes domésticos e industriais, como o N_2O e o CO_2 , este último proveniente da incineração de resíduos sólidos de origem fóssil, representando 2,8% e 0,6% em 2022, respectivamente.

8.2 Aspectos metodológicos

Considerando as características emissoras da decomposição de matéria orgânica a partir de processos anaeróbios, e da combustão dos resíduos, foram incluídas as emissões de CO_2 e não CO_2 . Nesta segunda categoria, incluem-se CH_4 , N_2O . As estimativas de emissões foram realizadas a partir da metodologia preconizada no IPCC (2006), especificamente o Volume 5 (Resíduos). Esta edição do inventário revisou os dados de atividades emissoras de todo o período histórico (1990 a 2020), bem como inventariou as emissões referentes aos anos de 2021 e 2022.

O Quadro 8.1 apresenta as metodologias, dados de atividade e parâmetros/fatores utilizados em cada uma das categorias inventariadas. A metodologia *Tier 2* foi utilizada para as categorias mais representativas, com destaque para a Disposição de Resíduos Sólidos (5.A), que contempla as emissões de Locais Manejados (5.A.1) e Não Categorizados (5.A.3).

Para as emissões pelo Tratamento Biológico de Resíduos (5.B), utilizou-se o *Tier 1* na categoria Compostagem (5.B.1), pois as atividades de compostagem são pouco representativas quanto à disposição final de resíduos sólidos municipais. Para o Subsetor Incineração e Queima de Resíduos a Céu Aberto (5.C) utilizou-se a metodologia *Tier 2a* para as emissões de CO_2 na categoria Queima de Resíduos a Céu Aberto (5.C.2). Nesta metodologia utilizou-se a equação 5.2, p. 5.7, v. 5, cap. 5 do IPCC (IPCC, 2006), em que são exigidos os dados de atividades específicos do país sobre a composição dos resíduos queimados e dados-padrão para parâmetros relativos aos resíduos sólidos. Para os demais gases (CH_4 e N_2O) emitidos nas categorias deste subsetor foi aplicado o método *Tier 1*. Quanto ao Subsetor Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D) utilizou-se o *Tier 2* para o CH_4 e *Tier 1* para N_2O .

Dados populacionais foram aplicados transversalmente em quase todos os subsetores. As informações foram obtidas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) ao longo da série histórica (1990 a 2022), consultando os seguintes conteúdos: os Censos Demográficos (1970; 1980; 1991; 2000; 2010; 2022) (IBGE, 1991b; 2012; 2024b), as Estimativas da População (1992 a 1995; 1997 a 1999; 2001 a 2009; 2011 a 2021) (IBGE, 2000b; 2023d) e as Contagens da População (1996 e 2007) (IBGE, 2008a). O IBGE é um instituto público da administração federal brasileira, sendo o principal provedor de informações geográficas e estatísticas do país.

Além dos censos demográficos, outras pesquisas relevantes na área de saneamento também foram consultadas para quantificar e categorizar os resíduos gerados, coletados e dispostos: a pesquisa de Limpeza Pública e Remoção do Lixo (1977; 1980; 1983) (IBGE, 1980a; 1980b; 1988), os dados declarados anualmente pelos municípios desde 2003 por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento SNIS (2003 a 2024) (MCID, 2022). Também foram consultados os resultados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) (1992 a 2015) (IBGE, 2019b; 2019c), e da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Anual (PNADC) (2016 a 2022) (IBGE, 2023a), que apresentam dados de população com acesso ao serviço de coleta. Referente aos efluentes industriais, a partir da identificação das nove atividades industriais de maior contribuição de carga orgânica potencialmente geradora de GEE (Brasil, 2010; BRASIL, 2015), foram levantados os dados de produção industrial entre 1990 e 2022.

Referente aos parâmetros e fatores de emissão, a composição gravimétrica Resíduo Sólido Municipal (MSW) foi obtida a partir da revisão de literatura acadêmica e de planos estaduais de

resíduos sólidos. Outro fator regionalizado foram as classificações climática. No âmbito municipal foi realizada a avaliação das variáveis climáticas de temperatura média anual (MAT), precipitação média anual (MAP) e potencial de evapotranspiração (PET), conforme preconizado nas diretrizes do IPCC (2006). Os dados municipais dessas variáveis foram fornecidos pelo Instituto de Meteorologia (INMET) para a série histórica de 1970 a 2010, apresentando valor médio anual de cada variável da série histórica do município (Brasil, 2021). A partir da classificação dos municípios, foi realizado o cálculo da representatividade da população residente em cada região climática em relação à população total da Unidade Federativa (UF), anualmente, de 1970 a 2022.

Em relação aos outros fatores de emissão, foram adotados fatores disponíveis nas Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (IPCC, 2006). Em algumas subcategorias não foi possível calcular as emissões, dada principalmente a falta de informações ou a alocação das emissões em outro Setor do Inventário.

Quadro 8.1. Níveis metodológicos aplicados por gás e referências do Setor Resíduos.

Subsetor	Categoria	Subcategorias	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS			REFERÊNCIAS	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Dados de atividade	Fatores de emissão
5.A. DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	5.A.1. Locais Manejados		NA	T2	NA	Dados populacionais: Censo Demográfico (1970; 1980; 1991; 2000; 2010; 2022), Estimativas da População (1992 a 1995; 1997 a 1999; 2001 a 2009; 2011 a 2021) e Contagem da População (1996; 2007) (IBGE, 2010; 2015); Lacuna estimada para as décadas de 1970 e 1980 e 1994, por meio de modelo polinomial de grau 2; Limpeza Pública e Remoção do Lixo (IBGE, 1980a; 1980b; 1988); Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2003 a 2024) (MCID, 2022); Pesquisa Nacional do Saneamento Básico – PNSB (IBGE, 1994; 2000a; 2008b; 2017a); Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR (2015); PNAD (1992;1993;1995;1996-1999;2001-2015) (IBGE, 2019b; 2019c) e PNADC (2016; 2017;2018;2019;2022) (IBGE, 2023a); CH ₄ recuperado: Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (UNFCCC, 2024).	Dados de População total (urbana e rural) com coleta de resíduo do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (MCID, 2024) e Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística – IBGE (IBGE, 1980; 1983; 2008). Modelo polinomial de grau 2 com base nos dados do IBGE (1980; 1983; 2008) e do SNIS (anos 2003 a 2022; MCID, 2018) de população total atendida com coleta de Resíduo Sólido Municipal (MSW, sigla em inglês) e a massa coletada; O tipo de aterro em cada município foi obtido a partir da informação da unidade de disposição final de todos os municípios do Brasil (MMA, 2024) e o ano de início de operação dos aterros sanitários (MCID, 2018); Dados médios municipais de temperatura média anual – MAT, precipitação média anual – MAP e potencial de evapotranspiração – PET (INMET, 1970 a 2010); Composição gravimétrica: revisão de literatura acadêmica (artigos científicos, anais de congresso, livros e teses) e de planos estaduais de resíduos sólidos (1963-2018); IPCC (2006, v. 5, cap. 3).
	5.A.2. Locais Não Manejados		NA	IE	NA		
	5.A.3. Locais Não Categorizados		NA	T2	NA		
5.B. TRATAMENTO BIOLÓGICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	5.B.1. Compostagem		NA	T1	T1	Idem às informações do Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A).	IPCC (2006, v. 5, cap. 4).
	5.B.2. Digestão Anaeróbia		NO	IE	NA	Geração de energia a partir da queima de biogás: Balanço Energético Nacional (BEN)	IPCC (2006; v. 5, cap. 4, p. 4.6); Emissões desta categoria estão alocadas no Setor Energia (1.A) nas atividades de geração de energia a partir de biogás.
5.C. INCINERAÇÃO E QUEIMAS CÉU A	5.C.1. Incineração de Resíduos	5.C.1.a. Biogênico	T1	NA	T1	Quantidade de resíduos de saúde incinerados obtidos a partir da população dos municípios com coleta e massa coletada da Pesquisa Nacional do Saneamento Básico – PNSB (IBGE, 1994; 2000a; 2008b).	IPCC (2006, v. 5, cap. 5)
		5.C.1.b. Não Biogênico	T1	NA	T1		IPCC (2006, v. 5, cap. 5)

Subsetor	Categoria	Subcategorias	GASES ESTIMADOS E METODOLOGIAS			REFERÊNCIAS	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Dados de atividade	Fatores de emissão
ABERTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	5.C.2. Queima de Resíduos a Céu Aberto		T2a	T1	T1	Dados populacionais do Censo Populacional (1991, 2000, 2010 e 2022); Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD (1992;1993;1995;1996-1999;2001-2015) (IBGE, 2019b; 2019c) e PNADC (2016; 2017;2018;2019;2022) (IBGE, 2023a); (anos intermediários ao Censo); Composição gravimétrica: revisão de literatura acadêmica (artigos científicos, anais de congresso, livros e teses) e de planos estaduais de resíduos sólidos (1963-2018).	IPCC (2006, v. 5, cap. 5)
5.D. TRATAMENTO E DESPEJO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS	5.D.1. Águas Residuárias Domésticas		NA	T2	T1	População urbana das UF's foi estimada anualmente por regressão linear bivariada simples entre os intervalos dos censos populacionais (IBGE, 1970; 1980; 1991; 2000; 2010; 2022). População rural estimada pela diferença entre total e urbana. Os dados de sistema de tratamento foram obtidos da PNAD (1992;1993;1995;1996-1999;2001-2015) (IBGE, 2019b; 2019c) e PNADC (2016; 2017;2018;2019;2022) (IBGE, 2023a) e do Censo Populacional (1991, 2000; 2010 e 2022). A fração da população atendida com cada tecnologia de tratamento foi estimada a partir de dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (IBGE, 2008).	Classificação dos sistemas de tratamento utilizados no Brasil presentes nas PNSB (IBGE,2000a; 2008b;2017a), com interpolação linear simples entre períodos, de acordo com valores-padrão (IPCC, 2006) e Von Sperling (2015); Consumo de proteína <i>do World Food and Agriculture – Statistical Yearbook</i> (FAO, 2009; 2022; 2023); S-DWW (Andreoli; Von Sperling; Fernandes, 2001). (IPCC, 2006, v. 5, cap. 6).
	5.D.2. Águas Residuárias Industriais		NA	T2	NE	Dados de produção industrial: Açúcar e Alcool (UNICA, 2024); Leite cru (PPM – IBGE, 2023e); Leite pasteurizado (ABLV, 2022); Celulose (IBA, 2023); Cerveja, Abate de aves, Abate de bovinos e Abate de suínos (PIA – IBGE, 2021).	Carga orgânica (kg DBO/tonelada de produto): Açúcar (CTC, 1995; Elia Neto <i>et al.</i> , 2009); Alcool (Elia Neto <i>et al.</i> , 2009); Celulose (Michael <i>et al.</i> , 2015); Leite cru, Leite pasteurizado, Cerveja, Abate de aves, Abate de bovinos e Abate de suínos (Brasil, 2015); S-DWW (Andreoli; Von Sperling; Fernandes, 2001); (IPCC, 2006, v. 5, cap. 6).

Nota: Níveis metodológicos (IPCC, 2006) – T1: *Tier 1*; T2: *Tier 2*; T2a (*Tier 2a*): utiliza dados específicos do país para estimar a fração de carbono fóssil (FCF); T3: *Tier 3*.

Notações: NA – atividade em uma determinada categoria de fonte/sumidouro que ocorre no país, mas não resultou em emissões ou remoções de um gás específico; IE – incluído em outro local/categoria de emissões ou remoções; NO – categorias e processos que não ocorrem no país; NE – dados de atividade e/ou emissões por fontes e remoções por sumidouros de GEE que não tenham sido estimados, mas para os quais uma atividade correspondente pode ocorrer no país.

Conforme IPCC (2006), a descrição de locais de disposição final indica uma classificação para aterros sanitários (5.A.1 – Locais Manejados), mas não especifica classificação para aterros controlados e vazadouros. Aterros controlados e vazadouros foram classificados como “Não Categorizados” (5.A.3), uma vez que não existem características suficientes sobre esses locais para possibilitar classificação em qualquer outra categoria.

Dessa forma, as emissões da disposição de resíduo sólido no Brasil que se enquadram na categoria Disposição de Resíduos em Locais Não Manejados (5.A.2) foram realocadas na categoria 5.A.3.

O Quadro 8.2 e o Quadro 8.3 apresentam categorias que foram realocadas ou não puderam ser estimadas no NIR 2024.

Quadro 8.2. Categorias com valores atribuídos em outras categorias (IE) no Setor Resíduos.

CÓDIGOS IPCC	CATEGORIAS REALOCADAS	DESTINO DA REALOCAÇÃO
5.A.2	Locais Não Manejados	As emissões de CH ₄ a partir da disposição em locais não manejados foram realocadas na categoria 5.A.3.
5.B.2	Digestão Anaeróbia	As emissões de CH ₄ geradas a partir da digestão anaeróbia em instalações de biogás são alocadas no Setor Energia (1.A). A fonte de dados consultada, o BEN apresenta somente a produção total nacional de biogás, sem segregar a geração de biogás por tipo de planta.

Quadro 8.3. Categorias não estimadas (NE) no Inventário para o Setor Resíduos.

CÓDIGOS IPCC	CATEGORIAS NÃO ESTIMADAS	OBSERVAÇÕES
5.D.2	Águas Residuárias Industriais	Não foram determinados fatores de emissão específicos para estimar emissões de N ₂ O a partir do tratamento e disposição de efluentes industriais.

8.3 Disposição de Resíduos Sólidos (CRT 5.A)

O Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A) emite exclusivamente CH₄, decorrente do processo de degradação anaeróbica que ocorre nos resíduos ao longo do tempo. As emissões variam de acordo com o tamanho da população, da quantidade de resíduo gerado, da composição gravimétrica dos resíduos e da forma de disposição final. O subsetor está subdividido em três categorias: Locais Manejados (5.A.1), Locais Não Manejados (5.A.2) e Locais Não Categorizados (5.A.3).

As emissões associadas à Disposição de Resíduos Sólidos (5.A) totalizaram 53.421 kt CO₂ eq em 2022, registrando um aumento de 7% em comparação com 2020 (Figura 8.2). A disposição de resíduos em Locais Manejados (5.A.1) representou 82,5% das emissões para este subsetor em 2022. Este aumento decorre do aumento do envio desses resíduos para aterros sanitários, cujo fator de emissão de geração de CH₄ é maior que em aterros controlados e vazadouros.

As emissões em Locais Não Categorizados (5.A.3) representaram 17,5% das emissões deste Subsetor (9.370 kt CO₂ eq) em 2022 e apresentaram uma redução de 24% em comparação com 2020. Esta redução se deve ao aumento da disposição em aterros sanitários, o que consequentemente reduz a proporção de resíduo destinado a locais não manejados ou vazadouros. Em termos qualitativos de composição gravimétrica, "restos de alimentos" e "papel e papelão"

foram os principais componentes na geração de CH₄ pela disposição dos resíduos sólidos municipais, contribuindo com 61% e 30% do total de emissões geradas, respectivamente.

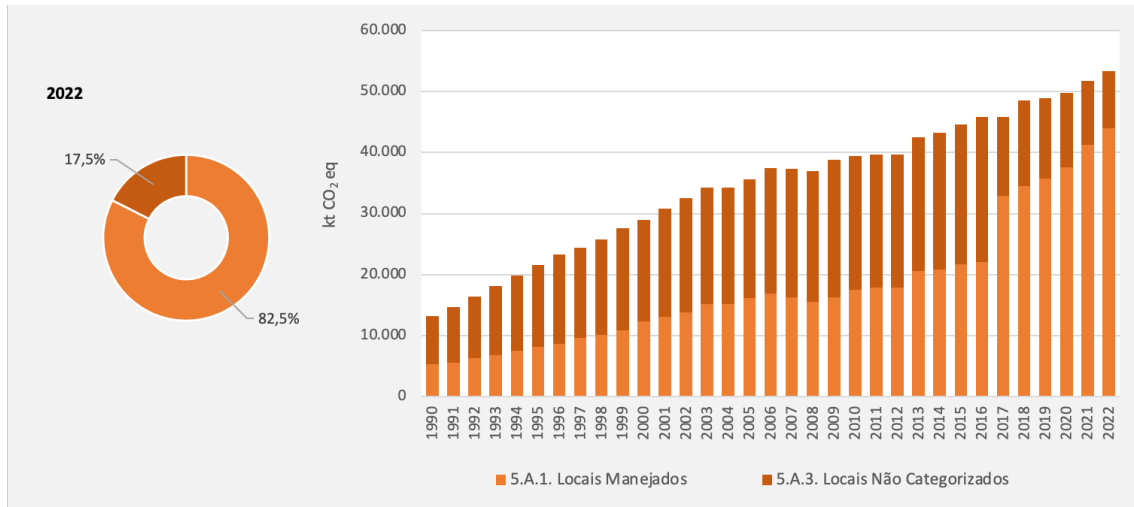


Figura 8.2. Emissões da Disposição de Resíduos Sólidos (5.A), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

8.3.1 Aspectos metodológicos

Para o cálculo das emissões de CH₄ das categorias 5.A.1 e 5.A.2 do Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A) foram utilizadas as equações 8.1 a 8.5, expostas no Quadro 8.4, com detalhamento metodológico *Tier 2*. A aplicação das equações segue os seguintes passos:

- Obtenção da quantidade de resíduos coletados e depositado anualmente;
- Quantificação da fração de cada categoria de resíduo a partir dos dados gravimétricos;
- Quantificação da fração de cada categoria de disposição de resíduo a partir dos dados de atendimento de serviço de saneamento básico;
- Quantificação da massa de carbono degradável para cada tipo de resíduo e consequentemente o somatório de todos os tipos resultam na massa de carbono degradável acumulada anualmente;
- Quantificação da massa de carbono degradável que é decomposto anualmente;
- Quantificação do CH₄ gerado a partir do material decomposto;
- Quantificação do CH₄ recuperado a partir do material queimado em projetos MDL;
- Quantificação do CH₄ emitido.

Quadro 8.4. Equações para estimar as emissões do Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 8.1	CH ₄	5.A.1 5.A.2	$CH_4 \text{ emitido}_{x,T} = \left[\sum_x CH_4 \text{ gerado}_{x,T} - R_t \right] * (1 - OX_T)$	Equação 3.1 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 3)

Equação 8.2	CH ₄	5.A.1 5.A.2	$DDOC_m = W * DOC * DOC_f * MCF$	Equação 3.2 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 3)
Equação 8.3	CH ₄	5.A.1 5.A.2	$DDOC_{maT} = DDOC_{mdT} + (DDOC_{maT-1} * e^{-k})$	Equação 3.4 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 3)
Equação 8.4	CH ₄	5.A.1 5.A.2	$DDOC_m \text{ decomp}_T = DDOC_{maT-1} * (1 - e^{-k})$	Equação 3.5 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 3)
Equação 8.5	CH ₄	5.A.1 5.A.2	$CH_4 \text{ gerado}_T = DDOC_m \text{ decomp}_T * F * 16/12$	Equação 3.6 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 3)

Em que:

CH₄ emitido_{x,T} = quantidade de CH₄ emitido no ano T (Gg CH₄ . ano⁻¹);
 CH₄ gerado_{x,T} = quantidade de CH₄ gerado no local de disposição final no ano T (Gg CH₄ . ano⁻¹);
 x = tipo de resíduo/material;
 T = ano inventariado;
 R_T = CH₄ recuperado no ano T (Gg CH₄ . ano⁻¹);
 OX_T = fator de oxidação no ano T;
 DDOC_m = massa de carbono orgânico degradável decomponível (Gg);
 W = massa de resíduo depositado (Gg);
 DOC = carbono orgânico degradável no ano de deposição (Gg C Gg resíduo⁻¹);
 DOC_f = DOC que decompõe (fração);
 MCF = fator de correção de CH₄ para decomposição aeróbia no ano da deposição (fração);
 DDOC_{maT} = DDOC_m acumulado no SWDS ao final do ano T (Gg);
 DDOC_{maT-1} = DDOC_m acumulado no SWDS ao final do ano T-1 (Gg);
 DDOC_{mdT} = DDOC_m depositado no SWDS no ano T (Gg);
 k = constante de reação, $k = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$ (ano⁻¹),
 t_{1/2} = tempo de meia vida (ano⁻¹);
 DDOC_m decomp_T = matéria orgânica degradável decomposta no ano T (Gg);
 F = CH₄ (volume) no gás de aterro gerado (fração); e
 16/12 = fração molecular CH₄/C.

Dados de atividades e outros parâmetros

A geração anual de MSW (Mg ano⁻¹) foi obtida por meio do produto entre as variáveis população total (hab⁻¹ano⁻¹) e geração *per capita* de MSW (Mg hab⁻¹ano⁻¹). Os dados de população total (hab⁻¹ ano⁻¹) foram obtidos nas pesquisas: Censo Demográfico (1970; 1980; 1991; 2000; 2010; 2022) (IBGE, 1991b; 2012; 2024b), Estimativas da População (1992 a 1995; 1997 a 1999; 2001 a 2009; 2011 a 2021) (IBGE, 2000b; 2023d) e Contagem da População (1996 e 2007) (IBGE, 2008a). Para os anos faltantes na série histórica a população total, foi estimada por interpolação.

Para mais informações sobre estimativas populacionais, consultar o Box 8.1.

Box 8.1. Atualização dos dados populacionais

Os dados populacionais da série histórica sofreram alterações metodológicas em comparação aos dados utilizados nos cálculos dos relatórios anteriores. Para esta edição do NIR, os dados populacionais dos anos faltantes (décadas de 1970 e 1980; 1990) foram recalculados com base nos dados observados do Censo Demográfico (1970; 1980; 1991) do IBGE. Para cada unidade federativa foi aplicado o modelo ajustado polinomial de grau 2 (quadrático). Para os anos entre 1991 e 2022, foram aplicados tanto os dados censitários quanto às estimativas oficiais do IBGE. Cabe salientar que os dados populacionais influenciam os resultados de quase todas as categorias do setor Resíduos, sendo este um dos principais dados de entrada. A Tabela 8.1 e a Figura 8.3 apresentam a comparação dos dados populacionais aplicados ao cálculo das emissões dos inventários anteriores e desta edição (NIR 2024).

Tabela 8.1. Comparação dos dados populacionais apresentados em inventários anteriores e no NIR 2024 após ajuste metodológico.

Ano	NIR 2024	Inventários anteriores	Diferença	Ano	NIR 2024	Inventários anteriores	Diferença
1970	93.130.683	92.685.279	0,481%	1997	159.609.584	161.457.133	-1,144%
1971	95.744.517	95.325.649	0,439%	1998	161.763.775	163.903.804	-1,306%
1972	98.352.372	97.958.846	0,402%	1999	163.921.311	166.343.298	-1,456%
1973	100.954.566	100.584.863	0,368%	2000	169.872.854	168.775.619	0,650%
1974	103.551.098	103.203.709	0,337%	2001	172.385.826	171.200.764	0,692%
1975	106.141.962	105.815.380	0,309%	2002	174.632.960	173.618.738	0,584%
1976	108.727.173	108.419.879	0,283%	2003	176.871.437	176.029.536	0,478%
1977	111.306.715	111.017.203	0,261%	2004	181.581.024	178.433.161	1,764%
1978	113.880.596	113.607.354	0,241%	2005	184.184.264	180.829.614	1,855%
1979	116.448.817	116.190.329	0,222%	2006	186.770.562	183.218.889	1,938%
1980	119.011.052	118.766.131	0,206%	2007	183.879.292	185.600.991	-0,928%
1981	121.568.267	121.334.759	0,192%	2008	189.612.823	187.975.919	0,871%
1982	124.119.502	123.896.214	0,180%	2009	191.480.630	190.343.675	0,597%
1983	126.665.069	126.450.492	0,170%	2010	190.755.799	192.704.254	-1,011%
1984	129.204.980	128.997.598	0,161%	2011	192.379.287	195.057.662	-1,373%
1985	131.739.224	131.537.532	0,153%	2012	193.946.886	197.403.891	-1,751%
1986	134.267.810	134.070.288	0,147%	2013	201.032.714	199.742.955	0,646%
1987	136.790.730	136.595.870	0,143%	2014	202.768.562	202.074.838	0,343%
1988	139.307.991	139.114.280	0,139%	2015	204.450.049	204.399.546	0,025%
1989	141.819.587	141.625.515	0,137%	2016	206.081.432	206.717.082	-0,307%
1990	144.325.525	144.129.578	0,136%	2017	207.660.929		
1991	146.825.475	146.626.464	0,136%	2018	208.494.900		
1992	149.206.029	149.116.181	0,060%	2019	210.147.125		
1993	151.540.595	151.598.720	-0,038%	2020	211.755.692		
1994	153.694.445	154.074.083	-0,246%	2021	213.317.639		
1995	155.791.127	156.542.276	-0,480%	2022	203.080.756		
1996	157.063.306	159.003.289	-1,220%				

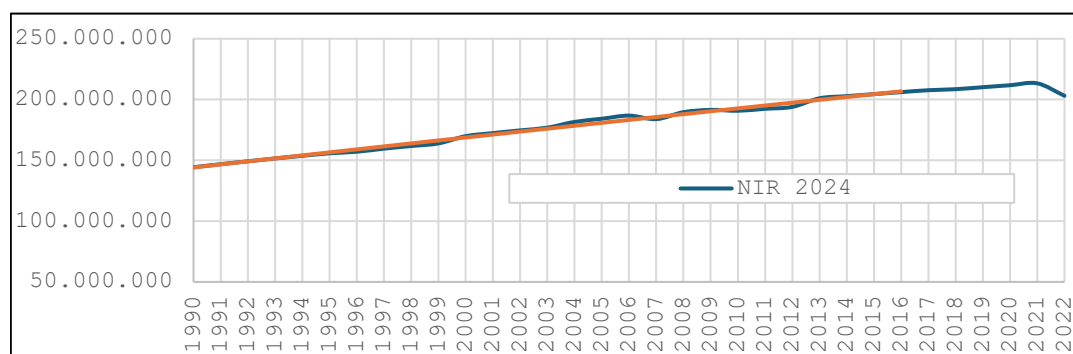


Figura 8.3. Comparação dos dados populacionais apresentados em inventários anteriores e no NIR 2024 após ajuste metodológico.

Dada a lacuna de dados nacionais oficiais sobre geração *per capita* de MSW ($\text{Mg hab}^{-1} \text{ano}^{-1}$), essa variável foi calculada a partir da razão entre a quantidade de resíduo coletada e a população atendida com serviço de coleta anualmente. Os dados de população atendida com serviço de coleta utilizados para obtenção da geração *per capita* de MSW foram obtidos nas pesquisas de Censo Demográfico (1980; 1991; 2000) (IBGE, 1991b; 2012; 2024b), e de Limpeza Pública e Remoção do Lixo (1977; 1980; 1983) (IBGE, 1980a; 1980b; 1988). Para ambas as pesquisas a população atendida com serviço de coleta, foi considerada como a população total urbana declarada. Para os anos em que havia dados disponíveis do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento — SNIS (2003 a 2024) (MCID, 2022) foi adotado os valores de população declarante atendida com serviço de coleta, apresentados no indicador CO164.¹¹⁶

As quantidades de resíduos coletados anualmente foram obtidas nas pesquisas de Censo Demográfico (1980; 1991; 2000) (IBGE, 1991b; 2012; 2024b), e de Limpeza Pública e Remoção do Lixo (1977; 1980; 1983) (IBGE, 1980a; 1980b; 1988). Para os anos com dados disponíveis do SNIS (2003 a 2024) (MCID, 2022), os valores declarados foram adotados no indicador CO119.¹¹⁷ Para os anos em que não havia dados oficiais de população atendida com serviço de coleta ou da quantidade de resíduos coletados, os valores de geração anual de MSW foram estimados por extrapolação baseada em tendência linear obtida a partir dos dados observados.

Os dados nacionais de população atendida com serviço de coleta ($\text{hab}^{-1} \text{ano}^{-1}$) foram calculados a partir do somatório da quantidade de resíduo coletado em cada UF, e foram obtidos da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) (1992 a 2015) (IBGE, 2019b; 2019c), e da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Anual (PNADC) (2016 a 2022) (IBGE, 2023a). Esta medida metodológica visou manter a base de dados para subcategorias diferentes, uma vez que estas mesmas fontes de dados declaram a quantidade de resíduo queimados, além da população que é atendida com serviço de coleta. Para os anos faltantes a população atendida com serviço de coleta foi estimada por extrapolação baseada em tendência linear obtida a partir dos dados observados.

Outro parâmetro relevante é a fração de MSW enviada para cada tipo de local de disposição final de resíduo sólidos (SWDS), discriminado para aterros sanitários, locais não manejados, compostagem e incineração. Para determinar o nível de gerenciamento dos SWDS brasileiros entre os anos de 1970 e 2016 foi consultado o mapeamento das unidades de aterro sanitário existentes e suas respectivas datas de início de operação. Dados sobre o tipo de unidade de disposição final de resíduos sólidos utilizada em cada município brasileiro foram obtidos junto ao Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR (MMA, 2015), por meio da pesquisa sobre o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PGIRS, além das pesquisas de Limpeza Pública e Remoção do Lixo (1977; 1980; 1983) (IBGE, 1980a; 1980b; 1988) e da Pesquisa Nacional do Saneamento Básico (PNSB) (IBGE, 1994; 2000a; 2008b), que explicitam as frações de destinação do SWDS, pátios de compostagem e incineradores (Tabela 8.2).

Tabela 8.2. Dados de destinação de MSW das principais pesquisas brasileiras sobre saneamento.

Ano	Vazadouro	Aterro controlado	Aterro sanitário	Compostagem

¹¹⁶ SNIS (2003 a 2024) (MCID, 2024), Indicador CO164 - População total atendida no município com coleta regular de pelo menos uma vez por semana.

¹¹⁷ SNIS (2003 a 2024) (MCID, 2024), Indicador CO119 - Quantidade total de RDO e RPU coletada por todos os agentes.

	fração			
1983	0,60	0,13	0,26	0,01
1989	0,50	0,22	0,24	0,03
2000	0,31	0,23	0,42	0,04
2008	0,18	0,16	0,66	0,01

Fonte: Limpeza Pública e Remoção do Lixo (1977; 1980; 1983) (IBGE, 1980a; 1980b); Pesquisa Nacional do Saneamento Básico – PNSB (IBGE, 1994; 2000a; 2008b).

Para atualizar anualmente a fração de MSW destinada aos aterros entre os anos de 2017 e 2022, foram consideradas as informações declaradas nos indicadores UP003¹¹⁸ e UP025¹¹⁹ do SNIS (Tabela 8.3). A partir do cruzamento dessas informações foi possível calcular anualmente a fração da população estadual que destinava MSW para aterro sanitário, por meio da razão entre a população dos municípios que possuíam aterro sanitário e a população total da UF para o ano avaliado. Desta forma, o somatório dos resultados estaduais, representou as emissões nacionais. Quanto as frações de compostagem, foram mantidos os valores declarados na PNSB de 2008.

Tabela 8.3. Dados populacionais do atendimento aos serviços de coleta e disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários no Brasil.

Ano	População total	População com serviço de coleta	População com disposição em aterro sanitário
	habitante ano ⁻¹		
1990	144.325.525	76.499.988	25.879.236
1991	146.825.475	85.480.467	26.282.726
1992	149.206.029	89.943.726	27.855.547
1993	151.540.595	95.700.996	28.551.946
1994	153.694.445	96.606.415	29.514.554
1995	155.791.127	101.448.426	31.316.155
1996	157.063.306	104.838.327	31.894.739
1997	159.609.584	110.681.694	38.045.841
1998	161.763.775	114.399.784	40.098.529
1999	163.921.311	118.066.727	41.837.841
2000	169.872.854	118.967.845	46.154.014
2001	172.385.826	133.948.024	50.897.448
2002	174.632.960	137.820.949	53.160.547
2003	176.871.437	141.683.155	57.434.900
2004	181.581.024	144.167.082	61.496.979
2005	184.184.264	146.684.042	65.469.489
2006	186.770.562	149.877.150	67.324.811
2007	183.879.292	150.701.078	67.436.270
2008	189.612.823	154.798.930	71.462.070
2009	191.480.630	157.365.563	74.234.448
2010	190.755.799	155.122.929	76.831.230
2011	192.379.287	161.027.584	79.866.589
2012	193.946.886	162.399.245	82.552.133
2013	201.032.714	166.846.846	87.439.883

¹¹⁸ SNIS (2003 a 2024) (MCID, 2024), Indicador UP003 – Tipo de unidade, segundo o município informante.

¹¹⁹ SNIS (2003 a 2024) (MCID, 2024), Indicador UP025 – Município de origem dos resíduos.

Ano	População total	População com serviço de coleta	População com disposição em aterro sanitário
	habitante ano ⁻¹		
2014	202.768.562	168.901.710	89.147.854
2015	204.450.049	170.185.798	90.452.397
2016	206.081.432	171.439.272	91.348.758
2017	207.660.928	173.555.787	128.855.514
2018	208.494.900	175.172.234	128.471.639
2019	210.147.125	176.951.728	133.723.770
2020	211.755.692	184.850.837	144.137.462
2021	213.317.640	186.869.986	152.984.716
2022	203.080.757	176.908.423	149.095.337

Fonte: SNIS (MCID, 2018, 2022); IBGE (1994; 2000; 2008; 2019d; 2019e)

Os dados de geração e disposição de Resíduos de Serviços de Saúde (CW, sigla em inglês) (Mg ano⁻¹), foram estimados anualmente para cada UF entre os anos 1990 e 2022, a partir dos dados disponíveis na Pesquisa Nacional do Saneamento Básico (PNSB) (IBGE, 2000a; 2008b). Esta pesquisa indica os municípios que coletam e destinam CW, bem como quantificam a massa de CW coletada municipalmente (Tabela 8.4). Uma vez que a informação sobre a população geradora de CW não está contida na PNSB, foi assumida a premissa de que a massa coletada de CW é proporcional à população atendida com serviço de coleta do município. Logo, a população total do município foi utilizada como população geradora. A população geradora de CW de cada UF (Pop_{CW}) resulta da soma da população dos municípios com coleta e destinação.

Para preencher a lacuna de dados nos anos em que não existem dados observados, a massa anual de CW coletada em cada UF (CW_{coleta}, Mg ano⁻¹) foi estimada por meio do produto entre população geradora de CW e a taxa *per capita* anual de geração de resíduo da saúde obtida nos anos observados (2000 e 2008). Para isso, primeiramente foi encontrada a razão da população total da UF e a população geradora para os anos 2000 e 2008, uma vez que não são todos os municípios da UF que possuem coleta e destinação de CW.

Tabela 8.4. População total (Pop_{total}), população atendida com coleta (Pop_{CW}), massa coletada e destinada (CW) e massa *per capita* (CW_{per capita}) de resíduos de serviços de saúde (CW) nas UF, nos anos 2000 e 2008.

UF	Pop _{total}		Pop _{CW}		CW		CW _{per capita}	
	2000	2008	2000	2008	2000	2008	2000	2008
	habitantes				Mg		kg hab ⁻¹	
AC	557.882	680.075	383.417	641.120	949	10.447	2,5	16,3
AL	2.827.856	3.127.560	2.183.662	1.507.318	7.884	35.810	3,6	23,8

AM	2.817.253	3.341.094	2.035.582	2.843.740	10.403	42.681	5,1	15,0
AP	477.032	613.166	296.194	588.412	14.637	6.065	49,4	10,3
BA	13.085.768	14.502.563	8.886.768	10.015.049	58.437	265.841	6,6	26,5
CE	7.431.597	8.450.528	2.595.639	7.675.549	12.848	126.651	4,9	16,5
DF	2.051.146	2.557.159	2.051.146	2.557.159	9.052	15.453	4,4	6,0
ES	3.097.497	3.453.646	2.710.174	3.242.343	9.125	53.850	3,4	16,6
GO	5.004.196	5.844.995	2.943.483	5.607.237	24.638	105.185	8,4	18,8
MA	5.657.553	6.305.537	3.090.572	4.634.046	23.871	124.236	7,7	26,8
MG	17.905.135	19.850.060	8.131.828	18.621.298	145.818	416.636	17,9	22,4
MS	2.078.070	2.336.060	895.568	2.159.647	5.694	60.723	6,4	28,1
MT	2.505.245	2.957.735	1.109.584	2.294.319	8.724	65.912	7,9	28,7
PA	6.195.965	7.321.490	4.403.069	5.823.606	14.673	105.435	3,3	18,1
PB	3.444.794	3.742.604	400.043	2.842.554	5.767	64.925	14,4	22,8
PE	7.929.153	8.734.196	4.683.467	7.630.143	30.587	124.730	6,5	16,3
PI	2.843.427	3.119.698	456.914	2.528.992	7.848	75.939	17,2	30,0
PR	9.564.643	10.590.171	3.865.769	9.155.987	34.164	191.917	8,8	21,0
RJ	14.392.106	15.872.362	11.904.509	15.711.740	40.552	229.962	3,4	14,6
RN	2.777.509	3.106.436	436.548	2.925.703	17.885	83.144	41,0	28,4
RO	1.380.952	1.493.565	665.264	1.159.348	6.643	19.385	10,0	16,7
RR	324.397	412.783	308.387	20.657	986	733	3,2	35,5
RS	10.187.842	10.855.228	1.883.922	8.079.147	19.674	187.429	10,4	23,2
SC	5.357.862	6.052.587	2.311.987	5.481.028	17.338	118.626	7,5	21,6
SE	1.784.829	1.999.374	247.114	1.671.082	5.950	41.770	24,1	25,0
SP	37.035.455	41.011.638	26.285.174	38.217.107	947.759	644.284	36,1	16,9
TO	1.157.690	1.280.513	658.614	1.125.434	4.563	34.018	6,9	30,2
BR	169.872.854	189.612.823	95.824.398	164.759.765	1.486.469	3.251.787	11,9	21,3

Fonte: Populações (IBGE, 1991b; 2000b; 2008a, 2012; 2023d; 2024b); PNSB (IBGE, 2000a; 2008b).

Para suprir as lacunas na série histórica, as frações de cada UF observadas para o ano 2000 foram mantidas nos anos anteriores (1990 a 2000) e as frações observadas em 2008 foram mantidas nos anos posteriores (2008 a 2022), sendo que entre os anos 2000 e 2008 foi realizada interpolação linear. Finalmente, uma vez obtida a fração da população da UF atendida com coleta de CW, foi calculada a população da UF com serviço de coleta (Pop_{CW}) para os anos faltantes. Os resultados nacionais representam a soma das populações estaduais (Tabela 8.5).

Procedimento análogo foi adotado para estimar a taxa *per capita* anual de CW em cada UF. A taxa *per capita* de geração de CW observada para cada UF foi calculada pela razão entre massa coletada e população geradora nos anos 2000 e 2008. Para suprir as lacunas na série histórica, as taxas estaduais observadas para o ano 2000 foram mantidas nos anos anteriores (até 1990) e as taxas estaduais observadas em 2008 foram mantidas nos anos posteriores (até 2016), sendo que entre os anos 2000 e 2008 foi realizada interpolação linear.

Tabela 8.5. Quantidades anuais de resíduo da saúde coletado e incinerado no Brasil (1990-2022).

Ano	CW coletado	CW incinerado	Ano	CW coletado	CW incinerado
	Mg CW ano ⁻¹			Mg CW ano ⁻¹	
1990	1.251.041	125.104	2007	2.930.456	293.046
1991	1.272.790	127.279	2008*	3.251.785	325.179
1992	1.293.529	129.353	2009	3.283.361	328.336

1993	1.315.734	131.573	2010	3.270.428	327.043
1994	1.335.379	133.538	2011	3.297.866	329.787
1995	1.354.523	135.452	2012	3.324.348	332.435
1996	1.370.420	137.042	2013	3.445.368	344.537
1997	1.394.581	139.458	2014	3.474.554	347.455
1998	1.415.109	141.511	2015	3.502.794	350.279
1999	1.435.670	143.567	2016	3.530.160	353.016
2000*	1.486.463	148.646	2017	3.556.624	355.662
2001	1.665.330	166.533	2018	3.568.968	356.897
2002	1.852.825	185.283	2019	3.596.502	359.650
2003	2.051.295	205.129	2020	3.623.348	362.335
2004	2.292.556	229.256	2021	3.649.456	364.946
2005	2.522.287	252.229	2022	3.484.849	348.485
2006	2.764.145	276.415			

Notas: * Anos com valores observados na Pesquisa Nacional do Saneamento (IBGE, 2000; 2008), para todos os outros anos os valores foram estimados.

Sobre a geração de Lodo de Esgoto Doméstico (S-DWW, sigla em inglês) (Mg DBO ano⁻¹), foi considerado que toda a massa de lodo de esgoto proveniente do tratamento de águas residuárias domésticas gerada é depositada em SWDS. A massa de lodo depositada em SWDS é proveniente do cálculo do “componente orgânico removido como lodo S-DWW” na categoria Tratamento de Águas Residuárias Domésticas (5.D.1).

Para as estimativas de metano recuperado (R) (Mg ano⁻¹) foram consultados os relatórios de verificação dos projetos sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) de queima de gás de aterro (UNFCCC, 2024).¹²⁰ Foram identificados 51 projetos em operação entre os anos de 2003 e 2022, sendo que 37 apresentaram relatório de monitoramento de recuperação de metano, os quais foram considerados nos cálculos deste subsetor (Tabela 8.6).

Tabela 8.6. Metano recuperado em projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) em aterros sanitários (2003-2022^a).

Cód. Projeto UNFCCC	Projeto (nomes em inglês)	Município	UF	R ^b	
				Mg CH ₄	%
4211	Manaus Landfill Gas Project	Manaus	AM	160.294,3	3,75%
52	Salvador da Bahia Landfill Gas Management Project	Salvador	BA	454.947,2	10,65%
893	Canabrava Landfill Gas Project	Salvador	BA	451,7	0,01%
1626	Feira de Santana Landfill Gas Project	Feira de Santana	BA	1.612,0	0,04%
10261	Oeste de Caucaia Landfill Project Activity	Fortaleza	CE	124.911,5	2,92%
137	Brazil MARCA Landfill Gas to Energy Project	Cariacica	ES	4.943,8	0,12%
1491	CTRVV Landfill emission reduction project	Vila Velha	ES	39.941,6	0,93%
8242	CTR Rosario Landfill Gas Project	Rosário	MA	7.352,1	0,17%
3464	Exploitation of the biogas from Controlled Landfill in Solid Waste Management Central – CTRS	Belo Horizonte	MG	35.353,8	0,83%
7110	Uberlândia landfills I and II	Uberlândia	MG	49.112,0	1,15%
9063	MACAÚBAS LANDFILL GAS PROJECT	Sabará	MG	73.655,4	1,72%
888	Aurá Landfill Gas Project	Belém	PA	120.859,7	2,83%

¹²⁰ UNFCCC, 2024. Metodologias (ACM0001, ACM0002, AM0002, AM0003, AM0011) sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (em inglês, *Clean Development Mechanism* – CDM) do Protocolo de Quioto. Link para pesquisa de projetos: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>.

Cód. Projeto UNFCCC	Projeto (nomes em inglês)	Município	UF	R ^b	
				Mg CH ₄	%
1165	PROBIOGAS-JP – João Pessoa Landfill Gas Project	João Pessoa	PB	31.115,0	0,73%
3958	CTR Candeias Landfill Gas Project	Recife	PE	81.773,4	1,91%
8	Brazil NovaGerar Landfill Gas to Energy Project	Nova Iguaçu	RJ	162.781,0	3,81%
6573	Caixa Econômica Federal Solid Waste Management and Carbon Finance Project	São Gonçalo	RJ	168.466,6	3,94%
648	Central de Resíduos do Recreio Landfill Gas Project (CRRLGP)	Minas do Leão	RS	187.388,6	4,39%
9290	ITVR Sao Leopoldo landfill gas project	São Leopoldo	RS	6.895,7	0,16%
1506	Proactiva Tijuquinhas Landfill Gas Capture and Flaring project	Biguaçu	SC	70.785,4	1,66%
9943	Canhanduba Landfill Project	Balneário Camburiú	SC	4.501,0	0,11%
91	Landfill Gas to Energy Project at Lara Landfill, Mauá, Brazil	Mauá	SP	89.931,9	2,10%
27	Onyx Landfill Gas Recovery Project – Trémembé, Brazil	Tremembé	SP	18.801,7	0,44%
165	ESTRE's Paulínia Landfill Gas Project (EPLGP)	Paulínia	SP	385.305,7	9,02%
171	Caieiras landfill gas emission reduction	Caieiras	SP	701.877,1	16,43%
164	Bandeirantes Landfill Gas to Energy Project (BLFGE)	São Paulo	SP	295.233,3	6,91%
226	Anaconda Landfill Gas Project	Santa Isabel	SP	3.132,6	0,07%
373	São João Landfill Gas to Energy Project (SJ)	São Paulo	SP	140.572,5	3,29%
1179	Embralixo/Araúna – Bragança Landfill Gas Project	Bragança Paulista	SP	15.675,6	0,37%
1636	Alto-Tietê landfill gas capture project	Itaquaquecetuba	SP	20.696,6	0,48%
1133	Terrestre Ambiental Landfill Gás Project	Santos	SP	28.072,6	0,66%
911	ESTRE Itapevi Landfill Gas Project (EILGP)	Itapevi	SP	41.513,9	0,97%
1134	ESTRE Pedreira Landfill Gás Project (EPLGP)	Tremembé	SP	258.238,7	6,04%
1247	URBAM/ARAUNA – Landfill Gas Project (UALGP)	São José dos Campos	SP	54.562,1	1,28%
5947	CTL Landfill Gas Project	São Paulo	SP	354.573,8	8,30%
8751	Proactiva CGA Iperó Landfill Gas to Energy Project	Iperó	SP	1.025,0	0,02%
6553	CGR Guatapara Landfill Project	Guataparã	SP	50.694,6	1,19%
7799	Projeto de Gás de Aterro TECIPAR – PROGAT	Santana de Parnaíba	SP	25.923,3	0,61%
TOTAL DO METANO RECUPERADO Mg CH₄ (2003-2022)				4.272.973	100%

Nota: ^a Valores 2021-2022 foram estimados com extrapolação linear dos últimos cinco anos; ^b Metano recuperado (R): valor acumulado desde o início de operação do projeto (UNFCCC, 2024).

Para os anos de 2021 e 2022, quando os projetos de recuperação de metano não reportaram dados e o prazo de encerramento dos projetos é posterior ao ano 2022, as emissões recuperadas de metano foram estimadas, quando necessário, até o prazo de dezembro de 2022. Para extrapolar as recuperações, foram selecionados projetos que atendiam as metodologias relacionadas à recuperação em aterros sanitários (ACM0001, ACM0002, AM0002, AM0003, AM0011), que previam períodos de créditos com data de encerramento após o ano de 2022, e que apresentaram no mínimo três anos de dados observados nos últimos 5 anos. Os projetos de códigos 64 e 373 (Tabela 8.6) apresentaram dados observados para 2021, sendo assim extrapoladas apenas as remoções de 2022. Para os projetos 1506, 1247, 1491, 3464, com datas de encerramento entre o primeiro e último dia do ano, as remoções foram contabilizadas proporcionalmente aos dias de operação. Os projetos 6553 e 8751 apresentaram valores constantes que foram mantidos para estimar a recuperação de metano (2021-2022).

Diante disso, foi estimada uma recuperação de 336,2 kt de CH₄ em aterros sanitários em 2022, o que contribuiu com uma diminuição de 15% do total de emissão do subsetor (Figura 8.4).

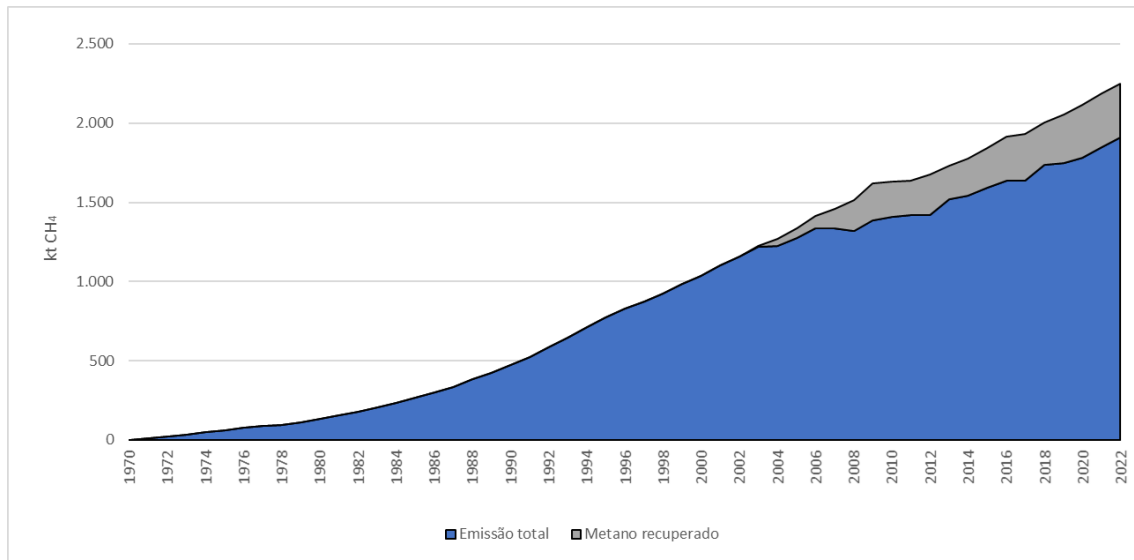


Figura 8.4. Emissões totais do Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A), considerando as emissões evitadas por metano recuperado em projetos MDL.

Os principais parâmetros e fatores de emissão aplicados neste subsetor estão relacionados ao tipo de resíduo, ao tipo de disposição final e às características climáticas da região de disposição. A composição dos resíduos enviados aos SWDS indica a fração de carbono orgânico degradável (DOC) passível de decomposição e de transformação em CH_4 . O valor de DOC é o produto entre a composição gravimétrica (percentual de papel, têxteis, restos de alimento, madeira, restos de poda, fralda descartável, borracha e couro, vidro, metal, plástico, outros, etc.) e a massa de carbono existente em cada fração (Quadro 8.5).

Quadro 8.5. Equação para estimar a fração de carbono orgânico degradável (DOC).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 8.6	CO_2	5.A.1 5.A.2	$\text{DOC} = \sum_i (\text{DOC}_i * W_i)$	Equação 3.7 (IPCC, 2006, v.5, cap. 3)

Em que:

DOC = carbono orgânico degradável no ano de deposição ($\text{Gg C Gg resíduo}^{-1}$);
 DOC_i = carbono orgânico degradável no ano de deposição em cada categoria de resíduo i ($\text{Gg C Gg resíduo}^{-1}$);
 W_i = proporção gravimétrica por categoria de resíduo i (fração); e
 i = categoria de resíduo.

Para outros fatores de emissão foram aplicados valores padrões sugeridos nas Diretrizes do IPCC, como para o conteúdo de carbono de cada fração gravimétrica de MSW (IPCC, 2006; v. 5, cap. 2, p. 2.14, Tabela 2.4), por tipo de resíduo, incluindo valores específicos para a destinação de lodo de esgoto doméstico (S-DWW) a partir da massa de DBO disposta e resíduo provenientes dos serviços de saúde (CW) (IPCC, 2006; v. 5, cap. 2, p. 2.16, Tabela 2.6). Em decorrência da lacuna de dados nacionais da fração de carbono orgânico degradável decomponível (DOC_f) (IPCC, 2006; v. 5, cap. 3, p. 3.13), foi utilizado o valor-padrão 0,5 indicado para países em desenvolvimento.

Pela mesma razão foram determinados os valores de 0,5 para a fração de CH_4 no gás de aterro (F) (IPCC, 2006; v. 5, cap. 3, p. 3.15) e zero para o fator de oxidação (OX) (IPCC, 2006; v. 5, cap. 3, p. 3.15, Tabela 3.2). Dois valores de OX são apresentados nas Diretrizes IPCC (2006), zero e 0,1. Este último é recomendado apenas para locais muito bem gerenciados, em que os resíduos são diariamente cobertos com material que permita a oxigenação e oxidação do CH_4 , ou mesmo pela injeção de ar nas camadas superficiais, manejo inexistente no Brasil.

Os valores de composição gravimétrica do MSW foram compilados da literatura acadêmica (artigos científicos, anais de congresso, livros e teses) e de planos estaduais de resíduos sólidos. O conjunto de informações consultadas abrangeu o período entre 1963 e 2018, totalizando 520 observações municipais distribuídas em 92 referências (Brasil, 2015). A partir dos dados médios observados na literatura, foi realizada a interpolação linear das séries municipais de composição gravimétrica, cálculo da média ponderada pela população dos respectivos municípios em cada ano para cada um dos âmbitos (estadual, regional e nacional) e seleção da composição gravimétrica referente ao nível hierárquico mais baixo disponível em cada ano para cada UF. Dessa forma, quando havia observação para a UF no ano avaliado, o valor médio foi utilizado (UF – estadual). Não havendo valor médio para a UF no ano avaliado, foi utilizado o valor médio da região demográfica (RE – regional). Não havendo dado médio para a região demográfica no ano avaliado, foi utilizado o valor médio nacional (BR – nacional) (Tabela 8.7). Dada a lacuna de dados para os anos mais recentes, para determinar as composições gravimétricas entre 2017 e 2022 foram mantidas as proporções estaduais de cada categoria de resíduos determinadas para o ano de 2016.

Tabela 8.7. Composição gravimétrica do MSW nas UF's brasileiras, para o período entre 1970 e 2016 - Média (mín-máx).

UF	Papel	Têxteis	Restos de Alimento	Madeira	Restos de poda	Fralda descartável	Borracha e Couro	Plásticos	Outros
Percentual (%)									
AC	22,5 (10,0 – 33,7)	1,2 (0 – 2,6)	45,2 (19,1 – 58,7)	2,0 (0 – 4,6)	0,4 (0 – 1,9)	0,1 (0 – 1,1)	0,6 (0 – 1,7)	9,9 (1,5 – 18,0)	18,1 (7,7 – 39,8)
AL	19,3 (6,2 – 33,7)	1,8 (0 – 3,2)	46,4 (19,1 – 72,7)	1,5 (0 – 4,6)	0,4 (0 – 1,9)	-	0,4 (0 – 1,2)	10,2 (1,5 – 21,4)	19,7 (10,6 – 36,1)
AM	22,7 (10,0 – 33,7)	1,3 (0 – 2,6)	45,0 (19,1 – 58,7)	2,1 (0,1 – 4,6)	0,4 (0 – 1,9)	0,1 (0 – 1,1)	0,6 (0 – 1,7)	10,0 (1,5 – 18,5)	17,9 (7,7 – 39,8)
AP	22,4 (10,0 – 33,7)	1,2 (0 – 2,6)	45,1 (19,1 – 58,7)	2,0 (0 – 4,6)	0,4 (0 – 1,9)	0,1 (0 – 1,1)	0,6 (0 – 1,7)	9,8 (1,5 – 18,0)	18,4 (7,7 – 39,8)
BA	19,1 (5,3 – 33,7)	1,8 (0 – 4,2)	46,0 (19,1 – 72,7)	1,2 (0 – 4,6)	0,4 (0 – 1,9)	0,7 (0 – 6,5)	0,4 (0 – 1,5)	10,4 (1,5 – 21,7)	19,8 (8,9 – 36,1)
CE	19,1 (2,4 – 33,7)	1,6 (0 – 4,2)	46,0 (19,1 – 72,7)	1,2 (0 – 4,6)	0,6 (0 – 1,9)	0,3 (0 – 3,4)	0,4 (0 – 0,9)	9,6 (1,5 – 16,4)	21,0 (10,6 – 43,6)
DF	21,8 (11,7 – 33,7)	1,7 (0,1 – 3,6)	37,7 (19,1 – 51,3)	1,7 (0,1 – 4,6)	-	-	1,2 (0,1 – 2,6)	3,8 (0,2 – 7,5)	31,6 (24,3 – 36,6)
ES	22,0 (10,7 – 33,7)	1,2 (0 – 2,5)	47,7 (19,1 – 63,4)	1,1 (0 – 4,6)	0,6 (0 – 2,2)	0,1 (0 – 1,1)	0,3 (0 – 1,2)	10,2 (1,5 – 20,9)	16,5 (8,0 – 36,1)
GO	21,1 (4,5 – 33,7)	2,0 (0 – 5,9)	40,2 (19,1 – 68,2)	1,7 (0 – 4,6)	0,1 (0 – 1,1)	0,1 (0 – 2,7)	1,1 (0 – 2,6)	6,1 (0,2 – 16,4)	27,3 (5,9 – 37,4)
MA	18,9 (5,8 – 33,7)	1,6 (0 – 4,2)	47,0 (19,1 – 76,2)	1,1 (0 – 4,6)	0,6 (0 – 1,9)	0,4 (0 – 3,4)	0,4 (0 – 0,9)	9,7 (1,5 – 16,4)	20,2 (5,9 – 36,1)
MG	20,8 (8,8 – 33,7)	1,1 (0 – 2,0)	49,0 (19,1 – 68,1)	0,9 (0 – 4,6)	0,7 (0 – 4,5)	0,1 (0 – 1,1)	0,2 (0 – 0,6)	9,2 (1,5 – 20,9)	18,2 (3,4 – 41,7)
MS	20,3 (11,4 – 33,7)	2,0 (0 – 4,7)	44,8 (19,1 – 66,4)	1,6 (0 – 4,6)	0,1 (0 – 0,9)	0,1 (0 – 0,8)	1,0 (0 – 2,6)	7,8 (0,2 – 18,4)	22,1 (1,8 – 38,0)
MT	21,0 (10,7 – 33,7)	3,1 (0 – 12,1)	35,5 (19,1 – 51,3)	1,9 (0 – 4,6)	0,8 (0 – 6,0)	-	1,1 (0 – 2,6)	7,9 (0,2 – 16,7)	28,4 (7,2 – 47,1)
PA	22,1 (4,0 – 33,7)	1,2 (0 – 2,6)	44,8 (19,1 – 58,7)	1,9 (0 – 4,6)	0,4 (0 – 1,9)	0,1 (0 – 1,1)	0,6 (0 – 1,7)	9,7 (1,5 – 18,0)	19,3 (7,7 – 43,2)
PB	18,9 (3,7 – 33,7)	1,7 (0 – 5,9)	46,7 (19,1 – 72,7)	1,2 (0 – 4,6)	0,5 (0 – 1,9)	0,7 (0 – 7,9)	0,4 (0 – 0,9)	9,4 (0 – 24,8)	20,3 (8,1 – 39,3)
PE	19,6 (6,2 – 33,7)	1,4 (0 – 4,2)	47,9 (19,1 – 72,7)	1,1 (0 – 4,6)	0,5 (0 – 1,9)	0,2 (0 – 3,4)	0,3 (0 – 0,7)	8,8 (1,5 – 16,4)	20,0 (10,6 – 36,1)
PI	19,1 (6,2 – 33,7)	1,7 (0 – 4,2)	46,1 (19,1 – 72,7)	1,2 (0 – 4,6)	0,6 (0 – 1,9)	0,4 (0 – 3,4)	0,4 (0 – 0,9)	9,8 (1,5 – 16,4)	20,5 (10,6 – 36,1)
PR	18,2 (8,6 – 33,7)	1,8 (0 – 4,3)	43,1 (19,1 – 67,1)	1,0 (0 – 4,6)	1,2 (0 – 11,9)	0,8 (0 – 8,4)	0,8 (0 – 2,8)	10,1 (1,5 – 18,2)	23,2 (12,0 – 40,1)
RJ	27,0 (11,1 – 44,0)	1,8 (0 – 4,3)	41,0 (0 – 61,4)	1,6 (0 – 7,1)	2,0 (0 – 5,9)	0,1 (0 – 1,1)	0,4 (0 – 1,0)	11,7 (1,5 – 21,1)	14,4 (5,1 – 50,0)
RN	19,0 (5,1 – 33,7)	1,9 (0 – 4,2)	42,0 (19,1 – 72,7)	1,2 (0 – 4,6)	1,6 (0 – 10,6)	0,2 (0 – 3,4)	0,4 (0 – 0,7)	9,9 (1,5 – 16,4)	23,7 (10,6 – 41,9)
RO	22,4 (10,0 – 33,7)	1,2 (0 – 2,6)	45,2 (19,1 – 58,7)	2,0 (0 – 4,6)	0,4 (0 – 1,9)	0,1 (0 – 1,1)	0,6 (0 – 1,7)	10,0 (1,5 – 18,0)	18,1 (7,7 – 39,8)
RR	22,5 (10,0 – 33,7)	1,2 (0 – 2,6)	45,0 (19,1 – 58,7)	2,0 (0 – 4,6)	0,4 (0 – 1,9)	0,1 (0 – 1,1)	0,6 (0 – 1,7)	10,0 (1,5 – 19,0)	18,2 (7,7 – 39,8)
RS	18,5 (10,0 – 33,7)	2,6 (0,1 – 8,5)	42,6 (19,1 – 58,4)	1,1 (0 – 4,6)	0,9 (0 – 11,9)	0,6 (0 – 8,4)	0,7 (0 – 2,8)	9,5 (1,5 – 20,9)	23,7 (9,0 – 40,1)
SC	19,9 (11,2 – 33,7)	2,1 (0,4 – 4,3)	40,7 (19,1 – 59,3)	1,1 (0,1 – 4,6)	1,8 (0 – 11,9)	1,3 (0 – 8,4)	1,0 (0,1 – 2,8)	10,9 (1,5 – 18,1)	21,3 (8,5 – 40,1)
SE	19,1 (6,2 – 33,7)	1,9 (0 – 9,1)	46,2 (19,1 – 72,7)	1,1 (0 – 4,6)	0,6 (0 – 1,9)	0,4 (0 – 3,4)	0,4 (0 – 0,9)	10,0 (1,5 – 18,5)	20,3 (4,8 – 36,1)
SP	19,1 (9,2 – 30,5)	1,6 (0 – 9,7)	50,0 (31,0 – 68,8)	1,0 (0 – 4,3)	0,1 (0 – 1,6)	0,1 (0 – 5,2)	0,2 (0 – 0,9)	11,1 (1,5 – 21,7)	16,8 (2,2 – 37,6)
TO	22,4 (6,9 – 33,7)	1,2 (0 – 2,6)	45,5 (19,1 – 79,6)	1,9 (0 – 4,6)	0,4 (0 – 1,9)	0,1 (0 – 1,1)	0,6 (0 – 1,7)	10,0 (1,5 – 25,2)	17,9 (4,0 – 39,8)

Nota: Os valores representados são os observados e estimados a partir da literatura nacional conforme descrito no texto.

Valores distintos da constante de geração de metano (k) estão associados à composição do resíduo e ao regime de temperatura e umidade da região em que o SWDS está localizado. Não foram identificados valores nacionais de k. Desse modo, foram utilizados os valores médios-padrão correspondentes ao decaimento das frações gravimétricas de MSW e da composição média de CW e S-DWW nas distintas regiões climáticas, conforme reproduzido na Tabela 8.8 (IPCC, 2006; v. 5, cap. 2, p. 3.17, Tabela 3.3).

Tabela 8.8. Valores-padrão recomendados para a taxa de geração de metano (k).

Velocidade de decomposição	Tipo de resíduo	Temperado		Tropical	
		Seco	Úmido	Seco	Úmido
Lenta	Papel e Papelão	0,04	0,06	0,045	0,07
	Têxteis	0,04	0,06	0,045	0,07
	Madeira	0,02	0,03	0,025	0,035
	Borracha e Couro	0,02	0,03	0,025	0,035
Moderada	Podas	0,05	0,10	0,065	0,17
	Fraldas	0,05	0,10	0,065	0,17
Rápida	Restos de Alimento	0,06	0,185	0,085	0,40
	S-DWW	0,06	0,185	0,085	0,40
Mistura	MSW	0,05	0,09	0,065	0,17
	ISW-CW	0,05	0,09	0,065	0,17

Fonte: Elaborado a partir de IPCC (2006, v. 5, cap. 3, p. 3.17, Tabela 3.3).

A classificação da região climática dos municípios brasileiros foi realizada por meio da avaliação das variáveis climáticas temperatura média anual (MAT, sigla em inglês), precipitação média anual (MAP, sigla em inglês) e potencial de evapotranspiração (PET), conforme preconizado nas diretrizes do IPCC (2006). Os dados municipais dessas variáveis foram obtidos para a série histórica de 1970 a 2010. Para a classificação, foi utilizado apenas o valor médio de cada variável da série histórica do município (Brasil, 2015). A partir da classificação dos municípios, foi realizado o cálculo da representatividade da população residente em cada região climática em relação à população total da UF, anualmente, de 1970 a 2022. A partir da classificação dos municípios, foi realizado o cálculo da representatividade da população residente em cada região climática em relação à população total da UF, anualmente, de 1970 a 2022. Tal cálculo deve ser realizado uma vez que os municípios possuem taxas de crescimento populacional distintas, de modo que a cada ano representam uma parcela distinta dentro da população total (Tabela A.VIII.1, Apêndice VIII).

O fator de correção de metano (MCF) está associado à qualidade de operação do local de disposição final. Quanto maior o gerenciamento, maior a capacidade de promover anaerobiose, e, consequentemente, de geração e emissão de CH₄ (IPCC, 2006, v. 5, cap. 3, item 3.2.3, Tabela 3.1). A descrição dos locais de disposição final (SWDS) indica uma classificação para aterros sanitários (*Managed – anaerobic*), mas não especifica classificação para aterros controlados e vazadouros. Dessa forma, aterros controlados e vazadouros foram classificados como “não categorizados”, uma vez que não existem características desses locais suficientes para possibilitar classificação em qualquer outra categoria. Portanto, considerou-se a existência no Brasil apenas de locais manejados (aterros sanitários) com MCF igual a 1 e locais não categorizados (aterros controlados e vazadouros) com MCF igual a 0,6 (IPCC, 2006; v. 5, cap. 3, Tabela 3.1, p. 3.14) (Tabela A.VIII.2, Apêndice VIII).

8.3.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A) são citados na Seção 2.5 deste documento.

8.3.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada uma análise da incerteza usando os métodos e técnicas de Monte Carlo descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CH₄ da Disposição de Resíduos Sólidos (5.A) é apresentada no Apêndice II.

O processo de atualização do Inventário Nacional do Setor Resíduos considerou a revisão das séries históricas de dados atividade, processo que resultou em ajustes, embora sutis, nas estimativas de emissões das categorias de Disposição de Resíduos Sólidos (5.A). Em síntese, foram reavaliados:

- *Dados populacionais (1970-2016)*: Os dados populacionais foram revistos e um novo modelo de regressão quadrático foi aplicado para estimar as populações totais estaduais para os anos em que não existiam dados oficiais observados ou estimados (1971-1979; 1981-1990) do IBGE;
- *População atendida com coleta (anos faltante)*: Com base nos dados observados no PNAD/PNADC, foram realizadas estimativas a partir de regressão linear simples entre 1970-2022; e
- *Recuperação de metano (2003-2022)*: Foram atualizadas as reduções de metano reportadas entre 2003 e 2020 nos projetos MDL (UNFCCC, 2024). Como citado anteriormente, as recuperações de metano para os anos de 2021 e 2022 foram estimadas a partir de extrapolação linear com base nos dados observados nos anos anteriores.

Comparando os resultados consolidados do Inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, a maior proporção dos ajustes é verificada em 2020 com 13% de diferença entre emissões estimadas. Este ajuste está relacionado com a atualização dos valores de projetos MDL, principalmente no ano de 2020. As emissões de GEE estimadas entre 2017 e 2020 para o Setor Resíduos em Brasil (2022) não foram obtidas a partir dos dados de atividades emissoras, mas sim da extrapolação dos valores dos últimos cinco anos (2012-2016) apresentados na Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2021). Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de 10%, e no período de 1990 a 2020, de 6%, assim demonstrando a consistência da série temporal do subsetor. Entre todos os anos da série histórica o principal fator que influenciou as diferenças entre as publicações está relacionado ao recálculo dos valores populacionais e principalmente a atualização dos valores de recuperação de CH₄ em projetos MDL (Figura 8.5).

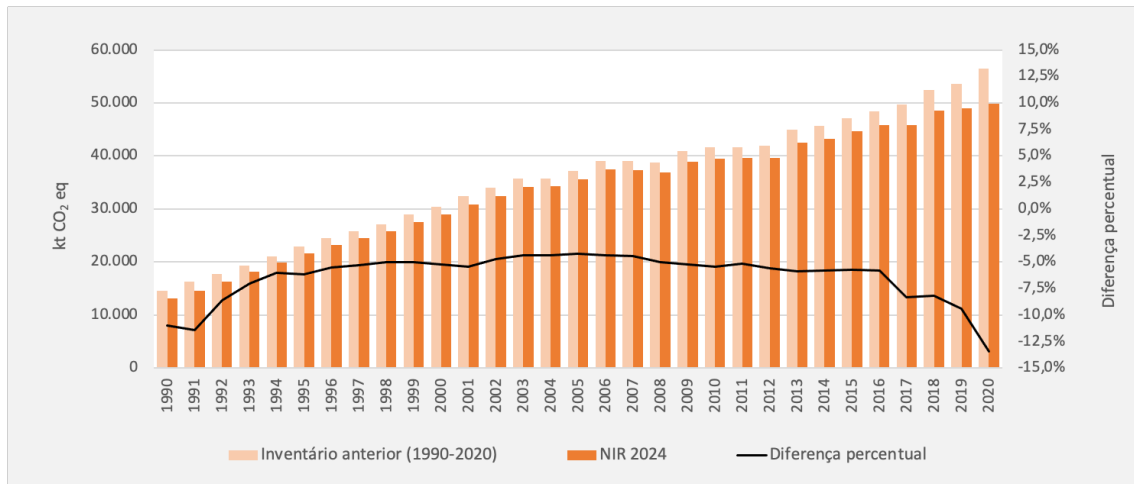


Figura 8.5. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A) entre os inventários.

8.3.4 Plano de melhoria

A elaboração sistemática dos Inventários Nacionais de GEE permitiu acumular conhecimento que permite propor medidas, visando ao aprimoramento dos resultados do Inventário, no particular, da Disposição de Resíduos Sólidos (5.A).

O Quadro 8.6 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para implementação em futuras edições do inventário deste subsetor.

Quadro 8.6. Melhorias potencialmente aplicáveis a futuras edições do Inventário de Emissões do Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A).

Subsetor	Categoria	Melhoria
	Geral (todas as categorias)	- Alinhar parcerias com instituições responsáveis pelo gerenciamento dos dados do SNIS, visando avaliar a possibilidade de propor métricas e padrões de qualidade de dados que atendam às exigências metodológicas de <i>Tier 2</i> no que se refere a coleta de dados municipais de geração, coleta e disposição de resíduos sólidos; - Ampliar estudos para exploração de informações disponíveis no banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR+) e em outras instituições, visando à análise de viabilidade do uso destes dados nos cálculos de emissões dos inventários futuros, permitindo inclusive a inclusão de informações referente à disposição dos resíduos industriais; - Alinhar parcerias com instituições de ensino e pesquisa, visando ao mapeamento de dados climáticos municipais que influenciam na degradação de resíduos sólidos; - Alinhar Acordo de Cooperação Técnica ou parceria, visando incentivar a produção e obtenção de novos dados das composições gravimétricas dos resíduos sólidos municipais com o objetivo de determinar novas categorias a partir dos diferentes perfis de geração de resíduos com base em dados econômicos e sociais, além das divisões político-administrativas municipais; - Alinhar Acordo de Cooperação Técnica ou parceria, visando incentivar a produção e obtenção de dados para a caracterização dos tipos de disposição de resíduos sólido nas quatro categorias-padrão (Manejado - anaeróbico; Manejado-semi anaeróbico; Não manejado profundo (>5m); e Não manejado raso (<5m)).

5.A. DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

5.A.1. Disposição de resíduos em locais manejados

- Ampliar estudos para exploração de informações de dados quantitativos de massa de resíduo disposta em aterros sanitários e da geração *per capita*, obtidos a partir do banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS);
- Promover o diálogo com empresas detentoras de projetos de MDL para acesso aos parâmetros-chave para cálculo das emissões/obtenção de estimativas de captura de metano.

5.A.3. Disposição de resíduos em locais não categorizados

- Ampliar estudos para exploração do banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), visando identificar indicadores que sinalizam o fechamento de locais não categorizados ao longo dos anos da série histórica.

8.4 Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (CRT 5.B)

O Subsetor Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B) contabiliza emissões de CH₄ e N₂O associadas ao processo aeróbio de compostagem, que estão relacionadas com a quantidade, o tipo e a composição do resíduo orgânico depositado. Esse Subsetor é subdividido em Compostagem (5.B.1) e Digestão Anaeróbia em Instalações de Biogás (5.B.2).

No Brasil, a geração de energia a partir da queima de biogás é declarada no Balanço Energético Nacional e tem suas emissões contabilizadas no Setor Energia (CRT 1). Entretanto as fontes de geração não são segregadas, impedindo o rastreamento das emissões decorrentes, exclusivamente do tratamento biológico de digestão anaeróbia em instalações de biogás. Para as queimas relacionadas ao *flare*, de acordo com a premissa do IPCC (2006), as emissões de CO₂ são de origem biogênica e as emissões de CH₄ e N₂O são pequenas, não sendo exigida sua estimativa.

As emissões referentes à categoria 5.B.1 de compostagem de resíduos sólidos urbanos foram estimadas em 61 kt CO₂ eq em 2022, que refletiu uma redução de 3%, se comparado com 2020 (Figura 8.6). As emissões de CH₄ e N₂O representaram 64% e 36% da emissão total em 2022, respectivamente.

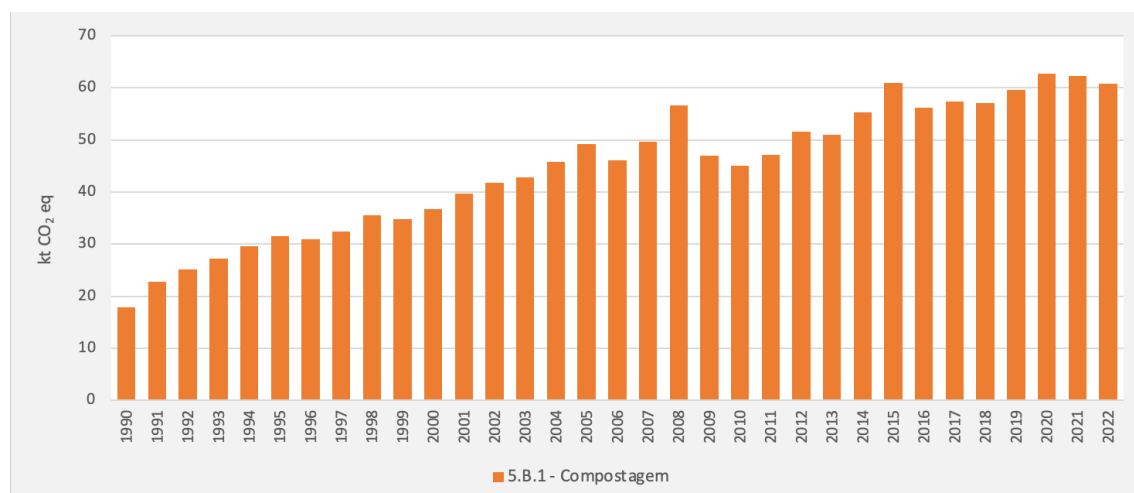


Figura 8.6. Emissões do Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

8.4.1 Aspectos metodológicos

Para o cálculo das emissões de CH₄ e N₂O do Subsetor Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B), foram utilizadas as equações 8.7 e 8.8, expostas no Quadro 8.7, com detalhamento metodológico *Tier 1*. A aplicação das equações segue os seguintes passos:

- Quantificação do resíduo coletado e depositado anualmente;
- Quantificação da fração da categoria de resíduo orgânico a partir da gravimetria;
- Quantificação da massa de resíduo orgânico tratado pelo tratamento biológico de compostagem; e
- Quantificação do CH₄ e do N₂O emitido a partir da multiplicação da quantidade de resíduo pelos respectivos fatores de emissão.

Quadro 8.7. Equações para estimar as emissões do Subsetor Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 8.7	CH ₄	5.B.1	$\text{CH}_4 \text{ emitido}_T = \sum_i (M * EF_{\text{CH}_4}) * 10^{-3} - R$	Equação 4.1 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 4)
Equação 8.8	N ₂ O	5.B.1	$\text{N}_2\text{O emitido}_T = \sum_i (M * EF_{\text{N}_2\text{O}}) * 10^{-3}$	Equação 4.2 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 4)

Em que:

CH₄ emitido_T = quantidade de CH₄ emitido no ano T (Gg CH₄ . ano⁻¹);
 N₂O emitido_T = quantidade de N₂O emitido no ano T (Gg N₂O . ano⁻¹);
 M = massa de resíduo orgânico com tratamento biológico de compostagem (Gg . ano⁻¹);
 EF = fatores de emissão para tratamento de compostagem (g CH₄ kg⁻¹ resíduo tratado / g N₂O kg⁻¹ resíduo tratado); e
 R = quantidade total de CH₄ recuperado no ano T (Gg CH₄ . ano⁻¹).

Dados de atividades e outros parâmetros

Para estimar a massa de resíduo orgânico encaminhada para compostagem foram obtidos os valores anuais da massa de MSW coletada anualmente (MSW_{coletado}, Mg ano⁻¹), a partir do produto entre população com coleta de MSW e taxa diária *per capita* de geração de MSW.¹²¹ A fração orgânica presente na massa de MSW foi calculada a partir das frações gravimétricas de restos de alimentos e podas. Referente aos valores das composições gravimétricas para os anos entre 2017 e 2022, foram mantidas as proporções estaduais de cada categoria de resíduos determinadas para 2016.

Com base nos dados de destinação final do MSW apresentados na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) (IBGE, 1994; 2000a; 2008b), foi considerada a fração média de compostagem nacional de 1%. Essa porcentagem foi aplicada à massa de resíduos orgânicos para calcular a massa de resíduos compostados. As emissões de CH₄ e N₂O são resultado do produto entre massa compostada de MSW e seus respectivos fatores de emissão-padrão (Quadro 8.8).

Quadro 8.8. Fatores de emissão do tratamento biológico de resíduos sólidos.

Categorias	Parâmetro	Fatores de emissão	Referência
5.B.1	EF CH ₄	4,0 $\frac{\text{g}}{\text{kg MSW}}$	Tabela 4.1 (IPCC, 2006, v. 5, cap.4)

¹²¹ Referências e metodologia de cálculo dos dados populacionais e taxas de geração per capita estão descritas na Seção 8.3.1. Aspectos metodológicos do subsetor Disposição de Resíduos Sólidos.

5.B.1	EF N ₂ O	0,24 $\frac{\text{g}}{\text{kg MSW}}$	Tabela 4.1 (IPCC, 2006, v. 5, cap.4)

8.4.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B) são citados na Seção 2.5 deste documento.

8.4.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada uma análise da incerteza usando os métodos e as técnicas de Monte Carlo descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CH₄ e N₂O do Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B) é apresentada no Apêndice II.

O processo de atualização do Inventário considerou a revisão das séries históricas de dados atividade que resultou em ajustes, embora sutis, nas estimativas de emissões do Subsetor Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B). Em síntese, foram reavaliados:

- *Dados populacionais (1990-2016)*: Revisão de quantidade total de habitantes e ajuste dos dados de habitantes que são atendidos pelo serviço de coleta também foram ajustados, ambas as descrições constam no item de recálculos para o Subsetor 5.A; e
- *Composição gravimétrica (2017-2022)*: Foram mantidos os valores de composição gravimétrica do ano de 2016.

Considerando os resultados consolidados do Inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, a maior proporção dos ajustes é verificada em 2018, com 21% de diferença entre emissões estimadas. As emissões de GEE estimadas entre 2017 e 2020 para o Setor Resíduos em Brasil (2022) não foram obtidas a partir dos dados de atividades emissoras, mas sim da extrapolação dos valores dos últimos cinco anos (2012-2016) apresentados na Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2021). Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de 19%, e no período de 1990 a 2020, de 8%, assim demonstrando a consistência da série temporal do subsetor (Figura 8.7).

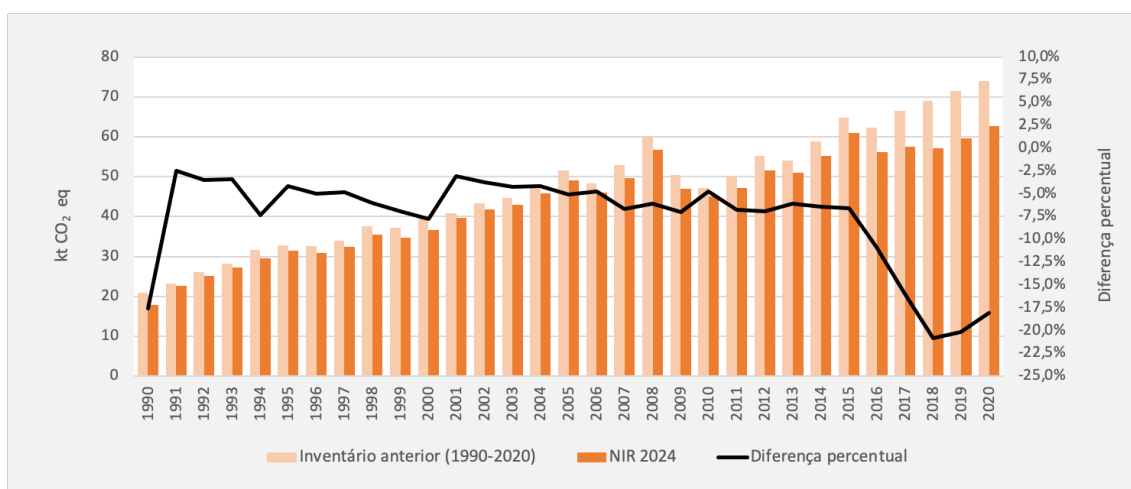


Figura 8.7. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B) entre os inventários.

8.4.4 Plano de melhoria

A elaboração sistemática dos Inventários Nacionais de GEE permitiu acumular conhecimento que possibilita propor medidas, visando ao aprimoramento dos resultados do Inventário do Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B).

O Quadro 8.9 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para implementação em futuras edições do inventário deste subsetor.

Quadro 8.9. Melhorias potencialmente aplicáveis a futuras edições do Inventário de Emissões do Subsetor Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B).

Subsetor	Categoria	Melhoria
5.B. TRATAMENTO BIOLÓGICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	Geral (todas as categorias)	Alinhar Acordo de Cooperação Técnica ou parceria, visando incentivar a produção e obtenção de novos dados das composições gravimétricas dos resíduos sólidos municipais com o objetivo de determinar novas categorias a partir dos diferentes perfis de geração de resíduos com base em dados econômicos e sociais, além das divisões político-administrativas municipais.
	5.B.1. Compostagem	- Alinhar Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias com instituições responsáveis pelo gerenciamento dos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), visando incentivar o mapeamento de informações referente a práticas de compostagem de resíduos sólidos municipais; - Ampliar estudos para exploração de informações disponíveis no banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR+) e em outras bases de dados, visando à análise de viabilidade do uso destes dados nos cálculos de emissões dos inventários futuros, incluindo informações referentes à compostagem de resíduos sólidos municipais e de atividades industriais; - Alinhar parcerias com instituições público-privadas para avaliar a viabilidade da obtenção de dados de projetos de compostagem.
	5.B.2. Digestão Anaeróbia em Instalações de Biogás	Alinhar parcerias com instituições que operam plantas de produção de biogás, a fim de avaliar a possibilidade de quantificar a produção proveniente do tratamento anaeróbio dos resíduos sólidos.

8.5 Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (CRT 5.C)

O Subsetor Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C) compreende as emissões de CH₄, N₂O e CO₂ decorrentes do processo de combustão dos resíduos. As emissões variam de acordo com o tipo de queima, que pode ocorrer de forma controlada ou não, sendo também influenciadas pelas características populacionais, da quantidade de resíduo gerado e da composição gravimétrica do resíduo queimado. O Subsetor abrange Incineração de Resíduos (5.C.1) e Queima a Céu Aberto de Resíduos (5.C.2).

As emissões deste subsetor contabilizaram 1.224 kt CO₂ eq em 2022, sendo que 90% foram provenientes da Categoria Queima de Resíduos a Céu Aberto (5.C.2) (1.107 kt CO₂ eq). Houve diminuição de 8% das emissões desta categoria, se comparadas com 2020, em razão, principalmente, do aumento da reciclagem do plástico nesse período, o que possibilitou um menor incremento do carbono fóssil queimado (Brasil, 2021). As emissões pela Incineração de Resíduos (5.C.1) totalizaram 117 kt CO₂ eq em 2022, ou 10% do subsetor. Em 2022, as emissões de CH₄, N₂O e CO₂ do subsetor representaram 52%, 7% e 41%, respectivamente (Figura 8.8).

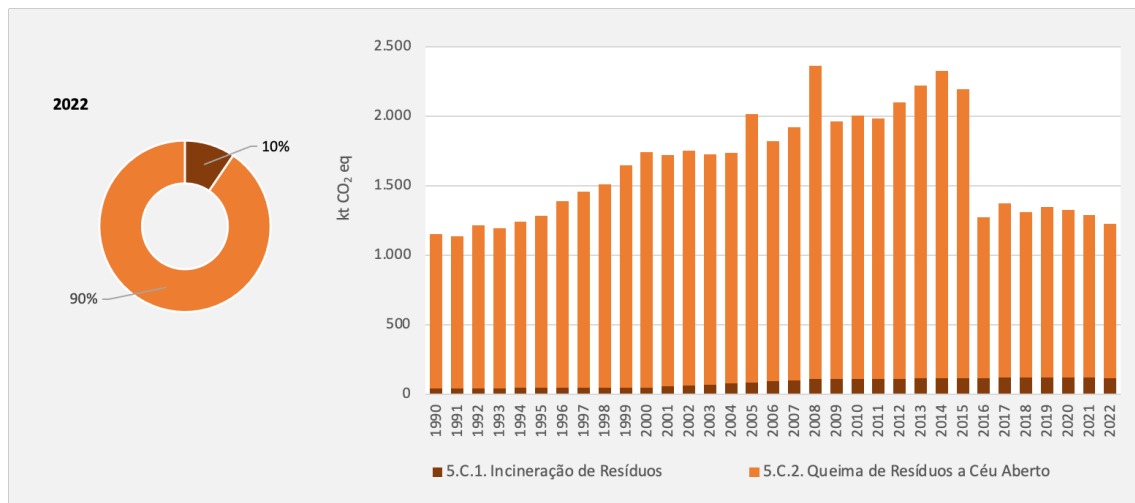


Figura 8.8. Emissões da Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

8.5.1 Aspectos metodológicos

Para o cálculo das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O do Subsetor Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C) foram utilizadas as equações 8.9 a 8.16, expostas no Quadro 8.10, com detalhamentos metodológicos *Tier 1* e *Tier 2a*. A aplicação das equações segue os seguintes passos:

- Obtenção da quantidade de resíduos coletados e depositado anualmente (MSW);
- Obtenção da quantidade de resíduos do serviço da saúde gerado anualmente (CW);
- Quantificação do resíduo queimado; e
- Quantificação do resíduo incinerado;
- Quantificação das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O das categorias 5.C.1 e 5.C.2.

Quadro 8.10. Equações para estimar as emissões do Subsetor Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 8.9	CO ₂	5.C.1	$CO_2 \text{ emitido}_{\text{incineração}} = \sum_i (SW_i * dm_i * CF_i * FCF_i * OF_i) * \frac{44}{12}$	Equação 5.1 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)
Equação 8.10	CO ₂	5.C.2	$CO_2 \text{ emitido}_{\text{queima}} = MSW * \sum_j (WF_j * dm_j * CF_j * FCF_j * OF_j) * \frac{44}{12}$	Equação 5.2 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)
Equação 8.11	CH ₄	5.C.2	$CH_4 \text{ emitido}_{\text{queima}} = \sum_i (IW_i * EF_i) * 10^{-6}$	Equação 5.4 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)
Equação 8.12	N ₂ O	5.C.1 5.C.2	$N_2O \text{ emitido}_{\text{incineração ou queima}} = \sum_i (IW_i * EF_i) * 10^{-6}$	Equação 5.5 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)
Equação 8.13	CO ₂	5.C.2	$MSW_B = P * P_{\text{frac}} * MSW_P * B_{\text{frac}} * 365 * 10^{-6}$	Equação 5.7 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)

Equação 8.14	CO ₂	5.C.2	$dm = \sum_i (WF_i * dm_i)$	Equação 5.8 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)
Equação 8.15	CO ₂	5.C.2	$CF = \sum_i (WF_i * CF_i)$	Equação 5.9 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)
Equação 8.16	CO ₂	5.C.2	$FCF = \sum_i (WF_i * FCF_i)$	Equação 5.10 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)

Em que:

CO₂ emitido incineração T = quantidade de CO₂ emitido a partir da incineração no ano T (Gg CO₂ . ano⁻¹);
 SW_i = massa de resíduo sólido do tipo i (base úmida) incinerada (Gg . ano⁻¹);
 dm_i = massa seca do resíduo (base úmida) incinerada (fração);
 CF_i = fração de carbono na massa seca (fração);
 FCF_i = fração de carbono fóssil no conteúdo de carbono total (fração);
 OF_i = fator de oxidação (fração);
 44/12 = fator de conversão de C para CO₂;
 i = tipo de resíduo incinerado (resíduos sólidos municipais; resíduos sólidos industriais; lodos de águas residuárias; resíduos de serviços de saúde e resíduos perigosos);
 CO₂ emitido queima T = quantidade de CO₂ emitido a partir da queima no ano T (Gg CO₂ . ano⁻¹);
 MSW = massa de resíduo sólido municipal em base úmida incinerada ou queimada a céu aberto (Gg . ano⁻¹);
 WF_j = Fração gravimétrica do tipo de resíduo/componente j do MSW (em base úmida, queimada a céu aberto);
 dm_j = massa seca do componente j do MSW queimada a céu aberto (fração);
 CF_j = fração de carbono na massa seca (conteúdo de carbono total) do componente j (fração);
 FCF_j = fração de carbono fóssil no conteúdo de carbono total do componente j (fração);
 OF_j = fator de oxidação (fração);
 j = componente do MSW queimado a céu aberto, tal como papel/papelão, restos de alimentos, madeira, resíduos de podas e jardins, fraldas descartáveis, borracha e couro, plásticos, metal, vidro, outros resíduos inertes;
 CH₄ emitido queima T = quantidade de CH₄ emitido a partir da queima no ano T (Gg CH₄ . ano⁻¹);
 IW_i = massa de resíduo sólido do tipo i incinerada ou queimada (Gg . ano⁻¹);
 EF_i = fator de emissão de N₂O para o tipo de resíduo i (kg N₂O Gg⁻¹ resíduo);
 10⁻⁶ = fator de conversão de kg para Gg;
 N₂O emitido incineração ou queima T = quantidade de N₂O emitido a partir da incineração ou queima no ano T (Gg N₂O . ano⁻¹);
 MSW_B = massa total de MSW queimada a céu aberto (Gg ano⁻¹);
 P = população (habitantes);
 P_{frac} = fração da população que realiza queima (fração);
 MSW_P = geração de resíduo por habitante (kg hab⁻¹ . dia⁻¹);
 B_{frac} = fração da massa de resíduo que é queimada em relação à massa total de resíduo que é tratada (fração);
 365 = número de dias no ano (dias);
 dm = massa seca total do MSW (Gg);
 CF = carbono total do MSW (Gg); e
 FCF = carbono fóssil total do MSW (Gg).

Dados de atividades e outros parâmetros

A geração anual de resíduos sólidos de saúde (Mg CW ano⁻¹) foi obtida para cada UF a partir dos dados disponíveis da PNSB (IBGE, 1994; 2000a; 2008b). Para a lacuna de dados entre os anos (1990-1999/2001-2007/2009-2022), os dados de população com coleta e destinação de CW foram estimadas. Primeiramente, foi encontrada a relação entre a população total da UF e a população atendida com coleta de CW para os anos 2000 e 2008, uma vez que não são todos os municípios que possuem coleta e destinação de CW. Para os anos anteriores a 2000 e posteriores a 2008, as

relações encontradas para esses dois anos foram mantidas, respectivamente. Entre 2000 e 2008, foi realizada a estimativa dos valores a partir de interpolação linear simples.

O mesmo procedimento foi adotado para estimar a taxa *per capita* anual de CW (Mg CW hab⁻¹ ano⁻¹) em cada UF. A taxa *per capita* observada para cada UF foi calculada pela razão entre massa coletada e população atendida com coleta de CW para os anos 2000 e 2008. A partir da taxa observada nesses dois anos, para os anos anteriores a 2000 (1990-1999) e posteriores a 2008 (2009-2022), os valores *per capita* de CW encontrados para esses dois anos foram mantidos, respectivamente. Entre 2000 e 2008 (2001-2007), foi realizada estimativa linear. Com exceção dos anos 2000 e 2008, a massa anual de CW coletada em cada UF foi estimada por meio do produto entre população atendida com coleta CW e a taxa *per capita* anual.¹²²

A partir dos dados de destinação de CW contidos nas PNSB (IBGE, 1994; 2000a; 2008b), foi encontrada a fração média de incineração de 10%. Essa fração foi aplicada à massa de CW coletada anualmente para calcular a massa de CW incinerada.

No Brasil, a prática de queima de resíduos a céu aberto ainda é utilizada, principalmente pela população que não é atendida pelo sistema de coleta seletiva de lixo. Dentro do escopo deste NIR 2024, considerou-se como massa de MSW queimada a céu aberto (Mg ano⁻¹) a fração de MSW gerada pela população que não é coletado pela municipalidade e que não é enterrado para o período entre os anos 1990 e 2016. Referente à Fração de resíduo queimado (B_{frac}) foi utilizado o valor médio-padrão de 0,6 (IPCC, 2006).

A informação da população que queima MSW está presente em três estatísticas brasileiras: a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD); a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNADC) e o Censo, todas realizadas pelo IBGE. Na PNAD, a informação da população que queima MSW está agregada à informação da população que enterra MSW. No Censo e na PNADC, a informação está desagregada, constando tanto a fração da população que queima, exclusivamente, quanto a que enterra seus resíduos. Sendo assim, as frações populacionais identificadas nas pesquisas que registram somente a quantidade de habitantes que realizam a queima dos resíduos (CENSO, 1991; 2000; 2010; 2022 e PNADC, 2017; 2021) foi replicada para os anos em que havia apenas pesquisas com valores populacionais agregados de habitantes que realizam queima e enterram os resíduos (PNAD, entre os anos 1989-2015).

Para quantificar a população que realiza a queima de resíduos para os anos entre 1990 e 2016 da série histórica, primeiramente foi obtida a fração da população que realiza a queima em cada UF, por meio da razão entre população que queima e população que queima e enterra MSW para os anos de Censo (1991, 2000 e 2010). Para suprir as lacunas na série histórica, as frações estaduais da população que queima MSW observadas para o ano de 1991 foram mantidas em 1990; as taxas estaduais observadas em 2010 foram mantidas nos anos posteriores (até 2016); e, entre os anos 1991 e 2010, foi realizada interpolação linear. O segundo passo foi calcular a população que queima, resultado do produto entre a população que queima e enterra observada na PNAD e as frações da população que queima. A população que realiza a queima do resíduo, portanto, foi calculada por meio da razão entre a população que queima MSW e a população total em cada UF, para os respectivos anos avaliados (Tabela A.VIII.3, Apêndice VIII).

Para obter os dados populacionais entre 2017 e 2022 foram considerados os dados disponíveis na PNADC (2017-2019) (IBGE, 2023a) e no Censo de 2022. Para os anos de 2020 e 2021 os valores foram obtidos a partir da interpolação dos resultados estaduais entre os anos de 2019 e 2022. Embora nas Diretrizes IPCC (2006) também seja contemplada a queima espontânea ou proposital de resíduos nos vazadouros (IPCC, 2006), esta informação nacional é inexistente e, portanto, não foi contabilizada.

Referente a categoria Incineração de Resíduos (5.C.1), todos os parâmetros e fatores de emissão utilizados são valores-padrão das Diretrizes do IPCC (2006), uma vez que não existem dados nacionais sobre composição gravimétrica, e nem da concentração de carbono (C) nas frações de

¹²² Referências e metodologia de cálculo da geração de resíduos sólidos da saúde (CW) estão descritas na Seção 8.3.1.

resíduos do serviço de saúde. Para a categoria Queima de Resíduos a Céu Aberto (5.C.2) foram utilizados valores médios-padrão de massa seca (dm_i), carbono total (CF_i) e de carbono fóssil (FCF_i) para cada fração gravimétrica de MSW (IPCC, 2006; v. 5, cap. 2, tabela 2.4, p. 2.14) (Quadro 8.11). Lembrando que as categorias deste subsetor seguem a descrição metodológica *Tier* 2a, por considerar dados nacionais quanto à composição gravimétrica dos resíduos sólidos, ainda que os fatores de emissão sejam todos valores padrões do IPCC.

Quadro 8.11. Fatores de emissão da Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos.

Categorias	Parâmetro	Fatores de emissão	Referência
5.C.1	Matéria seca em base úmida	$0,35 \frac{\text{Kg MS}}{\text{kg Resíduo}}$	Tabela 2.6 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 2)
5.C.1	C total em base seca	$0,60 \frac{\text{Kg C}}{\text{kg Resíduo}}$	Tabela 5.2 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)
5.C.1	Fração de C fóssil no C total	$0,40 \frac{\text{Kg } C_{\text{fóssil}}}{\text{kg } C_{\text{total}}}$	Tabela 5.2 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)
5.C.1	Fator de oxidação	1	Tabela 5.2 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)
5.C.1	EF CH ₄	$0 \frac{\text{Kg CH}_4}{\text{Gg MSW}}$	Tabela 5.3 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)
5.C.1	EF N ₂ O	$100 \frac{\text{kg N}_2\text{O}}{\text{Gg MSW}}$	Tabela 5.6 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)
5.C.2	EF CH ₄	$6,5 \frac{\text{Kg CH}_4}{\text{Mg MSW}}$	Página 5.20 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)
5.C.2	EF N ₂ O	$0,15 \frac{\text{g N}_2\text{O}}{\text{Mg MSW}}$	Tabela 5.6 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 5)

8.5.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C) são citados na Seção 2.5 deste documento.

8.5.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada uma análise da incerteza usando os métodos e técnicas de Monte Carlo descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CO₂, CH₄ e N₂O da Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C) é apresentada no Apêndice II.

O processo de atualização do Inventário considerou a revisão das séries históricas de dados atividade, processo que resultou em ajustes, embora sutis, nas estimativas de emissões das categorias de Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C). Em síntese, foram reavaliados:

- *Massa de CW (1990-2022)*: ajuste da série histórica de massa de CW coletada e incinerada a partir da atualização dos valores populacionais; e
- *Massa de resíduo queimado a céu aberto (2020-2021)*: interpolação linear a partir dos dados observados nas PNADC e nos Censos.

Considerando os resultados consolidados do Inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, a maior proporção dos ajustes é verificada em 2020, com 18% de diferença entre emissões estimadas. As emissões de GEE estimadas entre 2017 e 2020 para o Setor Resíduos em Brasil

(2022) não foram obtidas a partir dos dados de atividades emissoras, mas sim da extrapolação dos valores dos últimos cinco anos (2012-2016) apresentados no inventário da Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2021). Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de 6%, e no período de 1990 a 2020, de 1%, assim demonstrando a consistência da série temporal do subsetor (Figura 8.9).

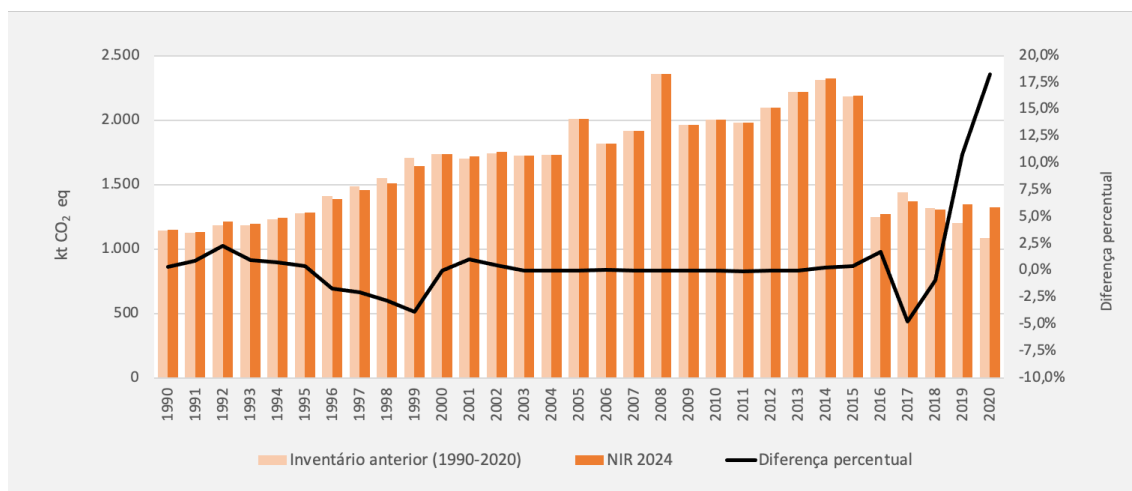


Figura 8.9. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C) entre os inventários.

8.5.4 Plano de melhoria

A elaboração sistemática dos Inventários Nacionais de GEE permitiu acumular conhecimento que possibilita propor medidas visando ao aprimoramento dos resultados do Inventário no particular da Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C).

O Quadro 8.12 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para implementação em futuras edições do inventário deste subsetor.

Quadro 8.12. Melhorias potencialmente aplicáveis a futuras edições do Inventário de Emissões do Subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.C).

Subsetor	Categoria	Melhoria
5.C. INCINERAÇÃO E QUEIMA A CÉU ABERTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	Geral (todas as categorias)	Alinhar Acordo de Cooperação Técnica ou parceria visando incentivar a produção e obtenção de novos dados das composições gravimétricas dos resíduos sólidos municipais com o objetivo de determinar novas categorias a partir dos diferentes perfis de geração de resíduos com base em dados econômicos e sociais, além das divisões político-administrativas municipais.
	5.C.1. Incineração de Resíduos	Ampliar estudos para exploração de informações disponíveis no banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR+) e em outras bases de dados, visando à análise de viabilidade do uso destes dados nos cálculos de emissões dos inventários futuros, incluindo informações referente à disposição dos resíduos industriais.
	5.C.2. Queima a Céu Aberto de Resíduos	Ampliar estudos para avaliar viabilidade da atualização das composições gravimétricas dos resíduos queimados a céu aberto, bem como caracterizar a população que realiza essa prática.

8.6 Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (CRT 5.D)

O Subsetor Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D) contabiliza as emissões de CH₄ e N₂O. O metano é emitido em ambientes anaeróbios e as emissões estão relacionadas com a quantidade de material orgânico degradável presente no efluente, bem como a temperatura do local e o tipo de tratamento utilizado. Por sua vez, as emissões de óxido nitroso estão associadas com a degradação do nitrogênio presente no efluente, por meio do processo de nitrificação e desnitrificação. A categoria de emissões é subdividida em Águas Residuárias Domésticas (5.D.1) e Águas Residuárias Industriais (5.D.2).

As emissões pelo Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D) foram estimadas em 36.056 kt CO₂ eq em 2022, com redução de 4% se comparado com 2020. A categoria Águas Residuárias Domésticas (5.D.1) foi a mais representativa, com emissão de 30.210 kt CO₂ eq, ou 84% das emissões do subsetor (Figura 8.10). Para a categoria Águas Residuárias Industriais (5.D.2), as emissões em 2022 foram estimadas em 5.846 kt CO₂ eq (16% do subsetor), também com redução de 4% se comparadas com 2020.

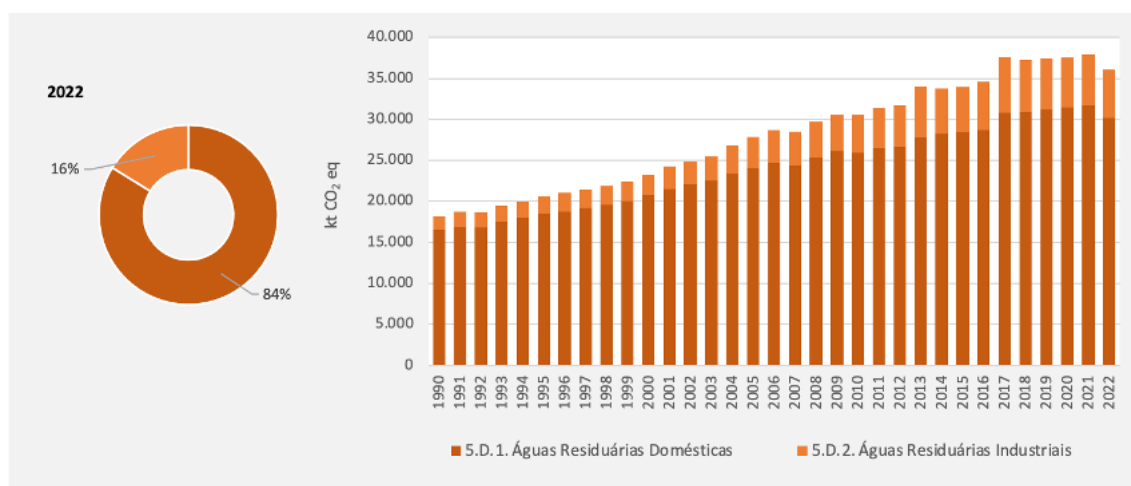


Figura 8.10. Emissões do Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D), em kt CO₂ eq por categoria, de 1990 a 2022.

8.6.1 Aspectos metodológicos

Para o cálculo das emissões de CH₄ e N₂O do Subsetor Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D) foram utilizadas as equações 8.17 a 8.24, expostas no Quadro 8.13, com detalhamento metodológico *Tier 1* e *Tier 2*.

A aplicação das equações segue os seguintes passos:

- Obtenção da proporção do efluente doméstico que é coletado e tratado;
- Obtenção das frações dos tipos de sistemas de tratamento de efluentes domésticos;
- Quantificação do efluente doméstico;
- Quantificação das emissões de CH₄ e N₂O do efluente doméstico;
- Obtenção das produções industriais que contabilizam as emissões a partir do tratamento e despejo de efluentes industriais;

- Obtenção da fração dos tipos de sistemas de tratamento de efluente por tipo de atividade industrial;
- Quantificação do efluente industrial; e
- Quantificação das emissões de CH₄ do efluente industrial.

Quadro 8.13. Equações para estimar as emissões do Subsetor Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D).

Equações	GEE	Categorias	Equação central	Referência
Equação 8.17	CH ₄	5.D.1	$CH_4 \text{ emitido efluente doméstico}_T = [\sum_{i,j} (U_i * T_{i,j} * EF_j)] * (TOW - S) - R$	Equação 6.1 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 6)
Equação 8.18	CH ₄ e N ₂ O	5.D.1	$EF_j \text{ efluente doméstico} = B_0 * MCF_j$	Equação 6.2 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 6)
Equação 8.19	CH ₄	5.D.1	$TOW \text{ doméstico} = P * DBO * 0,001 * I * 365$	Equação 6.3 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 6)
Equação 8.20	CH ₄	5.D.2	$CH_4 \text{ emitido efluente industrial}_T = \sum_{i,j} (TOW_k - S_k) * EF_k - R_k$	Equação 6.4 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 6)
Equação 8.21	CH ₄	5.D.2	$EF_j \text{ efluente industrial} = B_0 * MCF_j$	Equação 6.5 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 6)
Equação 8.22	CH ₄	5.D.2	$TOW \text{ industrial} = P_k * W_k * DQO_k$	Equação 6.6 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 6)
Equação 8.23	N ₂ O	5.D.1	$N_2O \text{ emitido}_T = N_{\text{Efluente}} * EF_{\text{Efluente}} * 44/28$	Equação 6.7 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 6)
Equação 8.24	N ₂ O	5.D.1	$N_{\text{Efluente}} = (P * Proteína * F_{\text{NPR}} * F_{\text{NON-CON}} * F_{\text{IND-COM}}) - N_{\text{lodo}}$	Equação 6.8 (IPCC, 2006, v. 5, cap. 6)

Em que:

CH₄ emitido_T = quantidade de CH₄ emitido em efluentes domésticos no ano T (Gg CH₄ . ano⁻¹);
TOW = massa total de material orgânico na água residuária doméstica/industrial no ano inventariado (kg DBO . ano⁻¹);
S = componente orgânico removido na forma de lodo no ano inventariado (kg DBO . ano⁻¹);
U_i = população no grupo de renda i no ano inventariado (fração);
T_{ij} = grau de utilização do sistema de tratamento/sistema ou caminho de despejo j, por cada fração de grupo de renda i no ano inventariado (fração);
i = grupo de renda, rural ou urbano (fração);
j = tipo de tratamento/sistema ou caminho de despejo (fração);
EF_j = fator de emissão do efluente (kg CH₄ kg⁻¹ DBO);
R = massa de CH₄ recuperado no ano T (kg CH₄ . ano⁻¹);
P = população (habitantes);
DBO = DBO *per capita* específica do país (g DBO . hab⁻¹ . dia⁻¹);
0.001 = conversão de g para kg de DBO;
I = fator de correção para despejo adicional de DBO industrial na rede de esgoto;
B₀ = capacidade máxima de produção de CH₄ (kg CH₄ kg⁻¹ DBO);
MCF_j = fator de correção do CH₄;
k = setor industrial;
S_k = componente orgânico removido do lodo no ano inventariado (kg DQO ano⁻¹);
EF_k = fator de emissão da indústria k para cada tratamento/sistema utilizado no ano inventariado (kg CH₄ kg⁻¹ DQO);
P_k = produção industrial total para a indústria do setor i (Mg ano⁻¹);
W_k = efluente gerado (m³ . Mg produto);
DQO_k = demanda química de oxigênio (kg DQO m⁻³);

N_2O emitido T = quantidade de N_2O emitido a partir do tratamento do efluente doméstico no ano T ($Gg\ N_2O \cdot ano^{-1}$);

$N_{Efluente}$ = nitrogênio do efluente despejado no ambiente aquático ($kg\ N \cdot ano^{-1}$);

$EF_{Efluente}$ = fator de emissão de N_2O da água residuária despejada ($kg\ N_2O \cdot kg^{-1}\ N$);

$44/28$ = fator de conversão de $kg\ N_2O-N$ em $kg\ N_2O$;

P = população (habitantes);

Proteína = consumo anual de proteína *per capita* ($kg \cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$);

F_{NPR} = fração de nitrogênio na proteína, padrão = 0,16 ($kg\ N \cdot kg^{-1}$ proteína);

$F_{NON-CON}$ = fator para proteína não consumida adicionada à água residuária;

$F_{IND-CON}$ = fator para proteína comercial e industrial co-dispostos no sistema de coleta; e

N_{Lodo} = nitrogênio removido via lodo ($kg\ N \cdot ano^{-1}$).

Dados de atividades e outros parâmetros

No Brasil, nem todo o esgoto (água residuária) gerado é coletado e nem todo o esgoto coletado é tratado em estações de tratamento. Dessa forma, para atender as variáveis requisitadas pelos modelos das Diretrizes IPCC (2006), é necessária a transformação dos dados brutos em variáveis possíveis de serem utilizadas no cálculo das emissões.

A primeira etapa consiste em estimar a variável fração do grupo de renda da população total (U_i , em que i é o grupo de renda). Esta variável expressa frações de arranjos populacionais dentro da população total. Na segunda etapa, é estimado o grau de utilização do tratamento, via de descarga ou sistema para cada grupo de renda (T_{ij} , em que i é o grupo de renda e j é o tratamento, sistema ou via de descarga). Essa variável demonstra a representatividade de cada tratamento ou via/sistema de descarga dentro de cada arranjo populacional.

O volume de esgoto coletado e tratado pode ser observado nas PNSB (IBGE, 1994; 2000a; 2008b; 2017a; 2017b; 2017c) e no Atlas de Esgotos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2013). A fração de tratamento do esgoto coletado foi obtida por meio da razão entre o volume de esgoto coletado e o tratado, obtidos na PNSB e no Atlas de Esgotos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2013). Para os anos em que não havia dados observados as frações, foram estimadas a partir de interpolação linear entre os dados observados nos anos 1989, 2000, 2008, 2013 e 2017.

O consumo de proteína *per capita* (PTN) ($kg\ PTN\ hab^{-1}\ ano^{-1}$) foi obtido anualmente dos dados disponibilizados pela FAO (2009, 2022, 2023) para o Brasil, e, quando não havia dados observados, os valores foram estimados por meio de interpolação linear considerando toda a série histórica (1990-2022). O fator de conversão de CH_4 (MCF) para o esgoto coletado e tratado é classificado de acordo com sistema de tratamento observado na PNSB (IBGE, 1994; 2000a; 2008b; 2017a; 2017b; 2017c). Primeiramente foi calculado MCF ponderado para cada observação, e a partir deles foi realizada estimativa linear do MCF ponderado entre os anos 1989, 2000, 2008 e 2017, sendo esta última observação utilizada anualmente até 2022.

A carga orgânica total ($kg\ DBO\ ano^{-1}$) gerada pela população foi calculada em função da população da UF no ano inventariado, da $DBO\ per\ capita$ ($g\ hab^{-1}d^{-1}$) específica do país e da possível contribuição de despejos industriais no sistema de coleta doméstico.

Os dados anuais da população residente nas UFs brasileiras para o período entre 1990 e 2016 são os mesmos já descritos para o Subsetor 5.A. A $DBO\ per\ capita$ utilizada foi de $54\ g\ hab^{-1}d^{-1}$, que segue a norma NBR 12.209/2011 para projetos de estações de tratamento de esgoto sanitário (ABNT, 2011). Uma vez que não foi possível identificar a contribuição de descarga de águas residuárias industriais na rede de águas residuárias domésticas, foi utilizado o valor-padrão 1,0 do fator de correção para descarga industrial adicional (IPCC, 2006).

As estatísticas nacionais não trazem o arranjo econômico da população (baixa e alta renda) para a classificação dos grupos de renda conforme descrito nas Diretrizes IPCC (2006). Portanto, só foi possível desagregar o uso segundo os arranjos de população urbana e rural. A partir dessa organização, a fração dos arranjos populacionais foi obtida por meio da razão entre população

urbana e população total (POP_{urb}) e pela razão entre população rural e população total (POP_{rural}) para cada UF, anualmente, de 1990 a 2022. A população rural final (POP_{rural}) foi obtida pela diferença entre POP_{total} e POP_{urb} .

Foi necessário estimar anualmente a distribuição da população nos meios urbano e rural para os anos dos intervalos entre os censos populacionais. O modelo ajustado para todas as UFs foi uma regressão linear bivariada simples, que estima a população por meio da relação direta entre esta e o ano e a população total. Entretanto para o ano de 2022, a fração da população urbana de cada UF foi replicada com o mesmo valor da fração do ano de 2021. Essa medida foi necessária, pois em alguns Estados, ao aplicar o modelo estatístico de regressão os valores de população rural resultaram negativos, nos quais, na realidade, o valor mínimo é zero.

O grau de utilização do tratamento, via de descarga ou sistema para cada grupo de renda (T_{ij} , em que i é o grupo de renda e j é o tratamento, sistema ou via de descarga), demonstra a representatividade de cada tratamento ou via/sistema de descarga dentro de cada arranjo populacional. Os dados observados são a população urbana e rural com rede de coleta, com fossa séptica, com fossas negras (identificadas pelo IBGE como “outros”) e com vala a céu aberto ou descarga direta em corpos hídricos (identificadas pelo IBGE como “nenhum”), provenientes da PNAD (1992 e 1993, 1995 a 1999, 2001 a 2009 e 2011 a 2015) (IBGE, 2019b; 2019c) e do Censo (1991, 2000 e 2010). Para suprir as lacunas de dados (1990, 1994), foi ajustado um único modelo de regressão independente para cada variável (Rede, Fossa, Outro e Nenhum) a partir dos dados observados na PNAD e Censo (Figura 8.11). Para os anos entre 2016 e 2022 foi mantido o último valor observado das frações de cada tipo de tratamento em relação a população urbana e rural populacionais em cada UF.

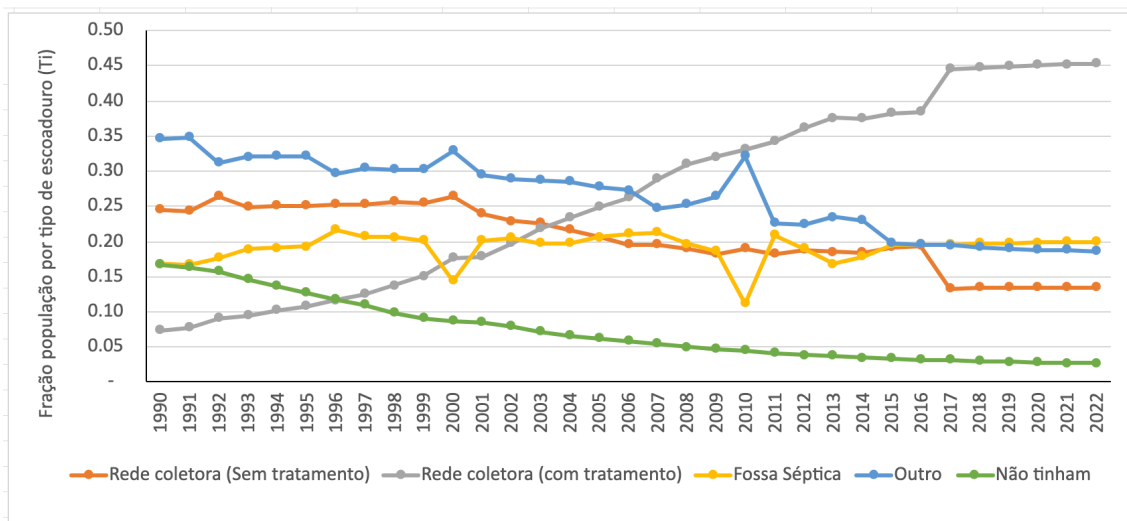


Figura 8.11. Grau de utilização do sistema de tratamento ou caminho de descarga para cada grupo (T_{ij}) no Brasil, entre 1990 e 2022.

De acordo com o painel de especialistas do inventário da Terceira Comunicação Nacional (Brasil, 2016), reatores anaeróbios contêm invariavelmente queimadores para o gás gerado e dessa forma o CH_4 produzido nesses sistemas é parcialmente destruído, sendo a eficiência de destruição do CH_4 de, aproximadamente, 50%. A estimativa de metano recuperado (R) ($kg\ CH_4\ ano^{-1}$) foi calculada com base na manutenção destas premissas, considerando apenas o CH_4 gerado em reatores anaeróbios, tanto nos processos de tratamento de efluentes domésticos quanto industriais.

Referente ao componente orgânico removido como lodo ($S-DWW$) ($Kg\ DBO\ ano^{-1}$), considerou-se que a massa de lodo gerada nas estações de tratamento normalmente é removida do sistema de

tratamento e enviada para disposição final. Dessa forma, a carga orgânica relacionada ao lodo é subtraída da carga orgânica total afluente, assim sendo desconsiderada no cálculo das emissões de CH₄ desta categoria. No Brasil, o principal destino do lodo de esgoto é a destinação final em aterros e vazadouros. Para tanto, a carga orgânica retirada na forma de lodo passa a ser computada como fonte de material orgânico no Subsetor Disposição de resíduos sólidos (5.A). O lodo removido do sistema de tratamento foi calculado a partir dos fatores de geração de lodo por unidade de DBO tratada em cada tecnologia de tratamento, conforme a Tabela 8.9.

Tabela 8.9. Carga orgânica de lodo (S) produzida em diferentes tecnologias de tratamento de águas residuárias.

Tecnologia de tratamento	Carga orgânica gerada (kg DBO lodo kg ⁻¹ DBO afluente)
Lagoa facultativa	0,107
Lagoa anaeróbia	0,158
Lagoa aerada mistura completa	0,058
Tanque séptico	0,126
Filtro biológico de alta carga	0,316
Lodo ativado convencional	0,340
Reator anaeróbio UASB	0,073

Fonte: Adaptado de Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001).

Assim como acontece com o efluente doméstico, as emissões dos efluentes industriais são provenientes da degradação anaeróbica. A matéria orgânica presente nesses efluentes é expressa em termos de Demanda Química de Oxigênio (DQO), e a fração orgânica presente nesses efluentes varia de acordo com os produtos e processos envolvidos. Uma mesma instalação inclui vários e diferentes tipos de efluentes que demandam diferentes tipos de tratamento.

Foram priorizados os dados de atividades que geram efluentes com as maiores cargas orgânicas, mantendo os setores industriais que foram considerados no Inventário da Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2021), uma vez que eles ainda representam a maior participação de carga poluente e não houve introdução de novos setores industriais na economia brasileira (IBGE, 2019c). Foram identificadas nove principais indústrias que geram grandes quantidades de efluente, são elas: açúcar, leite cru, álcool, papel e celulose, cerveja, abate de aves, abate de bovinos, abate de suínos e leite pasteurizado.

A partir da identificação das nove atividades industriais de maior contribuição de carga orgânica potencialmente geradora de GEE (Brasil, 2010; Brasil, 2015), foram levantados os dados de produção industrial (P_i) (Mg ano⁻¹) entre 1990 e 2022 (Tabela 8.10). A série histórica das produções de açúcar e álcool foi obtida da União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (UNICA). Os dados históricos de produção de leite cru foram obtidos na Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM) do IBGE, e de leite pasteurizado foram obtidos nos relatórios estatísticos da Associação Brasileira da Indústria de Látex Longa Vida (ABLV). As informações de produção de celulose foram acessadas em IBA (2023). As produções anuais de cerveja (Classes das atividades industriais e produtos: 1113.2020), abates de aves (Classes das atividades industriais e produtos: 1012.2030, 1012.2040), bovinos (Classes das atividades industriais e produtos: 10.112.020, 1011.2030, 1011.2080, 1011.2100, 1011.2120, 1011.2130), e suínos (Classes das atividades industriais e produtos: 1012.2010, 1012.2020, 1012.2070, 1012.2080, 1012.2110, 1012.2120, 1012.2130), foram obtidas da Pesquisa Industrial Anual (PIA) do IBGE.

Tabela 8.10. Produção industrial (P_i) anual no Brasil, entre 1990 e 2022.

Ano	Açúcar	Alcool	Leite cru	Leite pasteurizado	Celulose	Cerveja	Abate de aves	Abate de bovinos	Abate de suínos
kt									
1990	7.214	9.647	14.948	4.184	4.351	3.813	1.605	2.836	730
1991	7.365	9.319	15.562	3.867	4.778	3.947	1.801	2.921	812
1992	8.530	10.295	16.289	3.445	5.302	4.082	1.911	3.062	893
1993	9.264	9.492	16.090	2.793	5.471	4.216	2.074	3.124	885
1994	9.162	9.138	16.289	2.977	5.829	4.350	2.196	2.829	855
1995	12.652	10.319	17.002	3.251	5.936	8.175	2.318	2.534	825
1996	13.513	10.205	19.108	2.926	6.201	8.084	2.439	2.239	794
1997	14.828	11.649	19.263	2.343	6.331	8.228	2.561	1.944	764
1998	14.887	12.475	19.292	2.043	6.687	8.668	2.683	1.649	734
1999	18.024	11.230	19.680	1.754	7.209	8.665	2.993	1.782	1.200
2000	19.388	10.507	20.400	1.682	7.463	9.178	3.317	2.164	673
2001	16.198	8.571	21.166	1.486	7.412	9.297	4.216	3.178	1.223
2002	19.218	9.336	22.335	1.527	8.021	9.095	4.518	4.252	1.088
2003	22.567	10.215	22.966	1.589	9.069	8.603	4.822	4.812	1.436
2004	24.919	11.925	24.226	1.641	9.620	9.456	5.102	6.871	1.794
2005	26.685	12.453	25.409	1.600	10.352	10.035	6.412	6.145	2.887
2006	25.823	12.803	26.211	1.662	11.180	10.791	6.561	6.448	3.096
2007	29.988	14.440	26.974	1.765	11.998	11.683	7.734	6.614	3.489
2008	31.026	18.230	28.468	1.852	12.697	12.409	7.960	6.767	3.822
2009	31.049	22.275	30.016	1.847	13.315	12.695	8.223	6.526	4.052
2010	32.956	20.790	31.698	1.744	14.164	13.168	8.609	7.446	4.076
2011	38.006	22.154	33.123	1.677	13.922	13.978	9.881	8.774	3.850
2012	35.925	18.355	33.338	1.476	13.977	14.463	9.712	10.771	3.871
2013	38.246	18.796	35.351	1.383	15.127	13.832	9.593	18.021	4.063
2014	37.594	22.235	36.248	1.259	16.465	14.703	10.373	10.989	4.259
2015	35.571	23.048	35.717	1.129	17.370	14.505	10.733	10.802	4.834
2016	33.837	24.466	34.758	1.140	18.773	14.118	11.709	12.044	5.626
2017	38.734	22.056	34.379	1.156	19.527	13.949	13.642	15.744	8.503
2018	38.608	22.553	34.993	1.125	21.085	15.581	13.380	13.265	6.333
2019	29.053	26.797	35.988	1.115	19.691	17.565	10.408	13.383	5.942
2020	29.606	28.807	36.447	1.084	21.000	16.298	12.106	10.126	7.251
2021	41.503	26.303	36.309	954	22.500	17.239	12.724	9.969	7.727
2022	34.992	24.101	35.717	904	25.000	18.315*	11.520*	8.091*	6.961*

Fonte: Açúcar e Alcool (UNICA, 2024); Leite cru (PPM – IBGE, 2023e); Leite pasteurizado, (ABLV, 2022); Celulose (IBA, 2023); Cerveja, Abate de aves, Abate de bovinos e Abate de suínos (PIA - IBGE, 2021). Notas: * valores estimados com progressão linear a partir dos resultados dos últimos 5 anos por tipo de produção industrial.

Um dos principais dados de atividade necessários para estimar emissões da categoria 5.D.2 é o material orgânico degradável em águas residuárias industriais (TOW) (kg DBO ano^{-1}), o qual é gerado pelos setores industriais mais relevantes (Figura 8.13). Ele foi calculado em função da P_i e da carga orgânica (CO_i) (Mg DBO Mg^{-1} produto) gerada por unidade de produto. A carga orgânica é o produto do volume de água residuária gerada por unidade de produto (W_i) ($\text{m}^3 \text{Mg}^{-1}$ produto) e da concentração de material carbonáceo contida na água residuária (COD_i) (kg DQO m^{-3}).

Dados de geração de carga orgânica por unidade de produto são escassos, uma vez que ela varia, significativamente, ao longo dos estágios de produção, bem como em relação às diferentes

tecnologias de produção empregadas. Neste inventário foram aplicados os mesmos valores utilizados em Brasil (2021), conforme demonstrado na Tabela 8.11.

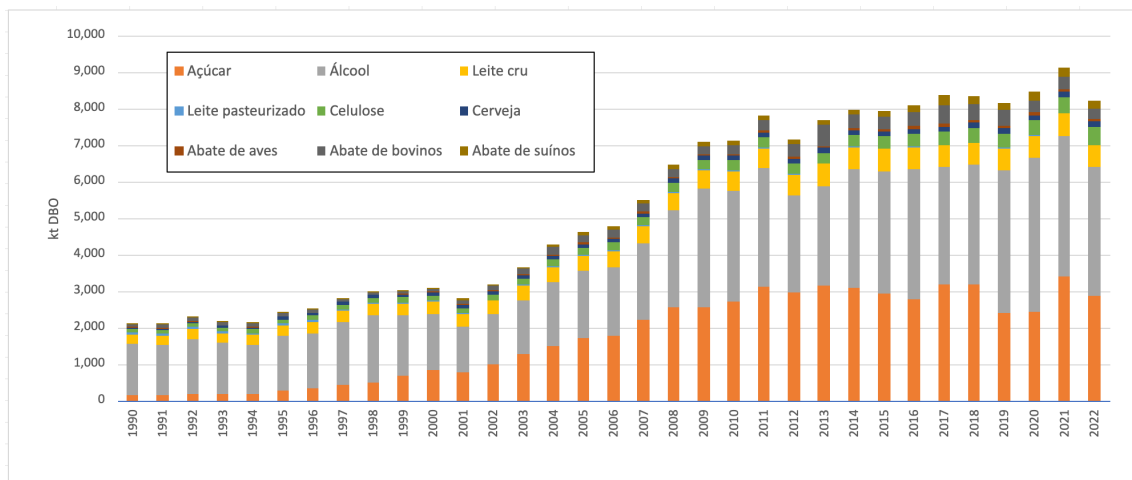


Figura 8.12. Material orgânico degradável (TOW) presente em águas residuárias industriais no Brasil, anualmente, entre 1990 e 2022.

Tabela 8.11. Carga orgânica (kg DBO/tonelada de produto) da água residuária dos setores industriais avaliados.

Setor	Carga Orgânica (kg DBO Mg ⁻¹ produto)
Açúcar (1990-1995)	21
Açúcar (2008-2016)	82
Álcool	146
Leite cru	17
Leite pasteurizado	17
Celulose	19
Cerveja	9
Abate de aves	6
Abate de bovinos	33
Abate de suínos	33

Fonte: Açúcar (CTC, 1995; Elia Neto *et al.*, 2009); Álcool (Elia Neto *et al.*, 2009); Celulose (Michael *et al.*, 2015); Leite cru, Leite pasteurizado, Cerveja, Abate de aves, Abate de bovinos e Abate de suínos (Brasil, 2015).

Diferentemente do lodo do tratamento de águas residuárias domésticas, em que a totalidade é enviada a SWDS em razão do potencial patogênico do resíduo, lodos do tratamento de águas residuárias industriais são passíveis de reutilização (aplicação direta no solo como fertilizante), de reciclagem (compostagem) ou de destinação direta a SWDS. Uma vez que não foi possível estabelecer as frações enviadas para cada destino, a carga orgânica do lodo permaneceu no cálculo desta categoria, ou seja, o componente orgânico removido como lodo (S) dos efluentes industriais é nulo. De acordo com IPCC (2006), sempre que o componente orgânico presente no lodo for removido do tratamento de águas residuárias, este deverá ser contabilizado em outro setor (IPCC, 2006). Quando não é possível fazer a remoção do lodo, deve ser contabilizado no setor de origem (IPCC, 2006).

A variável fator de correção de metano (MCF) representa a capacidade de geração de CH₄ de cada sistema de tratamento. Sistemas exclusivamente anaeróbios possuem maior capacidade de gerar CH₄ e valores de MCF elevados. Já os sistemas que empregam aeração forçada, como é o caso de lodos ativados, em decorrência da alta pressão de oxigênio imposta ao efluente, possuem baixa capacidade de geração de CH₄ e assumem os menores valores de MCF entre as possíveis soluções de tratamento existentes. Dessa forma, foi necessário estimar a fração de esgoto tratado por cada tipo de tratamento de modo a permitir o cálculo do MCF ponderado, que considera a contribuição de todos os sistemas empregados na UF, ponderados pela população atendida correspondente.

Informações sobre a coleta de esgoto e os sistemas de tratamento utilizados nas UF brasileiras estão disponíveis nas edições da PNSB (IBGE, 1994; 2000a; 2008b; 2017a; 2017b; 2017c). Na edição de 1989 (IBGE, 1994), os dados estavam agregados por UF; e, nas edições de 2000, 2008 e 2017, houve refinamento da pesquisa e os dados foram desagregados ao âmbito municipal. Contudo, a classificação utilizada foi qualitativa, relacionada com a presença ou ausência de determinado tipo de tratamento e ao número de distritos do município que eram atendidos por cada tipo de tratamento.

Para obter a fração de esgoto tratado por tecnologia de tratamento, a partir de dados qualitativos da PNSB, qual seja a presença ou ausência da tecnologia, uma premissa teve de ser adotada. Foi considerado que apenas uma das diversas tecnologias declaradas pelo município seria a responsável pelo tratamento de todo o esgoto. Essa distinção foi feita por meio de classificação hierárquica, em que, na presença da tecnologia de posto mais alto na hierarquia, é considerado como único tipo de tratamento daquele município, independentemente de estar em conjunto com outro. A hierarquia foi organizada com base no conhecimento dos principais arranjos de sistemas existentes no Brasil e considera a etapa de tratamento com maior remoção da carga orgânica. Dessa forma, sempre que existia a presença de tratamento por reator anaeróbio, que é o tratamento mais elevado na hierarquia proposta, os demais tipos de tratamento existentes no município foram ignorados e foi considerado o esgoto sendo tratado integralmente por esse tratamento. Uma vez agrupados os municípios com tratamento por reator, eles foram retirados do conjunto e um novo agrupamento foi realizado para o próximo nível hierárquico, que, neste caso, são os lodos ativados, essa seleção foi realizada até o último nível hierárquico (Tabela 8.12).

Tabela 8.12. Sistemas de tratamento de águas residuárias domésticas (DWW) e MCF associado.

Nível hierárquico	Sistema de tratamento	Classificação*	MCF**
1	Reator anaeróbio	Anaeróbio	0,8
2	Lodo ativado	Aeróbio	0,1
3	Filtro biológico	Aeróbio	0,3
4	Valo de oxidação	Aeróbio	0,3
5	Lagoa anaeróbia	Anaeróbio	0,8
6	Lagoa aeróbia	Aeróbio	0,3
7	Lagoa facultativa	Aeróbio	0,3
8	Fossa séptica de sistema condominial	Fossa	0,5
9	Outro	Fossa	0,5

Fonte: Elaborado a partir de * Von Sperling (2015). **adaptado de IPCC (2006, Tabela 6.3., v. 5, cap. 6, p. 6.13).

A fração da população atendida em cada tipo de tratamento na UF foi calculada pela razão entre a população atendida com o tratamento e a soma das populações de todos os tratamentos. As lacunas de dados entre as PNSB foram supridas por meio de interpolação linear, sendo que o valor observado em 2017 foi mantido até 2022. A partir da representatividade dos sistemas de tratamento observados e seus respectivos MCF, foi possível calcular o MCF ponderado para cada UF e ano.

Uma vez que no Brasil é incipiente a ocorrência de restos alimentares no esgoto, o fator de ajuste para proteína não consumida (FNON_CON) padrão utilizado foi o de sistema sem descarte de restos alimentares com valor de 1,1 (IPCC, 2006). Para determinar a Fração de N na proteína (FNPR), foi utilizado o valor-padrão de 0,16 kg N kg⁻¹ proteína (IPCC, 2006).

Para o fator de emissão de N₂O (EF_{EFFLUENT}), foi utilizado o valor-padrão de 0,005 kg N₂O-N kg⁻¹ N (IPCC, 2006). Para a capacidade máxima de produção de CH₄ (B₀), foi utilizado valor-padrão de 0,6 kg CH₄ kg⁻¹ DBO (IPCC, 2006). Quanto ao fator de correção de CH₄ (MCF) das águas residuárias industriais, foram mantidos os valores de MCF por tipo de produção industrial listados em BRASIL (2015) (Tabela 8.13). Para converter os volumes de álcool, leite (cru e pasteurizado) e cerveja, foram aplicadas as densidades de 809,25 kg/m³ (SINDIPETROLEO, 2013), 1.032,00 kg/m³ (Venturini; Sarcinelli; Silva, 2007) e 1.017,10 kg/m³ (Carvalho; Zambiasi, 2011), respectivamente.

Tabela 8.13. Fator de correção de metano (MCF) e fração de água residuária tratada por tipo de tecnologia empregada.

Tipo de tratamento / disposição	MCF ^a	Açúcar	Álcool	Leite cru	Leite p. ^c	Celulose	Cerveja	Abate de aves	Abate de bovinos	Abate de suínos
Fração de água residuária tratada por tipo de tecnologia										
Solo ^b	-	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	-
Lagoa anaeróbia	0,80	-	-	0,11	0,13	0,03	0,03	0,11	0,11	0,11
Lagoa facultativa ^c	0,50	-	-	0,11	0,13	0,03	0,03	0,11	0,11	0,10
Lagoa aeróbia	0,10	-	-	0,10	0,12	0,08	0,04	0,11	0,11	0,10
Reator anaeróbio	0,80	-	-	0,09	0,15	-	0,48	0,07	0,10	0,14
Lodo ativado	0,10	-	-	0,09	0,15	0,72	0,20	0,30	0,20	0,23
Tratamento secundário e terciário aeróbios ^d	0,30	-	-	-	0,02	-	0,02	0,00	0,02	0,02
Lançado em corpos d'água	0,10	-	-	0,50	0,30	0,15	0,20	0,30	0,35	0,30
MCF PONDERADO	-	-	-	0,284	0,352	0,128	0,473	0,270	0,295	0,319

Notas: ^a As frações de cada tratamento utilizado nos setores industriais foram obtidas por meio de painel de especialistas do Inventário da Terceira Comunicação Nacional (Brasil, 2016; Relatório de Referência, Setor Tratamento de Resíduos, Tabela 38, p. 55); exceto para as indústrias de açúcar e álcool, atualizados para Elia Neto *et al.*, 2009; ^b As emissões decorrentes da disposição de efluentes no solo com intuito de fertilização devem ser contabilizadas no Setor Agropecuária; ^c Esta categoria não está descrita nas Diretrizes IPCC (2006). Por se tratar de um tratamento misto, metade aeróbio e metade anaeróbio, o MCF para este tratamento foi obtido por meio do valor médio entre os valores MCF descritos para tratamentos aeróbios (0,1) e anaeróbios (0,8); ^d Valores MCF para tratamento aeróbio em unidades mal gerenciadas, segundo as Diretrizes IPCC (2006); ^e Pasteurizado.

Todos os efluentes das usinas de cana-de-açúcar, independentemente da etapa de produção (lavagem da cana, resfriamento, limpeza de equipamentos, entre outros) ou do tipo de produto gerado (açúcar ou etanol), são dispostos no solo para fertirrigação ou simplesmente como descarte (Elia Neto *et al.*, 2009). Dessa forma, foi considerado o envio de 100% da água residuária das indústrias de açúcar e álcool para o solo. A partir da representatividade dos sistemas de tratamento observados e seus respectivos MCF, foi possível calcular o MCF ponderado para cada ano. Para os anos de 1990, 2005 e 2010 foram empregados valores de MCF observados, a partir da contribuição de especialistas nas edições anteriores dos Inventários Nacionais. Para os demais anos no período de 1990 a 2010, os valores de MCF foram estimados por interpolação linear simples para cada tipo de produção industrial. Entre os anos de 2011 e 2022 foram replicados os valores obtidos em 2010 (Tabela A.VIII.4, Apêndice VIII).

8.6.2 Garantia da qualidade e controle de qualidade

Os procedimentos de QA/QC adotados para o Subsetor Tratamento e Despejos de Águas Residuárias (5.D) são citados na Seção 2.5 deste documento.

8.6.3 Avaliação de incerteza, consistência e recálculos da série temporal

Foi realizada uma análise da incerteza usando os métodos e técnicas de Monte Carlo descritos nas Diretrizes do IPCC (2006). A incerteza associada às emissões de CH₄ e N₂O do Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D) é apresentada no Apêndice II.

O processo de atualização do Inventário considerou a revisão das séries históricas de dados atividade, processo que resultou em ajustes, embora sutis, nas estimativas de emissões das categorias de Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D). Em síntese, foram reavaliados:

- Em decorrência do recálculo das populações totais, as populações urbanas e rurais também foram recalculadas para os anos de 1971-1979; 1981-1990; 1992-1999; 2001-2009; 2001-2016. Foi determinado um novo modelo de regressão linear que considerou as populações urbanas e rurais observadas dos censos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010. Este mesmo modelo foi utilizado para estimar as populações entre os anos de 2017-2021. Os dados de população urbana e rural do ano de 2022 seguiram a mesma proporção estadual identificada no ano anterior, uma vez que a aplicação do modelo resultou em valores negativos em algumas UFs;
- Foram incluídos nos cálculos os dados referentes ao tratamento de águas residuárias domésticas da última atualização da Pesquisa Nacional do Saneamento Básico de 2017; e
- Foram atualizados: dados de produção de açúcar e álcool (UNICA, 2024); dados de leite cru atualizados entre os anos de 2017 e 2022 da pesquisa pecuária municipal (PPM), disponibilizados pelo (IBGE, 2023e); celulose a partir de dados Indústria Brasileira de Árvores para os anos de 2020, 2021 e 2022 (IBA, 2023); abate de aves, bovinos e suínos (IBGE, 2019a). Para a obtenção da produção de cerveja e abate de animais, pela falta de dados disponíveis para o ano de 2022, foi feita uma progressão linear considerando os valores observados na Pesquisa Industrial Anual (PIA) para o período de 2017-2021.

Considerando os resultados consolidados do Inventário anterior com o realizado para este NIR 2024, a maior proporção dos ajustes é verificada em 2017 com 12% de diferença entre emissões estimadas. As emissões de GEE estimadas entre 2017 e 2020 para o Setor Resíduos em Brasil (2022) não foram obtidas a partir dos dados de atividades emissoras, mas sim da extrapolação dos valores dos últimos cinco anos (2012-2016) apresentados na Quarta Comunicação Nacional (Brasil, 2021). Entre 2017 e 2020, o ajuste médio nas emissões agregadas foi de 11%, e no período de 1990 a 2020, de 2%, assim demonstrando a consistência da série temporal do subsetor (Figura 8.13).

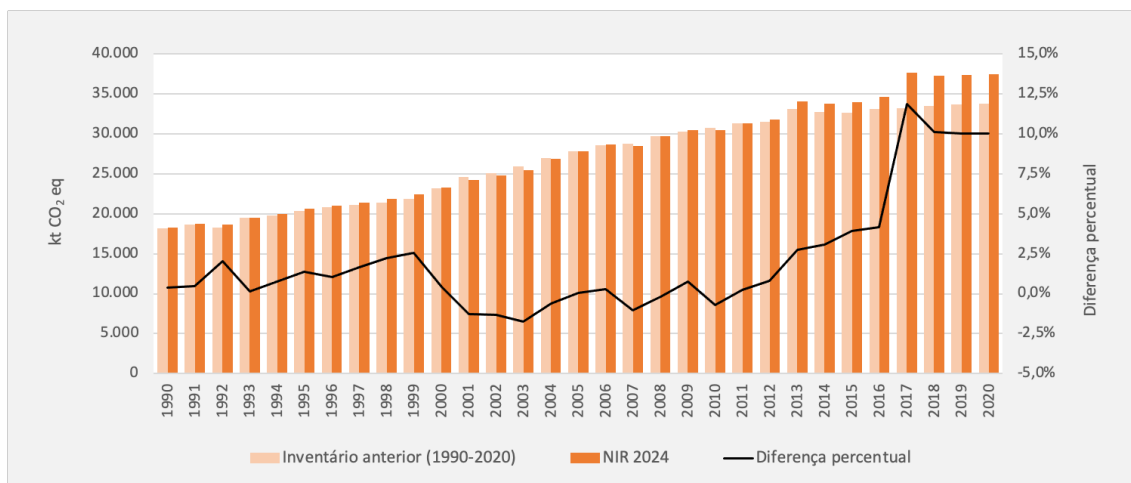


Figura 8.13. Comparação das emissões estimadas do Subsetor Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D) entre os inventários.

8.6.4 Plano de melhoria

A elaboração sistemática dos Inventários Nacionais de GEE permitiu acumular conhecimento que possibilita propor medidas visando ao aprimoramento dos resultados do Inventário do Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D).

O Quadro 8.14 sumariza os potenciais aperfeiçoamentos para implementação em futuras edições do inventário deste subsetor.

Quadro 8.14. Melhorias potencialmente aplicáveis a futuras edições do Inventário de Emissões do Subsetor Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D).

Subsetor	Categoria	Melhoria
5.D. TRATAMENTO E DESPEJO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS	Geral (todas as categorias)	Alinhar Acordo de Cooperação Técnica ou parceria com instituições público-privadas para avaliar a viabilidade de obter dados com maior nível de detalhamento das características dos sistemas de tratamento de efluentes, sejam eles domésticos ou industriais.
	5.D.1. Águas Residuárias Domésticas	- Alinhar parcerias com instituições de ensino e pesquisa, visando ao mapeamento de dados climáticos municipais que influenciam no tratamento de efluentes domésticos; - Alinhar Acordos de Cooperação Técnica ou parcerias com instituições responsáveis pelo gerenciamento dos dados SNIS, com vistas a promover o alinhamento de métricas e padrões de qualidade de dados que atenda às exigências metodológicas de <i>Tier 2</i> no que se refere à coleta de dados municipais de tratamento e despejo de água residuárias.
	5.D.2. Águas Residuárias Industriais	Alinhar parcerias com instituições público-privadas, visando incentivar a realização de estudos para caracterizar a eficiência dos reatores anaeróbios por tipo de produção industrial, atualizar o fator de correção de CH₄ (MCF), assim como gerar dados de produção e geração de efluente por tipo de atividade industrial.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS GERAIS (Capítulos 1, 2 e 3)

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Ministério de Ciência e Tecnologia. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **6ª Edição Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa Nacional do Brasil**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2022.

BRASIL. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima/Secretaria de Pesquisa e Formação Científica**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 5ª fase do PPCDAm**. 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/combate-ao-desmatamento-queimadas-e-ordenamento-ambiental-territorial/controle-do-desmatamento-1/amazonia-ppcdam-1>. Acesso em: 18 set. 2024.

BRASIL. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Bioma Cerrado (PPCerrado): 4ª fase do PPCerrado**. 2023b. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/combate-ao-desmatamento-queimadas-e-ordenamento-ambiental-territorial/controle-do-desmatamento-1/ppcerrado/ppcerrado_4fase.pdf. Acesso em: 18 set. 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2023: Ano-Base 2022**. Anexo X – Matrizes abertas e Comercial 1970 a 2023. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>. Acesso em: 25 maio 2024.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. The FAO's Forest Product Statistics (FAOSTAT). **Forestry Production and Trade**. Disponível em: <https://www.fao.org/forestry-fao/statistics/84922/en/>. Acesso em: 2 fev. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil** - 1:250 000. IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/15842-biomass.html>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População Residente Estimada 2001 a 2006; 2008; 2009; 2011 a 2021**. 2023d. Tabela 6579 – População residente estimada. 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa pecuária municipal 1990-2022**. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). 2024a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas/brasil/2016>. Acesso em: 18 julho 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022**. Tabela 6892 – Domicílios particulares permanentes ocupados, por destino do lixo. 2024b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6892>. Acesso em: 31 maio 2024.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação Geral de Observação da Terra. Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas. **Desmatamento – Amazônia Legal**. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 1º fev. 2024.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC Second Report of Assessment of Climate Change**. London: Cambridge University Press.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, GPG 2000, 2000. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>. Acesso em: 5 dez. 2024.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *In*: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, v. 3, Industrial Processes and Product Use. Japan: IGES, 2006. IPCC, 2006.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Relatório de Síntese (SYR) do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5)**. IPCC, 2014. Disponível em: www.ipcc.ch/report/ar5/syr. Acesso em: 18 abr. 2024.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. **Clean Development Mechanism**. 2024. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>. Acesso em: 31 maio 2024.

REFERÊNCIAS DO SETOR ENERGIA (Capítulo 4)

ABRACICLO – Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas Ciclomotores Motonetas Bicicletas e Similares. **Dados do Setor de Duas Rodas**, 2023. Disponível em: <https://www.abraciclo.com.br/site/download/>. Acesso em: 25 maio 2024.

ACRP – Airport Cooperative Research Program (ACRP): **Report 64 – Handbook for Evaluating Emissions and Costs of APU and Alternative Systems**, Transportation Research Board, Washington, D.C. 86p., 2012.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil 2019/Ano-base 2018**. Volume único, 2020. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/inventario-nacional-de-emissoes_v6.pdf. Acesso em: 25 maio 2024.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. **Dados e estatísticas** – Consulta interativa, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-de-transporte-aereo/consulta-interativa>. Acesso em: 25 maio 2024.

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**, 2022. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/anuarios/>. Acesso em: 25 maio 2024.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Vendas de derivados de petróleo e etanol 2024**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/vendas-de-derivados-de-petroleo-e-biocombustiveis>. Acesso em: 25 maio 2024.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Produção nacional de petróleo e LGN (barris)**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/dados-abertos>. Acesso em: 25 maio 2024.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Produção nacional de petróleo e LGN (m³)**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/dados-abertos>. Acesso em: 25 maio 2024.

ANP trilhos – Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre Trilhos, 2021. **Balanco do Setor Metroferroviário**. Disponível em: <https://anptrilhos.org.br/balanco-do-setor-metroferroviariobrasileiro-2020-2021/>. Acesso em: 25 maio 2024.

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Estatístico Aquaviário 2023**. Disponível em: <https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/index.html>. Acesso em: 25 maio 2024.

ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. Sistema de Informações da Mobilidade Urbana. **Relatório Geral 2008**. São Paulo: ANTP, 2010.

ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. Sistema de Informações da Mobilidade Urbana. **Relatório Geral 2016**. São Paulo: ANTP, 2018. Disponível em: <http://www.antp.org.br/relatorios-a-partir-de-2014-nova-metodologia.html>. Acesso em: 25 maio 2024.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Evolução do transporte ferroviário de cargas**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Evolucao_do_Transporte_Ferroviario.html. Acesso em: 25 maio 2024.

BRIAND, Y.; PYE, S.; D'AGOSTO, M. A.; GOES, G. V.; SCHMITZ-GONÇALVES, D. N.; GARG, A.; GUPTA, D.; VISHWANATHAN, S. S.; SIAGIAN, U. W. R.; AHJUM, F.; TROLLIP, H. Passenger transport decarbonization in emerging economies: policy lessons from modelling long-term deep decarbonization pathways. **Climate Policy**, 1-21, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14693062.2023.2194859>.

BRIAND, Y.; GUPTA, D.; DE ALMEIDA D'AGOSTO, M.; VASCONCELOS GOES, G.; NEVES SCHMITZ GONÇALVES, D.; GARG, A.; SUDHARMMA VISHWANATHAN, S.; AHJUM, F.; TROLLIP, H.; MCCALL, B.; SIAGAN, U. W. R.; DEWI, R. G.; PYE, S.; COMBES, F.; KONING, M. A pathway design framework for sectoral deep decarbonisation: The case of freight transportation. **Climate Policy**. In press, 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco de energia útil**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/balanco-energetico-nacional/anteriores/4-eficiencia-no-uso-de-energia>. 2005. Acesso em: 25 maio 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013, Ano-base 2012. **Relatório Final**. Brasília, 2014.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Ministério de Ciência e Tecnologia. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **6ª Edição Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa Nacional do Brasil**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2022.

BRASIL. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima/Secretaria de Pesquisa e Formação Científica**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021.

BRASIL. **Quarto Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**. Relatórios de Referência: Setor Energia – Subsetor Queima de Combustíveis/Transporte Rodoviário. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2020.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Emissões veiculares no estado de São Paulo**, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>. Acesso em: 25 maio 2024.

EMEP/EEA – European Monitoring and Evaluation Programme/European Environment Agency. **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013**. Technical guidance to prepare national emission inventories. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>. Acesso em: 25 maio 2024.

EMEP/EEA – European Monitoring and Evaluation Programme/European Environment Agency. **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016**. Atualização Julho 2017. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>. Acesso em: 25 maio 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2023: Ano-Base 2022**. Anexo X – Matrizes abertas e Comercial 1970 a 2023. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>. Acesso em: 25 maio 2024.

EPL – Empresa de Planejamento e Logística S.A. **Plano Nacional de Logística – PNL 2035**. 2021. Disponível em: <https://portal.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-pnl/>. Acesso em: 25 maio 2024.

FENABRAVE – Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores. **Índices e números** – emplacamentos novos. São Paulo/SP, 2023. <http://www.fenabreve.org.br/Portal/conteudo/emplacamentos>.

FOI – SWEDISH DEFENSE RESEARCH AGENCY. **Base de dados de emissões de motores Turbo-hélice**. Comunicação pessoal, 2013.

GONÇALVES, D. N. S.; GOES, G. V.; D'AGOSTO M. D. A.; BANDEIRA, R. A. M. Energy use and emissions scenarios for transport to gauge progress toward national commitments. **Energy Policy**, v. 135, p. 110.997, 2019.

IBTS – Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável. **Transportes no Brasil: panorama e cenários prospectivos para atendimento da Contribuição Nacionalmente Determinada**. 2019. Disponível em: https://ibts.eco.br/src/uploads/2019/12/transportes-no-brasil_relatorio-de-referencia.pdf. Acesso em: 25 maio 2024.

IBTS – Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável. *In*: HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. G.; LIM, B.; TREANTON, K.; MAMATY, I.; BONDUKI, Y.; GRIGGS, D. J.; CALLENDER, B. A. (Eds.). **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Bracknell: UK Meteorological Office/IPCC/OECD/IEA, 1997.

IBTS – Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável. *In*: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, v. 2, Energy. Japan: IGES, 2006. IPCC, 2006. Disponível em: <https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. Acesso em: 31 maio 2024.

LA ROVERE E. *et al.* M. **Policy lessons on deep decarbonization in large emerging economies**, 2021. Disponível em: <https://www.iddri.org/en/publications-and-events/report/policy-lessons-deep-decarbonization-large-emerging-economies>. Acesso em: 25 maio 2024.

NTU – Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. **Anuário**. 2013 Disponível em: <https://ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub638272765778419772.pdf>. Acesso em: 25 maio 2024.

OACI – Organização da Aviação Civil Internacional. **Doc 9889 Airport Air Quality Manual – First Edition**, 2011. 200p.

PETROBRAS. **Produção e comercialização**, 2024. Disponível em: <https://www.investidorpetrobras.com.br/visao-geral/indicadores/producao-e-comercializacao-3/>. Acesso em: 25 maio 2024.

SENATRAN – Secretaria Nacional de Trânsito. **Frota de veículos 2022**. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2022>. 2023. Acesso em: 25 maio 2024.

SIECESC – Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina. **Dados estatísticos**, 2023. Disponível em: https://www.siecesc.com.br/dados_estatisticos/. Acesso em: 25 maio 2024.

REFERÊNCIAS DO SETOR PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS (Capítulo 5)

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio. **Anuário Estatístico**, 2013.

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio. **Dados de produção do alumínio primário**. Série histórica obtida diretamente junto à ABAL, 2019.

ABIC – Associação Brasileira da Indústria do Café. **Estatística**. Disponível em: <https://estatisticas.abic.com.br/>. Acesso em: 13 abr. 2024.

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **Dados do setor**, 2009. Informações recebidas por *e-mail* em: 21 jul. 2009.

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **Dados do setor**, 2012. Informações recebidas por *e-mail* em: 31 out. 2012.

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **Guia da indústria química brasileira – 2013/2014**. São Paulo: Departamento Econômico, 2014.

ABIQUIM. Associação Brasileira da Indústria Química. **Guia da indústria química brasileira – 2013/2014**. São Paulo: Departamento Econômico, 2015.

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **Anuário da indústria química Brasileira 1993/1995/1997/2000/2005 /2008/2012/2013/2016**. ABIQUIM, 2017.

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **Dados do setor**, 2017-2022. Informações recebidas por *e-mail* em: 21 jun. 2024.

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **Dados do setor**, 2020. Contribuições recebidas via consulta pública ao Quarto Inventário Nacional em: 13 mar. 2020.

ABIP – Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria. **Indicadores de anificação e confeitaria brasileira**. Disponível em: <https://www.abip.org.br/site/wp-content/uploads/2021/01/Indicadores2020-abip.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2024.

ABITRIGO – Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **Estatísticas**. Disponível em: <https://www.abitrigo.com.br/categoria-estatisticas/farinha-de-trigo/>. Acesso em: 23 maio 2024.

ABPC – Associação Brasileira de Produtores de Cal. **Cal, Sumário Mineral 2014**. Disponível em <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/sumarios/cal-sumario-mineral-2014/view>>. Acesso em: 5 dez. 2024.

ABRAFE – Associação Brasileira dos Produtores de Ferroligas e de Silício Metálico. **Estatístico ABRAFE**. Disponível em: <https://www.abrafe.ind.br/publicacoes/>. Acesso em: 12 dez. 2004.

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Boletim econômico ABRAVA**. Disponível em: https://abrava.com.br/wp-content/uploads/2022/01/ABRAVA-de-Portas-Abertas-2022_v_REsumida-DEE.pdf. Acesso em: 23 maio 2024.

ALBRAS – Alumínio Brasileiro. **Relatório de administração**: 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Balanco mineral brasileiro 2001**. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Sumário Mineral 2016**. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2016/view>. Acesso em: 5 dez. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Outras publicações – 4.6 Zinco**. 2017. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/4-6-zinco/view>.

BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do Clima**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004.

BRASIL. **Sistema de Inventário de Emissões de SF₆ em Sistemas Elétricos**. Pesquisa em coordenação com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2009.

BRASIL. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do Clima**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao_Nacional/Comunicacao_Nacional.html. Acesso em: 31 maio 2024.

BRASIL. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do Clima**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Relatórios de Referência: Setor IPPU – Indústria Mineral. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2015a.

BRASIL. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do Clima**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Relatórios de Referência: Setor IPPU – Subsetor Gases Substitutos para as Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2015b.

BRASIL. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume III**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. 45 p.: il.

BRASIL. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima/Secretaria de Pesquisa e Formação Científica**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021a.

BRASIL. **Quarto Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**. Relatórios de Referência: Setor IPPU – Indústria Mineral. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021b.

BRASIL. **Quarto Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**. Relatórios de Referência: Setor IPPU – Indústria Metalúrgica. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021c.

BRASIL. **Quarto Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal.** Relatórios de Referência: Setor Processos Industriais e Uso de Produtos – Subsetor Gases Substitutos para as Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021d.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Ministério de Ciência e Tecnologia. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **6ª Edição Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa Nacional do Brasil.** Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2022. p. 135.

CABRAL JR., M.; MOTTA, J. F. M.; ALMEIDA, A. S.; TANNO, L.C. Argila para Cerâmica Vermelha. **Rochas e minerais industriais**, cap. 33. 2. ed. CETEM, 2008.

CBA – Companhia Brasileira de Alumínio. **Relatório estatístico 2022.** Disponível em: <https://relatorioanual2022.cba.com.br/>. Acesso em: 30 abr. 2024.

CHEMOURS BRASIL. **Dados de importação de HFC-23 obtidos em comunicação direta com a empresa** Disponível em: 30 nov. 2019.

ELETROS – Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos. **Estatísticas, 2024.** Disponível em: <https://eletros.org.br/indicadores>. Acesso em: 27 abr. 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2023: Ano-Base 2022.** Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em: 4 abr. 2024.

GRUN, E. **Caracterização de Argilas Provenientes de Canelinha/SC e Estudo de Formulações de Massas Cerâmicas.** 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2007.

HABEDA, O. **Emissões de gases fluorados causadores de efeito estufa: desenvolvimento e análise de cenários para o Brasil até 2050.** Rio de Janeiro, 2017.

IABr – Instituto Aço Brasil. **Anuário Estatístico.** Produção brasileira de aço bruto. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Tabela 6705 – Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e os produtos. **Prodlist Indústria 2016.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6705>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Anuário Estatístico.** Produção brasileira de aço bruto. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Conteúdo de carbono dos combustíveis, 2020.** Contribuições recebidas via consulta pública ao Quarto Inventário Nacional em: 10 mar. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Tabela 6705 – Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e os produtos. **Prodlist Indústria 2021.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6705>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, 2024a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>. Acesso em: 13 abr. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA: Tabela 7752 – Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e os produtos, **Prodlist Indústria 2024**. 2024b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7752>. Acesso em: 18 abr. 2024.

IBA – Indústria Brasileira de Árvores. **Dados do setor**, 2019. Disponível em: www.iba.org/publicacoes/relatorios. Acesso em: 13 out. 2019.

IBA – **Relatório Anual 2023**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>. Acesso em: 12 maio 2024.

IBA – **Relatório Anual 2021**. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>. Acesso em: 12 maio 2024.

IBRAVIN – Instituto Brasileiro do Vinho. **Dados estatísticos**. Disponível em: http://www2.agricultura.rs.gov.br/uploads/1267560343ibravin_org_br.htm. Acesso em: dez. 2023.

INFOMONEY. **Vendas de automóveis: dados estatísticos**. Disponível em: www.infomoney.com.br/dados-estatisticos. Acesso em: abr. 2024.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *In*: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, v. 3, Industrial Processes and Product Use. Japan: IGES, 2006. IPCC, 2006b.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *In*: HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. G.; LIM, B.; TREANTON, K.; MAMATY, I.; BONDUKI, Y.; GRIGGS, D. J.; CALLENDER, B. A. (Eds.). **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Bracknell: UK Meteorological Office/IPCC/OECD/IEA, 1997.

LITTLE, A. D. Global Comparative Analysis of HFC and Alternative Technologies for Refrigeration, Air Conditioning, Foam, Solvent, Aerosol Propellant, and Fire Protection Applications A. D. Little Report. **The Alliance for Responsible Atmospheric Policy**, 1999.

LIMA, L. K. S. *et al.* Estudo da composição química de argilas na formação de novas fases cristalinas em materiais cerâmicos. 22º CBECiMat – **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Natal, 6-10 nov. 2016.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Sistema oficial para extração das estatísticas do comércio exterior brasileiro de bens. **Comex Stat, 2024**. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 4 jun. 2024.

MITSIDI PROJETOS. **Kigali Project Regulatory impact analysis: data collection phase**. São Paulo, 30 ago. 2018. (desenvolvido para ICS – Instituto Clima e Sociedade).

MME – Ministério das Minas e Energia. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos 2006/2007/2009/2012/2014/2015/2016/2017/2018/2019**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos>. Acesso em: mar. 2024.

MME – Ministério das Minas e Energia. **Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico 2000/2005/2010/2013/2019**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos>. Acesso em: mar. 2024.

MME – Ministério das Minas e Energia. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos 2020 ano base 2019**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília: MME, 2020a.

MME – Ministério das Minas e Energia. **Boletim do Setor Mineral 2020 [outubro]**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília: MME, 2020b.

MME – Ministério das Minas e Energia. **Anuário Estatístico 2021 do Setor Metalúrgico**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília: MME, 2022a.

MME – Ministério das Minas e Energia. **Anuário Estatístico 2021 do Setor de Transformação de Não Metálicos**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília: MME, 2022b.

MOTTA, J. F. M. *et al.* Características do Polo de Revestimentos Cerâmicos de Santa Gertrudes – SP, com Ênfase na Produção de Argilas, **Cerâmica Industrial**, 9 (1) jan.-fev. 2004.

MOTTA, J. F. M.; TANNO, L. C.; CABRAL JR. M. Argilas plásticas para cerâmica branca no estado de São Paulo: Potencialidade geológica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n. 2, p. 158-173, jun. 1993.

OLIVEIRA, O. M. **Caracterização de uma argila caulinítica de Vitória da Conquista – Bahia**. Dissertação (Mestrado Profissional de Engenharia de Materiais) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia. São Paulo, 2011.

PRADO, C. M. O. **Caracterização química e mineralógica das argilas utilizadas na produção de cerâmica vermelha no estado de Sergipe**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão-SE, 2011.

PROZON. **Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e do Consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio – PBCO**. Revisão Geral. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1999.

PEREIRA, P. S. *et al.* **Caracterização de argila utilizada para fabricação de cerâmica vermelha**. 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Porto de Galinhas: 29 maio-1 jun. 2011.

ROCHA, R. R.; ZANARDO, A.; MORENO, M. M. T.; SOUZA, C. E. M. **Comparação das características mineralógicas da formação Corumbataí com uma massa para revestimentos cerâmicos via úmida**. 2009. Disponível em: www.osti.gov/etdweb/servlets/purl/21513739.

RODRIGUES, H. M.; SALVETTI, A. R. **Estudo de Argilas do Estado de Mato Grosso do Sul**. Parte 2: Regiões Norte e Leste. CCET Campo Grande MS. Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Florianópolis: 2-5 jun. 1999.

RODRIGUES, H. M.; SALVETTI, A. R. **Estudo de Argilas do Estado de Mato Grosso do Sul – Parte 3: Região Sudeste**. CCET Campo Grande MS. Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Florianópolis-SC: 2-5 jun. 1999.

SAVAZZINI-REIS, A.; DELLA-SAGRILLO, V. P.; VALENZUELA-DIAZ, F. R. **Caracterização e propriedades cerâmicas de argilas usadas em cerâmica vermelha no estado**

do Espírito Santo. 22º CBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal, 6-10 nov. 2016.

SENNA, J. A. **Caracterização de argilas de utilização na indústria cerâmica por espectros de reflectância.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. Campinas, 2003.

SILVA, S. A. B. **Estudos para a utilização dos argilominerais das jazidas de gipsita do Araripe PE para produção de pigmentos naturais.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CCEN, Química Fundamental, 2008.

SILVEIRA, G. C. L.; SALLET, R. G. Caracterização físico-química de argilas do município de Itajá-RN para utilização em indústria cerâmica vermelha. **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2002.

SILVEIRA, G. C. L.; SILVA, D. D.; GALHIANE, M. S. Caracterização físico-química de argilas para aplicação de cerâmica estrutural. **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, 14, 2000, São Pedro/SP. Anais.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Relatório Anual, 2022.** Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2022.pdf. Acesso em: 7 abr. 2024.

SOUSA, S. J. G. **Desenvolvimento de massas cerâmicas processadas por via seca com matérias-primas do norte fluminense visando aplicação em revestimento poroso.** Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Campos dos Goytacazes, 2008.

UNFCCC – United Nations Framework Convention On Climate Change. **Clean Development Mechanism**, 2024. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>. Acesso em: 31 maio 2024.

UNEP – United Nations Environment Programme. **The Kigali Amendment to the Montreal Protocol:** HFC Phase-down. Disponível em: www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/7809-e-Factsheet_Kigali_Amendment_to_MP_2017.pdf.

VIEIRA, J. D. P. **Estudo do efeito da substituição de caulim por resíduo de caulim na fabricação de cerâmica de revestimento.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development. **CO₂ and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry: The Cement CO₂ and Energy Protocol.** Cement Sustainability Initiative. WBCSD, 2011. Disponível em: <https://docs.wbcsd.org/2011/05/CSI-CO2-Protocol.pdf>. Acesso em: abr. 2024.

WHITE MARTINS. **Comunicação da empresa.** 2010.

REFERÊNCIAS DO SETOR AGROPECUÁRIA (Capítulo 6)

- ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatórios anuais**. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais> Acesso em: 15 jun. 2019.
- ABRACAL – Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola. **Calcário Agrícola – Brasil, 2022**. Informações recebidas por *e-mail* em: 19 dez. 2018.
- ANDA – Associação Nacional para difusão de Adubos. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes 1990-2016**. São Paulo: ANDA, 2021.
- ANDREA, M. O.; MERLET, P. **Emission of trace gases and aerosols from biomass burning**. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 15, p. 955-966, 2001.
- FNP. ANUALPEC – Anuário da Pecuária Brasileira. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: FNP, 2017.
- FNP. ANUALPEC – Anuário da Pecuária Brasileira. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: FNP, 2013.
- FNP. ANUALPEC – Anuário da Pecuária Brasileira. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: FNP, 2005.
- FNP. ANUALPEC – Anuário da Pecuária Brasileira. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: FNP, 2001.
- FNP. ANUALPEC – Anuário da Pecuária Brasileira. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: FNP, 1997.
- ASSIS, A. G. de; STOCK, L. A.; CAMPOS, O. F. de; GOMES, A. T.; ZOCCAL, R.; SILVA, M. R. **Sistemas de produção de leite no Brasil**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica, 85. 2005. 5 p.
- BASTOS, D. F. **Emissão direta de N₂O da urina e fezes de bovinos e ovinos em sistemas pecuários do Sul do Brasil**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018. 115 p. Tese (doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.
- BERNARDINHO, C. A. R.; MAHLER, C. F.; VELOSO, M. C. C.; ROMEIRO, G. A.; SCHROEDER, P. Torta de Filtro, Resíduo da Indústria Sucroalcooleira – Uma Avaliação por Pirólise Lenta. **Revista Virtual Química**, v. 10, n. 3, p. 551-573, Niterói, 2018.
- BONASSA, G.; SCHNEIDER, L. T.; FRIGO, K. D. A.; FEIDEN, A.; TELEKEN J. G.; FRIGO, E. P. Subprodutos gerados na produção de bioetanol: Bagaço, torta de filtro, água de lavagem e palhagem. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 144-166, 2015.
- BRAGA JR., R. L. C.; LANDELL, M. G. A.; SILVA, D. N.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, T. N.; THOMAZINHO JR., J. R.; SILVA, V. H. P. **Censo varietal IAC de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil – Safra 2016/17**. Campinas: Instituto Agrônomo (IAC), 2017.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume III**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. 45 p.: il.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima/Secretaria de Pesquisa e Formação Científica**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021. 620p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Quarto Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**. Relatórios de Referência: Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2020. 314 p.: il. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso: 2 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS**. 2012. Disponível em: www.mma.gov.br/projeto-demonitoramento-do-desmatamento-nos-biomas-brasileiros-por-sat%C3%A9lite-pmdbbs.html.

CARVALHO, M. M.; MARTINS, C. E.; VERNEQUE, R. DA S.; SIQUEIRA, C. Resposta de uma espécie de braquiária a fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 15, n. 2, p. 195-200, 1991.

CEPEA/CNA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da ESALQ/USP (CEPEA)/Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **O Boletim Mercado de Trabalho do Agronegócio Brasileiro**. 4º trimestre 2023, 2024. Disponível em: <https://cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Boletim%20Mercado%20de%20Trabalho%20do%20Agronegocio%20-%204T2023.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2024.

ELIA NETO, A.; NAKAHODO, T. **Caracterização físico-química da vinhaça projeto no 9500278**. Relatório Técnico da Seção de Tecnologia de Tratamento de Águas do Centro de Tecnologia. Piracicaba, Coopercucar, p. 26, 1995.

ELIA NETO, A. **Estado da arte da vinhaça**. União da Indústria de cana-de-açúcar (UNICA). São Paulo/Piracicaba, 2016.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Árvore do Conhecimento Cana-de-açúcar**, 2019. Disponível em: www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_109_22122006154841.html. Acesso em: 7 maio 2019.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Dados conjunturais da produção de arroz (Oryza sativa L.) no Brasil (1986 a 2018)**: área, produção e rendimento. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2018. Disponível em: www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm. Acesso em: 24 ago. 2018.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Arroz E Feijão. Dados conjunturais da produção de arroz (Oryza sativa L.) no Brasil (1986 a 2019)**: área, produção e rendimento. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021. Disponível em: www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Área cultivada e período de cultivo. Comunicação pessoal, 2019.

FABRICE, C. E. S *et al.* Atributos químicos do solo, reservas orgânicas e sistema radicular de pastos degradados associada à introdução de leguminosa. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 1.721-1.730, 2014.

FRANÇA, D. A. *et al.* Pre-harvest sugarcane burning: Determination of emission factors through laboratory measurements. **Atmosphere**, v. 3, n. 1, p. 164-180, 2012.

FRANCO, H. C. J. *et al.* Estoques de Nutrientes em Resíduos Culturais Incorporados ao Solo na Reforma de Áreas Com Cana-de-açúcar. **Sociedade das Técnicas Açucareiras e Alcooleiros do Brasil (STAB)**, v. 25, p. 32-38, 2007.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**. Relatório técnico, período 2021-2022. 2023. São Paulo. 59 p.

GURGEL, M. N. A. **Tecnologia para aproveitamento de resíduos da agroindústria sucroalcooleira como biofertilizante organomineral granulado**. 114 f. Tese (doutorado em engenharia agrícola na área de concentração em águas e solos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

HASSUANI, S.J.; LEAL, M.R.L.V.; MACEDO, I. C. **Biomass Power Generation: Sugarcane Bagasse and Trash**. Piracicaba: PNUD Brasil; Centro de Tecnologia Canavieira, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. SIDRA – **Censo Agropecuário – 1996**. IBGE, 1996. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censoagropecuario-1995-1996>. Acesso em: 4 out. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. SIDRA – **Censo Agropecuário – 2006**. Tabela 1421. IBGE, 2006. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1421>. Acesso em: out. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa pecuária municipal 1990-2022**. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). 2024a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas/brasil/2016>. Acesso em: 18 julho 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal 1990-2022**. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). 2024b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 18 julho 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Solos do Brasil**, 2001. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos>. Acesso em: 1º nov. 2018.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP – **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação Geral de Observação da Terra. Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas. **Desmatamento – Amazônia Legal**. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 1º fev. 2024a.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Avisos – Bioma Cerrado**. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 1º fev. 2024a.

IRGA – Instituto Rio-Grandense do Arroz. **Setor de Política Setorial**. Porto Alegre, 2018.

IVO, W. D. M. *et al.* Produção e decomposição de palhada em área de cultivo de cana-de-açúcar, nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. *In: Embrapa Tabuleiros Costeiros-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, v. 35. O solo e suas múltiplas funções: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

LOPES, M. L. A.; CARVALHO, L. R. F. Estimativas de Emissão de Gases Provenientes da Queima de cana-de-açúcar em Escala Regional. *In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA*, 32, Brasil. Proceedings. Fortaleza, 30 maio-2 jun. 2009.

MANZATTO, C. V. *et al.* Mitigação das emissões de Gases de Efeitos Estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC: estimativas parciais. Documentos/Embrapa Meio Ambiente, 1516-4691; 122. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2020. Disponível em: www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1123612/mitigacao-das-emissoes-de-gases-de-efeitosestufa-pela-adocao-das-tecnologias-do-planoabc-estimativas-parciais. Acesso: 17 dez. 2020.

MARQUES, T. A.; PINTO, L. Energia da biomassa de cana-de-açúcar sob influência de hidrogel, cobertura vegetal e profundidade de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 6, 2013.

OLIVEIRA, B. G. DE; *et al.* Soil greenhouse gas fluxes from vinasse application in Brazilian sugarcane areas. **Geoderma**, 2013. p. 77-84.

OLIVEIRA, O. C. DE; OLIVEIRA, I. P. DE; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Chemical and biological indicators of decline/ degradation of Brachiaria pastures in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, p. 289-300, 2004.

PICCOLO *et al.* Root System in Tropical Pasture Restoration Treatments in Rondonia, Brazil. In: XX International Grassland Congress, 2005. *In: XX International Grassland Congress: Offered paper*, Irland, 2005.

PAREDES, D. DA S.; LESSA, A. C. DA R.; SANT'ANNA, S. A. C. DE; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R. Nitrous oxide emission and ammonia volatilization induced by vinasse and N fertilizer application in a sugarcane crop at Rio de Janeiro, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 98, p. 41-55, 2014. DOI: 10.1007.

RIDESA – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. **Censo Varietal Brasil, 2018**. Disponível em: www.ridesa.com.br/censo-varietal. Acesso em: 1º dez. 2018.

S&P GLOBAL. ANUALPEC – Anuário da Pecuária Brasileira. **Anuário da Pecuária Brasileira**. São Paulo: S&P GLOBAL, 2022.

SANTOS, R. S. M.; OLIVEIRA, I. P.; MORAIS, R. F.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Componentes da parte aérea e raízes de pastagens de Brachiaria spp. em diferentes idades após a reforma, como indicadores de produtividade em ambiente de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 2, p. 119-124, 2007.

SESI – SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA. **Mapeamento da suinocultura brasileira**. Disponível em: www.abcs.org.br/informativo-abcs/2364-mapeamentoda-suinocultura-brasileira-ja-esta-disponivel-no-site-da-abcs. Acesso em: 15 jun. 2019.

SIQUEIRA NETO, M.; GALDOS, M. V.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Direct N₂O emission factors for synthetic N-fertilizer and organic residues applied on sugarcane for bioethanol production in Central-Southern Brazil. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 8, p. 269-280. DOI: 10.1111, 2016.

SOUSA NETO, E. R. **Fluxos de óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) a partir de um solo cultivado com cana-de-açúcar sob diversos tratos culturais**. Tese (doutorado em ciências na área de química na agricultura e no ambiente) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 84 p., 2012.

TASSO JÚNIOR, L. C.; SILVA NETO, H. F.; MARQUES, M. O.; CAMILOTTI, F. Desempenho de cultivares de cana-de-açúcar nas condições de cana-planta de ano e meio (safra 2008/2009). **Ciência e Tecnologia: FATEC-JB**, Jaboticabal, v. 2, n. 1, p. 14-26, 2011.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Produção e Acompanhamento de Safra, 2019**. Disponível em: www.unicadata.com.br. Acesso em: 1º maio 2019.

XAVIER, A. C. **Dados diários de variáveis climatológicas no Brasil, 2019**. Disponível em: <https://sites.google.com/site/alexandreacandidoxavierufes/home>. Acesso em: 20 mar. 2019.

YAN, X.; YAGI, K.; AKIYAMA, H.; AKIMOTO, H. Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields. **Global Change Biology**, v. 11, p. 1.131-1.141, 2005.

YOKELSON, R. J.; CHRISTIAN, T. J.; KARL, T. G.; GUENTHER, A. The tropical forest and fire emissions experiment: laboratory fire measurements and synthesis of campaign data. **Atmos. Chem. Phys.**, v. 8, p. 3.509-3.527, 2008.

REFERÊNCIAS DO SETOR USO DA TERRA, MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS (Capítulo 7)

ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012. Brasília, 2018. Disponível em: www.ipef.br/estatisticas. Acessado em: 16 set. 2018. 2018.

ARAÚJO, T. M. *et al.* Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. **Forest Ecology Management**, v. 117, n. 1-3, p. 43-52, 1999.

BALCH, J. K. *et al.* Negative fire feedback in a transitional forest of southeastern Amazonia. **Global Change Biology**, v. 14, n. 10, p. 2.276-2.287, 2008.

BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M. Above-ground biomass and the fate of carbon after burning in the savannas of Roraima, Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 216, n. 1-3, p. 295-316, 2005.

BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M. Wood density of trees in open savannas of the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 199, p. 115-123, 2004.

BERNOUX, M. *et al.* Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 888-896, 2002.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério de Ciência e Tecnologia. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do Clima**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004. p. 274.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério de Ciência e Tecnologia. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do Clima**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Terceiro Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**. Relatórios de Referência: Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2015. 45 p.: il. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso: 30 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume III**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. 45 p.: il.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Quarto Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**. Relatórios de Referência: Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2020. 314 p.: il. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso: 2 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Quarta**

Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima / Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021. 620p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Ministério de Ciência e Tecnologia. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **6ª Edição Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa Nacional do Brasil.** Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2022. p. 135.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm):** 5ª fase do PPCDAm. 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/combate-ao-desmatamento-queimadas-e-ordenamento-ambiental-territorial/controle-do-desmatamento-1/amazonia-ppcdam-1>. Acesso em: 18 set. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Bioma Cerrado (PPCerrado):** 4ª fase do PPCerrado. 2023c. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/combate-ao-desmatamento-queimadas-e-ordenamento-ambiental-territorial/controle-do-desmatamento-1/ppcerrado/ppcerrado_4fase.pdf. Acesso em: 18 set. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006.** Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF, 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm. Acesso em: 18 set. 2024.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer.** Food; Agriculture Org, v. 134, 1997.

CARVALHO, JR. A. *et al.* A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the Manaus region. **Atmospheric Environment**, v. 29, n. 17, p. 2301-2309, 1995.

CARVALHO, JR. A. *et al.* Biomass fire consumption and carbon release rates of rainforest-clearing experiments conducted in Northern Mato Grosso, Brazil. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 106, n. D16, p. 17.877-17.887, 2001.

CARVALHO, JR. A. *et al.* Combustion completeness in a rainforest clearing experiment in Manaus, Brazil. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 103, n. D11, p. 13.195-13.199, 1998.

CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, E. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: A vegetation gradient of aboveground biomass, rootmass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, p. 263-283, 1998.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos.** Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2003.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. FRA – Forest Resources Assessment Working Paper 180. **FRA 2015 Terms and Definitions Global Forest Resources Assessment 2015.** How are the world's forests changing? Second edition. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Rome, 2012. 31p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. FRA – Global Forest Resources Assessment. **Country Report: Brazil.** Rome: FAO, 2015. 148 p. Disponível em: www.fao.org/3/a-az172e.pdf.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. The FAO's Forest Product Statistics (FAOSTAT). **Forestry Production and Trade.** Disponível em: <https://www.fao.org/forestry-fao/statistics/84922/en/>. Acesso em: 2 fev. 2024.

FEARNSIDE, P. M. *et al.* Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 98, n. D9, p. 16.733-16.743, 1993.

FEARNSIDE, P. M. *et al.* Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. **Forest Ecology and Management**, v. 123, n. 1, p. 65-79, 1999.

FEARNSIDE, P. M. *et al.* Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 146, n. 1, p. 115-128, 2001.

FIDELIS, A. *et al.* Fire intensity and severity in Brazilian campos grasslands. **Interciencia**, v. 35, n. 10, p. 739-745, 2010.

FUNAI – Fundação Nacional dos Povos Indígenas. Terras Indígenas: Dados Geoespaciais e Mapas. Disponível em: Terras Indígenas: Dados Geoespaciais e Mapas – Fundação Nacional dos Povos Indígenas (www.gov.br). Acesso em: 19 jul. 2018.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**. Relatório técnico, período 2021-2022. 2023. São Paulo. 59 p.

GRAÇA, P. M. L. A.; FEARNSIDE, P. M.; CERRI, C. C. Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondônia, Brazil: Biomass, charcoal formation and burning efficiency. **Forest Ecology and Management**, v. 120, n. 1-3, p. 179-191, 1999.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59-70, 2002.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2016**. São Paulo, 2016. 96 p.

IBÁ – **Relatório IBÁ 2017**. São Paulo, 2017. 78 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisas agropecuárias, Relatórios metodológicos**, v. 6, 2. ed., Rio de Janeiro: IBGE, 92p., 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira, manuais técnicos em geociências**. Divulga os procedimentos metodológicos utilizados nos estudos e pesquisas de geociências. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: Séries Manuais Técnicos em Geociências, n. 1, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017a. Disponível em: www.ibge.gov.br/geociencias/informacoesambientais/vegetacao/22453-cartas-1-250-000.html?=&t=acesso-ao-produto.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil** - 1:250 000. IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/15842-biomass.html>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas de biomass e vegetação do Brasil**. Brasília-DF: 2004. Disponível em: www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomasshtml.shtm.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Quantidade produzida e valor da produção na extração vegetal, por tipo extrativo (lenha e madeira em tora de 1990 a 2016). *In: Sistema*

IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Tabela 289. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289>. Acesso em: 5 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Quantidade produzida e valor da produção na extração vegetal, por tipo extrativo (lenha e madeira em tora de 1990 a 2016). *In: Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).* Tabela 289. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289>. Acesso em: 4 fev. 2024

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área plantada das lavouras temporárias para o Brasil e Unidades da Federação (1994, 2002, 2005 e 2010). *In: Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).* Tabela 1612. Rio de Janeiro, 2018a. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br/bda. Acesso em: 18 nov. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área destinada à colheita das lavouras permanentes para o Brasil e Unidades da Federação em 1994, 2002, 2005 e 2010. *In: Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).* Tabela 1613. Rio de Janeiro, 2018b. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br/bda. Acesso em: 18 nov. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área dos estabelecimentos, por utilização das terras, condição legal do produtor, direção dos trabalhos do estabelecimento agropecuário e grupos de área total para o Brasil e Unidades da Federação em 2017b. *In: Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).* Tabela 6722. Rio de Janeiro, 2018c. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br/bda. Acesso em: 18 nov. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área com plantio direto na palha. *In: Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).* Tabela 6640. Rio de Janeiro, 2018d. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br/bda. Acesso em: 18 nov. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área plantada ou destinada à colheita. *In: Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).* Tabela 5457. Rio de Janeiro, 2018e. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br/bda.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Dados geoespaciais de referência da Cartografia Nacional e dados temáticos produzidos no ICMBio.** Unidades de Conservação Federais, RPPN, Centros de Pesquisa e Coordenações Regionais. Brasília, 2018. Disponível em: www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/servicos/geoprocessamento/DCOL/dados_vetoriais/MapaUCS_junho_2019_web.pdf. Acesso em: 19 jul. 2018 e 31 jul. 2018.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação Geral de Observação da Terra. Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas. **Desmatamento** – Amazônia Legal. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 1º fev. 2024a.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação Geral de Observação da Terra. Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas. **Avisos** – Bioma cerrado. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 1º fev. 2024a.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry.** Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies, 2003.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *In: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, v. 1, General Guidance and Reporting. Japan: IGES, 2006. IPCC, 2006. Disponível em: <https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. Acesso em: 31 maio 2024.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *In: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, v. 4,

AFOLU. Japan: IGES, 2006. IPCC, 2006. Disponível em: <https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. Acesso em: 31 maio 2024.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *In*: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, v. 5, Waste. Japan: IGES, 2006. IPCC, 2006. Disponível em: <https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. Acesso em: 31 maio 2024.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* Fire in the Brazilian Amazon: 1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. **Oecologia**, n. 104, v. 4, p. 397-408, 1995.

MARTINEZ, D. T. **Seleção genética de *Acacia mearnsii* De wild. (acácia-negra) visando o aumento da qualidade e produtividade de madeira e tanino no Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006, 90 p.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS**. 2012. Disponível em: www.mma.gov.br/projeto-demonitoramento-do-desmatamento-nos-biomas-brasileiros-por-sat%C3%A9lite-pmdbbs.html.

MOCHIUTTI, S. **Produtividade e sustentabilidade de plantações de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) no Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007, 270 p.

NOGUEIRA, E. M. *et al.* Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 11, p. 1.853-1.867, 2008.

OGLE, S. M.; CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K. Deriving grassland management factors for a carbon accounting approach developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Environmental Management**, v. 33, n. 2, p. 474-484, 2004.

OGLE, S. M.; BREIDT, F. J.; PAUSTIAN, K. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. **Biogeochemistry**, v. 72, n. 1, p. 87-121, 2005.

OLIVEIRA, D. C. **Potencial de sequestro de carbono no solo e dinâmica da matéria orgânica em pastagens degradadas no Brasil**. Tese (Doutorado em Ciências) – USP/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP, 2018, p. 82.

OMETTO, J. P.; GORGENS, E. B.; DE SOUZA PEREIRA, F. R.; SATO, L.; DE ASSIS, M. L. R.; CANTINHO, R.; LONGO, M.; JACON, A. D.; KELLER, M. A biomass map of the Brazilian Amazon from multisource remote sensing. **Scientific Data**, v. 10, n.1, p. 668, 2023.

OMETTO, J. P. H. B. *et al.* The stable carbon and nitrogen isotopic composition of vegetation in tropical forests of the Amazon Basin, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 79, p. 251-274, 2006.

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M. **Mixed-Effects Models in S and S-PLUS**. Nova York: Springer, 2000. p. 528.

PINHEIRO, E. D. S. **Análises ecológicas e sensoriamento remoto aplicados à estimativa de fitomassa de Cerrado na estação ecológica de Assis, SP**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2008.

SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; BALBINOT, R. Uso de equações para estimar carbono orgânico em plantações de *Acacia mearnsii* De Wild. Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 5, p. 907-915, 2009.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; SOBRINHO, V. G.; SCHNEIDER, P. S. P. Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 391-402, 2005.

SCOLFORO, J. R. *et al.* Volumetria, peso de matéria seca e carbono para o domínio Cerrado em Minas Gerais, *In: SCOLFORO, J. R. et al. (ed.). Inventário Florestal de Minas Gerais: Cerrado – Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal.* Lavras: UFLA, 2008b. p. 361-498.

SISTI, C. P. J. *et al.* Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SOS PANTANAL. **Atlas do Monitoramento da Cobertura Vegetal da Bacia do Alto Paraguai – Pantanal**, Período de Análise: 2018 a 2019 da SOS Pantanal, com execução técnica da ArcPlan Sigga. Abril de 2020, 41p.

WARD, D. E. *et al.* Smoke and fire characteristics for cerrado and deforestation burns in Brazil: BASE-B experiment. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 97, n. D13, p. 14.601-14.619, 1992.

REFERÊNCIAS SETOR RESÍDUOS (Capítulo 8)

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209:2011**. Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 53 p.

ABLV – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE LÁCTEOS LONGA VIDA. **Relatórios Anuais**. 2022. Disponível em: <https://ablv.org.br/o-setor/relatorio-ablv/>. Acesso em: 31 maio 2024.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas esgotos**. 2013. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/0ac689335d1641d2b88a32312d22c9ac/explore>. Acesso em: 31 maio 2024.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Relatórios de Referência. Emissões de Gases de Efeito Estufa no Tratamento e Disposição de Resíduos. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. 100 p. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao_Nacional/Comunicacao_Nacional.html. Acesso em: 31 maio 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **SINIR – Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2015. Disponível em: <https://sinir.gov.br/planos-de-residuos-solidos/planos-municipais-degestao-integrada-de-residuos-solidos>. Acesso em: 31 maio 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) Série Histórica**. Brasília: Ministério das Cidades, 2022. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 31 maio 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Relatórios de Referência: Setor Resíduos. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2015. 70 p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Relatórios de Referência: Setor Resíduos. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021. 620 p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima / Secretaria de Pesquisa e Formação Científica**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021b.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Ministério de Ciência e Tecnologia. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **6ª Edição Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa Nacional do Brasil**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2022. 137 p.: iL. Disponível em: [https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o)

mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/6a-ed-estimativas-anuais.pdf. Acesso em: 31 maio. 2024.

CARVALHO, D, S.; ZAMBIAZI, R. C. **Avaliação do Processo Fermentativo de Cerveja Pilsen pelo Uso de Diferentes Concentrações de *Saccharomyces cerevisiae***. Alim. Nutr., Araraquara, v. 22, n.3, p. 351-357, 2011. Disponível em: https://www.academia.edu/30406857/AVALIA%C3%87%C3%83O_DO_PROCESSO_FERMENTATIVO_DE_CERVEJA_PILSEN_PELo_USO_DE_DIFERENTES_CONCENTRA%C3%87%C3%95ES_DE_SACCHAROMYCES_CEREVISIAE?auto=download Acesso em: 31 maio 2024.

CTC – Centro de Tecnologia Canavieira. **Caracterização físico-química da vinhaça**: Projeto nº 9500278. Relatório Técnico da Seção de Tecnologia de Tratamento de Águas do Centro de tecnologia Copersucar. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira, 1995. 26 p.

ELIA NETO, A., *et al.* **Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética**. ANA-Agência Nacional de Águas, FIESP-Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, UNICA-União da Indústria da Cana-de-açúcar, CTC-Centro de Tecnologia Canavieira. Brasília, 2009. 239 p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT, Dietary energy protein and fat consumption**. 2009. Disponível em: <https://www.fao.org/4/am079m/PDF/am079m01d.pdf>. Acesso em: 31 maio 2024.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical Yearbook 2022**. Table 45 – Average Protein Supply by Origin (gram per capita per day). Rome. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc2211en>. Acesso em: 31 maio 2024.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical Yearbook 2023**. Table 45 – Average Protein Supply by Origin (gram per capita per D=day). Rome. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc8166en>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBA – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatórios Anuais**. 2023. Disponível em: <https://iba.org/historico-de-desempenho#celulose-1>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Limpeza pública e remoção de lixo 1977**. 1980a. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/41/limp_pub_remocao_lixo_1977_v1.pdf. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IX Recenseamento Geral do Brasil – 1980**: Inquérito Especial: IE 08 – Limpeza Pública e Remoção de Lixo. 1980b. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=53402>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Limpeza pública e remoção de lixo 1983**. 1988. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/41/limp_pub_remocao_lixo_1983_v2.pdf. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 1980**. Tabelas selecionadas sobre rendimentos. Pessoas, famílias, domicílios. 1991a. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=221986>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 1991**. Agregado por setores. Resultados do universo. Brasil. 1991b. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=293715>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico** – PNSB 1989. 1994. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?view=detalhes&id=284395>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico** – PNSB 2000. 2000a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pnsb/pnsb-2000>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População Residente Estimada 1992 a 1995; 1997 a 1999**. 2000b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=17283&t=downloads>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2000**. Tabela 1439 – Domicílios particulares permanentes e Moradores em Domicílios particulares permanentes por situação e destino do lixo. 2002a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1439>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2000**. Tabela 1447 – Domicílios particulares permanentes por situação, tipo do domicílio e destino do lixo. 2002b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1447>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem da População 1996 e 2007**. 2008a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/19878-1996-contagem2.html?edicao=10191&t=downloads>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico** – PNSB 2008. 2008b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pnsb/pnsb-2008>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censos Demográficos 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010**. Tabela 200 – População residente, por sexo, situação e grupos de idade – Amostra – Características Gerais da População. 2012. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/200>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Industrial Anual**. 2019a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9044-pesquisa-industrialanual-produto.html?edicao=17134&t=downloads>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio** – PNAD, Anos 1967 a 2013. 2019b. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=759>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio** – PNAD, Anos 1992 a 2015. 2019c. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?edicao=9451&t=downloads>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico** – PNSB 2017. Tabela 7479 – Municípios com serviço de esgotamento sanitário por rede coletora em funcionamento e com ETEs em operação e volume de esgoto tratado por dia, por tipo de tratamento. 2021a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/7479>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico** – PNSB 2017. Tabela 7502 – Municípios com serviço de esgotamento sanitário por rede coletora em funcionamento e com ETEs em operação, por tipos e processos de tratamento de esgoto. 2021b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/7502>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico** – PNSB 2017. Tabela 7510 – Número de ligações esgotadas ativas, número de economias esgotadas ativas e volume de esgoto coletado e faturado por dia, por tipos de ligações ou economias. 2021c. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/7510>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua anual** – PNADCA, 2016-2019; 2022. Tabela 6736 – Domicílios e Moradores, por situação do domicílio e destino do lixo. 2023a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6736>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua anual** – PNADCA, 2016-2018. Tabela 6735 – Domicílios e Moradores com banheiro, sanitário ou buraco para dejeções, por situação do domicílio e tipo de esgotamento sanitário. 2023b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6735>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua anual** – PNADCA, 2019 e 2022. Tabela 7192 – Domicílios e Moradores com banheiro, sanitário ou buraco para dejeções, por situação do domicílio e tipo de esgotamento sanitário. 2023c. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/7192>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População Residente Estimada 2001 a 2006; 2008; 2009; 2011 a 2021**. 2023d. Tabela 6579 – População residente estimada. 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 1990-2022**. Tabela 74 – Produção de origem animal, por tipo de produto. 2023e. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=784>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022**. Tabela 6892 – Domicílios particulares permanentes ocupados, por destino do lixo. 2024a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6892>. Acesso em: 31 maio 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022**. Tabela 9514 – População residente, por sexo, idade e forma de declaração da idade. 2024b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/9514>. Acesso em: 31 maio 2024.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories**. 2000. Disponível em: <https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gp/english>. Acesso em: 31 maio 2024.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *In*: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse**

Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, v. 5, Waste. Japan: IGES, 2006. IPCC, 2006. Disponível em: <https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. Acesso em: 31 maio 2024.

MICHAEL, S. U. H. R.; GABRIELE, K. L. E. I. N.; IOANNA, K. O. U. R. T. I.; MIGUEL, R. G.; GERMAN, G. S.; SERGE, R. O. U. D. I. E. R.; LUIS, D. S. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. **Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)**, 2015. Disponível em: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/PP_revised_BREF_2015.pdf. Acesso em: 31 maio 2024.

SINDIPETROLEO. **Tabelas de Densidade dos Combustíveis.** 2013. Disponível em: <https://www.sindipetroleo.com.br/portal/conteudo-exclusivo/>. Acesso em: 31 maio 2024.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Histórico de produção e moagem de açúcar e álcool.** 2024. Disponível em: <https://unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=31&tipoHistorico=2>. Acesso em: 31 maio 2024.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. **Clean Development Mechanism.** 2024. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>. Acesso em: 31 maio 2024.

VENTURINI, K. S.; SARCINELLI, M. F.; SILVA, L. C. **Características do Leite.** Boletim Técnico PIE – UFES: 01007 – Editado: 26.08.2007, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2007. Disponível em: http://www.agais.com/telomc/b01007_caracteristicas_leite.pdf. Acesso em: 31 maio 2024.

APÊNDICE I. ANÁLISE DE CATEGORIA-CHAVE

Uma categoria-chave é aquela que é priorizada no sistema de inventário porque tem uma influência significativa nas emissões e remoções de gases de efeito estufa em termos absolutos, de tendência, ou de ambos. A identificação das principais categorias nos Inventários Nacionais permite que os recursos limitados disponíveis para a preparação de inventários sejam priorizados, idealmente visando ao aprimoramento de metodologias e dados das categorias com maior impacto em termos de GEE. Adicionalmente, servem para a seleção do emprego de métodos de contabilização de emissões e remoções de nível superior (*Tier 2* e *Tier 3*), assim como direcionamento de procedimentos específicos de controle de qualidade e garantia de qualidade (QA/QC).

O Brasil identificou as categorias-chave para o inventário usando as avaliações de nível e tendência *Tier 1*, conforme recomendado nas Diretrizes do IPCC (2006, v. 1, cap. 4)¹²³ e adotado pelas Modalidades, Procedimentos e Diretrizes (MPGs, sigla em inglês) do Artigo 13 do Acordo de Paris. Esta abordagem identifica as fontes que, juntas, contribuem para 95% das emissões totais ou 95% da tendência do inventário em termos absolutos.

Quando o Setor LULUCF é considerado na análise, Área convertida para Campo/Pastagem, Floresta permanecendo Floresta e Transporte Rodoviário são as categorias-chave mais significativas. Os resultados completos da análise da fonte principal são relatados nas Tabela A.I.1 e Tabela. A.I.3.

Quando o Setor LULUCF é excluído da análise, as categorias-chave mais significativas são Transporte Rodoviário, Fermentação Entérica (fêmeas de corte com mais de 2 anos não confinadas) e Fermentação Entérica (bovinos entre 1 e 2 anos). Os resultados dessa última análise são apresentados nas Tabelas A.I.2 e A.I.4.

Tabela A.I.1. Categorias-chave para o NIR 2024 do Brasil, metodologia *Tier 1*, incluindo LULUCF – Avaliação em Nível.

¹²³ Ver Methodological Choice and Identification of Key Categories (IPCC, 2006, v. 1, cap. 4).

Código da Categoria IPCC	Categoria IPCC	GEE	Valor no ano estimado (kt CO ₂ eq)	Valor absoluto no ano estimado (kt CO ₂ eq)	Avaliação em nível (%)	Total acumulado (%)
4.C.2	Área convertida para Campo/Pastagem	CO ₂	908.386	908.386	0,33	0,33
4.A.1	Floresta permanecendo Floresta	CO ₂	-287.645	287.645	0,10	0,43
1.A.3.b	Transporte Rodoviário	CO ₂	194.411	194.411	0,07	0,50
4.B.2	Área convertida para Agricultura	CO ₂	179.798	179.798	0,06	0,56
3.A.1.a.iii	Fermentação Entérica (Fêmeas de corte > 2 anos, não confinados)	CH ₄	114.634	114.634	0,04	0,61
3.A.1.a.vi	Fermentação Entérica (Bovinos > 1 ano < 2 anos)	CH ₄	91.451	91.451	0,03	0,64
3.A.1.a.ii	Fermentação Entérica (Bovinos, Machos de corte > 2 anos, não confinados)	CH ₄	77.097	77.097	0,03	0,67
1.A.2	Indústrias de Transformação e Construção	CO ₂	66.427	66.427	0,02	0,69
4.G	Produtos Florestais Madeireiros	CO ₂	-56.507	56.507	0,02	0,71
1.A.1	Indústrias de Energia	CO ₂	54.357	54.357	0,02	0,73
3.D.1.c	Deposição de Dejetos em Pastagem (Emissões diretas, solos)	N ₂ O	51.940	51.940	0,02	0,75
5.A	Disposição de Resíduos Sólidos	CH ₄	53.421	53.421	0,02	0,77
3.A.1.a.v	Fermentação Entérica (Bovinos < 1 ano)	CH ₄	49.305	49.305	0,02	0,79
2.C.1	Produção de Ferro e Aço	CO ₂	47.372	47.372	0,02	0,80
1.A.4	Outros Setores	CO ₂	41.055	41.055	0,01	0,82
4.C.2	Área convertida para Campo/Pastagem	CH ₄	34.601	34.601	0,01	0,83
5.D	Tratamento e Despejo de Águas Residuárias	CH ₄	33.654	33.654	0,01	0,84
3.D.1.d	Resíduos Agrícolas (Emissões diretas, solos)	N ₂ O	30.564	30.564	0,01	0,85
4.A.2	Área convertida para Floresta	CO ₂	-27.198	27.198	0,01	0,86
3.G	Calagem	CO ₂	27.087	27.087	0,01	0,87
3.B	Manejo de Dejetos Animais	CH ₄	24.868	24.868	0,01	0,88
2.A.1	Produção de Cimento	CO ₂	24.625	24.625	0,01	0,89
3.A.1.b.ii	Fermentação Entérica (Vacas leiteiras, baixa produção)	CH ₄	22.068	22.068	0,01	0,90
3.D.1.a	Fertilizantes Sintéticos (Emissões diretas, solos)	N ₂ O	21.771	21.771	0,01	0,91
3.D.2.b	Lixiviação / Escorrimento Superficial (Emissões indiretas)	N ₂ O	20.986	20.986	0,01	0,91
3.A.1.b.i	Fermentação Entérica (Vacas leiteiras, alta produção)	CH ₄	17.981	17.981	0,01	0,92
1.B.2.a	Petróleo e gás natural e outras emissões da produção de energia	CO ₂	16.001	16.001	0,00	0,92

Código da Categoria IPCC	Categoria IPCC	GEE	Valor no ano estimado (kt CO ₂ eq)	Valor absoluto no ano estimado (kt CO ₂ eq)	Avaliação em nível (%)	Total acumulado (%)
	– Petróleo					
3.A.1.a.i	Fermentação Entérica (Touros > 2 anos)	CH ₄	12.543	12.543	0,01	0,93
3.D.2.a	Deposição Atmosférica (Emissões indiretas)	N ₂ O	12.324	12.324	0,00	0,93
4.F.2	Área convertida para Outras Terras	CO ₂	12.062	12.062	0,00	0,94
3.C	Cultivo de Arroz	CH ₄	11.901	11.901	0,00	0,94
4.D.2	Área convertida para Áreas Úmidas	CO ₂	11.178	11.178	0,00	0,95
4.C.2	Área convertida para Campo/Pastagem	N ₂ O	9.632	9.632	0,00	0,95

Tabela A.I.2. Categorias-chave para o NIR 2024 do Brasil, metodologia *Tier 1*, excluindo LULUCF – Avaliação em Nível.

Código da Categoria IPCC	Categoria IPCC	GEE	Emissão em 2022 (kt CO ₂ eq)	Emissão absoluta em 2022 (kt CO ₂ eq)	Avaliação em nível (%)	Total acumulado (%)
1.A.3.b	Transporte Rodoviário	CO ₂	194.411	194.411	0,16	0,16
3.A.1.a.iii	Fermentação Entérica (Fêmeas de corte > 2 anos, não confinados)	CH ₄	114.634	114.634	0,09	0,25
3.A.1.a.vi	Fermentação Entérica (Bovinos > 1 ano < 2 anos)	CH ₄	91.451	91.451	0,07	0,32
3.A.1.a.ii	Fermentação Entérica (Bovinos, Machos de corte > 2 anos, não confinados)	CH ₄	77.097	77.097	0,06	0,39
1.A.2	Indústrias de Transformação e Construção	CO ₂	66.427	66.427	0,05	0,44
1.A.1	Indústrias de Energia	CO ₂	54.357	54.357	0,04	0,49
5.A	Disposição de Resíduos Sólidos	CH ₄	53.421	53.421	0,04	0,53
3.D.1.c	Deposição de Dejetos em Pastagem (Emissões diretas, solos)	N ₂ O	51.940	51.940	0,04	0,57
3.A.1.a.v	Fermentação Entérica (Bovinos < 1 ano)	CH ₄	49.305	49.305	0,04	0,61
2.C.1	Produção de Ferro e Aço	CO ₂	47.372	47.372	0,04	0,65
1.A.4	Outros Setores	CO ₂	41.055	41.055	0,03	0,68
5.D	Tratamento e Despejo de Águas Residuárias	CH ₄	33.654	33.654	0,03	0,71
3.D.1.d	Resíduos Agrícolas (Emissões diretas, solos)	N ₂ O	30.564	30.564	0,02	0,73
3.G	Calagem	CO ₂	27.087	27.087	0,02	0,76
3.B	Manejo de Dejetos Animais	CH ₄	24.868	24.868	0,02	0,78
2.A.1	Produção de Cimento	CO ₂	24.625	24.625	0,02	0,80
3.D.1.a	Fertilizantes Sintéticos (Emissões diretas, solos)	N ₂ O	21.771	21.771	0,02	0,81
3.A.1.b.ii	Fermentação Entérica (Vacas leiteiras, baixa produção)	CH ₄	22.068	22.068	0,02	0,83
3.D.2.b	Lixiviação/Escorrimento Superficial (Emissões indiretas)	N ₂ O	20.986	20.986	0,02	0,85
3.A.1.b.i	Fermentação Entérica (Vacas leiteiras, alta produção)	CH ₄	17.981	17.981	0,01	0,86
1.B.2.a	Petróleo e gás natural e outras emissões da produção de energia – Petróleo	CO ₂	16.001	16.001	0,01	0,88
3.A.1.a.i	Fermentação Entérica (Touros > 2 anos)	CH ₄	12.543	12.543	0,01	0,89
3.D.2.a	Deposição Atmosférica (Emissões indiretas)	N ₂ O	12.324	12.324	0,01	0,90
3.C	Cultivo de Arroz	CH ₄	11.901	11.901	0,01	0,91
1.A.4	Outros Setores	CH ₄	9.080	9.080	0,01	0,91
2.F.1	Refrigeração e Ar-Condicionado	HFCs	8.768	8.768	0,01	0,92

Código da Categoria IPCC	Categoria IPCC	GEE	Emissão em 2022 (kt CO ₂ eq)	Emissão absoluta em 2022 (kt CO ₂ eq)	Avaliação em nível (%)	Total acumulado (%)
1.A.3.a.ii	Aviação Doméstica	CO ₂	8.452	8.452	0,01	0,93
3.A.4	Fermentação Entérica (Outros animais)	CH ₄	7.504	7.504	0,01	0,93
3.A.1.a.iv	Fermentação Entérica (Bovinos confinados)	CH ₄	7.221	7.221	0,01	0,94
2.B.8	Produção de Petroquímica e Negro de Fumo	CO ₂	6.348	6.348	0,01	0,94
2.A.2	Produção de Cal	CO ₂	5.924	5.924	0,00	0,95
3.D.1.b	Adubos Orgânicos (Emissões diretas)	N ₂ O	4.620	4.620	0,00	0,95

Tabela A.I.3. Categorias-chave para o NIR 2024 do Brasil, metodologia *Tier 1*, incluindo LULUCF – Avaliação de Tendência.

Código da Categoria IPCC	Categoria IPCC	GEE	Emissão no ano base (kt CO ₂ eq)	Emissão no ano atual (kt CO ₂ eq)	Avaliação de tendência (%)	Contribuição para tendência (%)	Total acumulado (%)
4.C.2	Área convertida para Campo/Pastagem	CO ₂	812.119	908.386	0,24	0,34	0,34
4.A.1	Floresta permanecendo Floresta	CO ₂	-22.641	-287.645	0,15	0,21	0,55
1.A.3.b	Transporte rodoviário	CO ₂	72.062	194.411	0,05	0,06	0,61
3.A.1.b.ii	Fermentação Entérica (Vacas leiteiras, baixa produção)	CH ₄	48.875	22.068	0,03	0,05	0,66
4.B.2	Área convertida para Agricultura	CO ₂	75.950	179.798	0,03	0,05	0,71
5.A	Disposição de Resíduos Sólidos	CH ₄	13.186	53.421	0,02	0,03	0,73
4.G	Produtos Florestais Madeireiros	CO ₂	-18.984	-56.507	0,01	0,02	0,75
4.C.2	Área convertida para Campo/Pastagem	CH ₄	812.119	908.386	0,01	0,02	0,77
3.A.1.b.i	Fermentação Entérica (Vacas leiteiras, alta produção)	CH ₄	521	17.981	0,01	0,01	0,79
3.D.1.a	Fertilizantes sintéticos (Emissões diretas, solos)	N ₂ O	3.245	21.771	0,01	0,01	0,80
3.A.1.a.vi	Fermentação entérica (Bovinos > 1 ano < 2 anos)	CH ₄	66.477	91.451	0,01	0,01	0,82
1.A.1	Indústrias de Energia	CO ₂	23.707	54.357	0,01	0,01	0,83
3.A.1.a.iii	Fermentação entérica (Fêmeas de corte > 2 anos, não confinados)	CH ₄	63.046	114.634	0,01	0,01	0,84
3.G	Calagem	CO ₂	9.141	27.087	0,01	0,01	0,85
3.D.1.d	Resíduos Agrícolas (Emissões diretas, solos)	N ₂ O	12.101	30.564	0,01	0,01	0,86
4.A.2	Área convertida para Floresta	CO ₂	-23.497	-27.198	0,01	0,01	0,87
4.F.2	Área convertida para Outras Terras	CO ₂	-18.984	-56.507	0,01	0,01	0,88
2.F.1	Refrigeração e ar-condicionado	HFCs	-	8.768	0,01	0,01	0,88
3.A.1.a.v	Fermentação Entérica (Bovinos < 1 ano)	CH ₄	35.571	49.305	0,00	0,01	0,89
1.A.2	Indústrias de Transformação e Construção	CO ₂	36.470	66.427	0,00	0,01	0,90
4.C.2	Área convertida para Campo/Pastagem	N ₂ O	10.245	9.632	0,00	0,01	0,90
2.A.1	Produção de Cimento	CO ₂	11.062	24.625	0,00	0,01	0,91
1.A.4	Outros Setores	CH ₄	9.559	9.080	0,00	0,01	0,91
5.D	Tratamento e Despejo de Águas Residuárias	CH ₄	16.950	33.654	0,00	0,01	0,92
3.D.1.c	Deposição de dejetos em pastagem (Emissões diretas, solos)	N ₂ O	35.815	51.940	0,00	0,01	0,92
1.B.2.a	Petróleo e gás natural e outras emissões da produção de energia – Petróleo	CO ₂	6.191	16.001	0,00	0,00	0,93

Código da Categoria IPCC	Categoria IPCC	GEE	Emissão no ano base (kt CO ₂ eq)	Emissão no ano atual (kt CO ₂ eq)	Avaliação de tendência (%)	Contribuição para tendência (%)	Total acumulado (%)
3.A.1.a.iv	Fermentação Entérica (Outros animais > 2 anos, confinados)	CH ₄	1.038	7.221	0,00	0,00	0,93
3.D.2.b	Lixiviação/Escorrimento Superficial (Emissões indiretas)	N ₂ O	9.636	20.986	0,00	0,00	0,94
4.E.2	Área convertida para Área Construída	CO ₂	6.711	5.552	0,00	0,00	0,94
3.A.4	Fermentação Entérica (Outros animais)	CH ₄	7.869	7.504	0,00	0,00	0,95

Tabela A.I.4. Categorias-chave para o NIR 2024 do Brasil, metodologia *Tier 1*, excluindo LULUCF – Avaliação de Tendência.

Código da Categoria IPCC	Categoria IPCC	GEE	Emissão no ano base (kt CO ₂ eq)	Emissão no ano atual (kt CO ₂ eq)	Avaliação de tendência (%)	Contribuição para tendência (%)	Total acumulado (%)
3.A.1.b.ii	Fermentação Entérica (Vacas leiteiras, baixa produção)	CH ₄	48.875	22.068	0,10	0,16	0,16
1.A.3.b	Transporte Rodoviário	CO ₂	72.062	194.411	0,09	0,16	0,32

Código da Categoria IPCC	Categoria IPCC	GEE	Emissão no ano base (kt CO ₂ eq)	Emissão no ano atual (kt CO ₂ eq)	Avaliação de tendência (%)	Contribuição para tendência (%)	Total acumulado (%)
5.A	Disposição de Resíduos Sólidos	CH ₄	13.186	53.421	0,04	0,07	0,39
3.A.1.a.vi	Fermentação Entérica (Bovinos > 1 ano < 2 anos)	CH ₄	66.477	91.451	0,04	0,07	0,46
3.A.1.b.i	Fermentação Entérica (Vacas leiteiras, alta produção)	CH ₄	521	17.981	0,03	0,04	0,51
3.D.1.a	Fertilizantes Sintéticos (Emissões diretas, solos)	N ₂ O	3.245	21.771	0,02	0,04	0,54
3.A.1.a.v	Fermentação Entérica (Bovinos < 1 ano)	CH ₄	35.571	49.305	0,02	0,04	0,58
3.D.1.c	Deposição de Dejetos em Pastagem (Emissões diretas, solos)	N ₂ O	35.815	51.940	0,02	0,03	0,61
3.A.1.a.ii	Fermentação entérica (Machos de corte > 2 anos, não confinados)	CH ₄	49.192	77.097	0,02	0,03	0,64
1.A.1	Indústrias de Energia	CO ₂	23.707	54.357	0,02	0,03	0,67
3.G	Calagem	CO ₂	9.141	27.087	0,02	0,03	0,70
2.F.1	Refrigeração e Ar-Condicionado	HFCs	-	8.768	0,01	0,02	0,72
3.D.1.d	Resíduos Agrícolas (Emissões diretas, solos)	N ₂ O	12.101	30.564	0,01	0,02	0,74
1.A.4	Outros setores	CH ₄	9.559	9.080	0,01	0,02	0,76
1.A.4	Outros setores	CO ₂	26.728	41.055	0,01	0,02	0,78
3.A.4	Fermentação Entérica (Outros animais)	CH ₄	7.869	7.504	0,01	0,02	0,79
3.A.1.a.iv	Fermentação Entérica (Outros animais > 2 anos, confinados)	CH ₄	1.038	7.221	0,01	0,01	0,81
3.C	Cultivo de arroz	CH ₄	9.271	11.901	0,01	0,01	0,82
1.B.2.a	Petróleo e gás natural e outras emissões da produção de energia – Petróleo	CO ₂	6.191	16.001	0,01	0,01	0,83
2.A.1	Produção de Cimento	CO ₂	11.062	24.625	0,01	0,01	0,84
2.B.3	Produção de Ácido Adípico	N ₂ O	2.286	1	0,01	0,01	0,85
2.C.3	Produção de Alumínio	PFCs	2.296	277	0,01	0,01	0,86
3.D.2.b	Lixiviação/Escurimento Superficial (Emissões indiretas)	N ₂ O	9.636	20.986	0,01	0,01	0,87
3.H	Aplicação de ureia	CO ₂	631	4.397	0,00	0,01	0,88
3.B	Manejo de Dejetos Animais	CH ₄	15.500	24.868	0,00	0,01	0,89
1.A.3.b	Transporte Rodoviário	N ₂ O	745	4.493	0,00	0,01	0,89
3.A.1.a.i	Fermentação Entérica (Touros > 2 anos)	CH ₄	8.641	12.543	0,00	0,01	0,90

Código da Categoria IPCC	Categoria IPCC	GEE	Emissão no ano base (kt CO ₂ eq)	Emissão no ano atual (kt CO ₂ eq)	Avaliação de tendência (%)	Contribuição para tendência (%)	Total acumulado (%)
5.D	Tratamento e Despejo de Águas Residuárias	CH ₄	16.950	33.654	0,00	0,01	0,91
1.A.3.d.ii	Navegação Doméstica	CO ₂	3.484	3.519	0,00	0,01	0,92
1.A.3.b	Transporte Rodoviário	CH ₄	1.872	1.083	0,00	0,01	0,92
3.A.2	Fermentação Entérica (Ovinos)	CH ₄	2.807	3.012	0,00	0,01	0,93
1.A.3.e	Outros Transportes	CO ₂	-	2.024	0,00	0,00	0,93
1.A.5	Não Especificado	CO ₂	1.612	1.111	0,00	0,00	0,94
2.C.1	Produção de Ferro e Aço	CO ₂	27.091	47.372	0,00	0,00	0,94
3.F	Queima de Resíduos Agrícolas	CH ₄	1.109	279	0,00	0,00	0,94
1.B.2.a	Petróleo	CH ₄	1.156	3.762	0,00	0,00	0,95

APÊNDICE II. AVALIAÇÃO DE INCERTEZA

Para esse Inventário, utilizou-se para o cálculo das incertezas de dados de atividade e fatores de emissão, o método de propagação de erro (Abordagem 1) em âmbito nacional para todos os setores, com exceção do Setor Resíduos, que usou o método de Monte Carlo (Abordagem 2), dada a possibilidade do detalhamento dos diversos parâmetros envolvidos nesta estimativa.

A incerteza total do Inventário foi obtida a partir das análises das incertezas de todos os gases estimados e não apenas os três mais importantes – CO₂, CH₄ e N₂O –, que perfazem 99,5% do total em kt CO₂ eq em 2022. A incerteza das emissões líquidas totais em 2022 é de 20,3%, e a incerteza introduzida na tendência das emissões líquidas totais foi avaliada em 9,8% (Tabela A.II.1).

Tabela A.II.1. Síntese das incertezas por categoria, gás e total, em 2022, do NIR 2024.

CATEGORIAS	GÁS	EMIÇÃO 1990 (kt CO ₂ eq)	EMIÇÃO 2022 (kt CO ₂ eq)	INCERTEZA COMBINADA (2022)	INCERTEZA TENDENCIAL NAS EMIÇÕES
1.A. ATIVIDADES DE QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS	CO ₂	170.856	374.317	3,0%	0,7%
1.A. ATIVIDADES DE QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS	CH ₄ , N ₂ O	16.305	21.309	2,1%	0,0%
1.B. EMISSÕES FUGITIVAS	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	9.096	22.824	2,6%	0,0%
2. IPPU	CO ₂	48.558	91.483	2,6%	0,2%
2. IPPU	CH ₄ , N ₂ O	4.262	1.321	0,9%	0,0%
2. IPPU	HFCs, PFC, SF ₆	4.050	9.512	0,9%	0,0%
3. AGROPECUÁRIA	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	394.743	622.014	21,9%	11,2%
4. USO DA TERRA, MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	908.066	805.694	52,9%	0,6%
5. RESÍDUOS	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	32.596	90.761	10,3%	0,0%
TOTAL		1.588.532	2.039.236	20,3%	9,8%
INCERTEZA TOTAL DO INVENTÁRIO (2022)		20,3%			

Os intervalos apresentados são consistentes com os intervalos típicos de incerteza esperados para cada setor, conforme identificado no IPCC (2006).

Tabela A.II.2. Dados utilizados e estimativa de incerteza total e tendencial do NIR 2024.

Categoria IPCC	Gás	Emissões e Remoções (1990) kt CO ₂ eq	Emissões e Remoções (2022) kt CO ₂ eq	Incerteza dos dados de atividade %	Incerteza nos fatores de emissão %	Incerteza combinada %	Contribuição para a variância por categoria em 2022	Sensibilidade tipo A %	Sensibilidade tipo B %	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo fator de emissão	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo dado de atividade	Incerteza introduzida pela tendência nas emissões nacionais
1.A. Atividades de Queima de Combustíveis	CO ₂	170.856	374.317	3	2	3	0,0000	0,0975	0,2356	0,16%	1,00%	0,01%
1.A. Atividades de Queima de Combustíveis	CH ₄	12.597	12.108	3	68	68	0,0000	0,0026	0,0076	0,17%	0,03%	0,00%
1.A. Atividades de Queima de Combustíveis	N ₂ O	3.707	9.201	3	34	34	0,0000	0,0028	0,0058	0,10%	0,02%	0,00%
1.A.1. Indústrias de energia	CO ₂	23.707	54.357	-	-	-	-	0,0151	0,0342	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.1. Indústrias de energia	CH ₄	696	934	-	-	-	-	0,0000	0,0006	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.1. Indústrias de energia	N ₂ O	906	1.275	-	-	-	-	0,0001	0,0008	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.2. Indústrias de transformação e construção	CO ₂	36.470	66.427	-	-	-	-	0,0123	0,0418	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.2. Indústrias de transformação e construção	CH ₄	458	996	-	-	-	-	0,0003	0,0006	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.2. Indústrias de transformação e construção	N ₂ O	705	1.693	-	-	-	-	0,0005	0,0011	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.3. Transporte	CO ₂	82.338	211.367	-	-	-	-	0,0665	0,1331	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.3. Transporte	CH ₄	1.884	1.098	-	-	-	-	0,0008	0,0007	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.3. Transporte	N ₂ O	973	4.913	-	-	-	-	0,0023	0,0031	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.4. Outros setores	CO ₂	26.728	41.055	-	-	-	-	0,0042	0,0258	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.4. Outros setores	CH ₄	9.559	9.080	-	-	-	-	0,0020	0,0057	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.4. Outros setores	N ₂ O	1.118	1.320	-	-	-	-	0,0001	0,0008	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.5. Não especificado	CO ₂	1.612	1.111	-	-	-	-	0,0006	0,0007	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.5. Não especificado	CH ₄	1	0	-	-	-	-	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.5. Não especificado	N ₂ O	7	0	-	-	-	-	0,0000	-	0,00%	0,00%	0,00%
1.B. Emissões Fugitivas a Partir da Produção de Combustíveis	CO ₂	6.191	16.876	-	-	-	-	0,0056	0,0106	0,00%	0,00%	0,00%
1.B. Emissões Fugitivas a Partir da Produção de Combustíveis	CH ₄	2.890	5.885	-	-	-	-	0,0014	0,0037	0,00%	0,00%	0,00%

Categoria IPCC	Gás	Emissões e Remoções (1990) kt CO ₂ eq	Emissões e Remoções (2022) kt CO ₂ eq	Incerteza dos dados de atividade %	Incerteza nos fatores de emissão %	Incerteza combinada %	Contribuição para a variância por categoria em 2022	Sensibilidade tipo A %	Sensibilidade tipo B %	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo fator de emissão	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo dado de atividade	Incerteza introduzida pela tendência nas emissões nacionais
1.B. Emissões Fugitivas a Partir da Produção de Combustíveis	N ₂ O	15	64	-	-	-	-	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
1.B.1. Combustíveis sólidos	CH ₄	1.558	1.508	-	-	-	-	0,0003	0,0009	0,00%	0,00%	0,00%
1.B.2. Petróleo e Gás Natural	CO ₂	6.191	16.876	5	63	63	0,0000	0,0056	0,0106	0,35%	0,08%	0,00%
1.B.2. Petróleo e Gás Natural	CH ₄	1.332	4.377	5	63	63	0,0000	0,0017	0,0028	0,11%	0,02%	0,00%
1.B.2. Petróleo e Gás Natural	N ₂ O	15	64	5	63	63	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
2.A. Indústria Mineral	CO ₂	15.170	32.993	-	-	-	-	0,0085	0,0208	0,00%	0,00%	0,00%
2.A.1. Produção de cimento	CO ₂	11.062	24.625	2	2	3	0,0000	0,0066	0,0155	0,01%	0,04%	0,00%
2.A.2. Produção de cal	CO ₂	3.502	5.924	10	2	10	0,0000	0,0009	0,0037	0,00%	0,05%	0,00%
2.A.3. Produção de vidro	CO ₂	145	266	20	5	20,6	0,0000	0,0001	0,0002	0,00%	0,00%	0,00%
2.A.4. Outras utilizações de carbonatos em processos	CO ₂	462	2.179	20	5	20,6	0,0000	0,0010	0,0014	0,00%	0,04%	0,00%
2.B. Indústria química	CO ₂	3.875	6.557	-	-	-	-	0,0010	0,0041	0,00%	0,00%	0,00%
2.B. Indústria química	CH ₄	148	287	-	-	-	-	0,0001	0,0002	0,00%	0,00%	0,00%
2.B. Indústria química	N ₂ O	2.865	176	-	-	-	-	0,0022	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
2.B. Indústria química	HFCs	1.491	0	-	-	-	-	0,0012	-	0,00%	0,00%	0,00%
2.B.1. Produção de amônia	CO ₂	286	168	5	10	11,2	0,0000	0,0001	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
2.B.2. Produção de ácido nítrico	N ₂ O	479	175	5	5	7,1	0,0000	0,0003	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
2.B.3. Produção de ácido adípico	N ₂ O	2.286	1	5	5	7,1	0,0000	0,0018	0,0000	0,01%	0,00%	0,00%
2.B.4. Caprolactama, glioxal e produção de ácido glioxílico	N ₂ O	100	0	5	-	5,0	-	0,0001	-	0,00%	0,00%	0,00%
2.B.5. Produção de carbureto	CO ₂	0	42	5	5	7,1	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
2.B.8. Produção de petroquímica e negro de fumo	CO ₂	3.589	6.348	5	10	11,2	0,0000	0,0011	0,0040	0,01%	0,03%	0,00%
2.B.8. Produção de petroquímica e negro de fumo	CH ₄	148	287	5	15	15,8	0,0000	0,0001	0,0002	0,00%	0,00%	0,00%

Categoria IPCC	Gás	Emissões e Remoções (1990) kt CO ₂ eq	Emissões e Remoções (2022) kt CO ₂ eq	Incerteza dos dados de atividade %	Incerteza nos fatores de emissão %	Incerteza combinada %	Contribuição para a variância por categoria em 2022	Sensibilidade tipo A %	Sensibilidade tipo B %	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo fator de emissão	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo dado de atividade	Incerteza introduzida pela tendência nas emissões nacionais
2.B.9. Produção de fluoroquímicos	HFCs	1.491	0	5	-	5,0	-	0,0012	-	0,00%	0,00%	0,00%
2.C. Indústria Metalúrgica	CO ₂	28.992	51.091	-	-	-	-	0,0087	0,0322	0,00%	0,00%	0,00%
2.C. Indústria Metalúrgica	CH ₄	1.054	726	-	-	-	-	0,0004	0,0005	0,00%	0,00%	0,00%
2.C. Indústria Metalúrgica	N ₂ O	195	132	-	-	-	-	0,0001	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
2.C. Indústria Metalúrgica	PFCs	2.296	277	-	-	-	-	0,0017	0,0002	0,00%	0,00%	0,00%
2.C. Indústria Metalúrgica	SF ₆	135	0	-	-	-	-	0,0001	-	0,00%	0,00%	0,00%
2.C.1. Produção de ferro e aço	CO ₂	27.091	47.372	-	5	5,0	0,0000	0,0079	0,0298	0,04%	0,00%	0,00%
2.C.1. Produção de ferro e aço	CH ₄	1.047	726	-	120	120,0	0,0000	0,0004	0,0005	0,05%	0,00%	0,00%
2.C.1. Produção de ferro e aço	N ₂ O	195	132	-	120	120,0	0,0000	0,0001	0,0001	0,01%	0,00%	0,00%
2.C.2 Produção de ferroligas	CO ₂	122	646	5	10	11,2	0,0000	0,0003	0,0004	0,00%	0,00%	0,00%
2.C.2 Produção de ferroligas	CH ₄	6	0	5	25	25,5	-	0,0000	-	0,00%	0,00%	0,00%
2.C.3. Produção de alumínio	CO ₂	1.574	1.256	3	5	5,8	0,0000	0,0005	0,0008	0,00%	0,00%	0,00%
2.C.3. Produção de alumínio	PFCs	2.296	277	3	20	20,2	0,0000	0,0017	0,0002	0,03%	0,00%	0,00%
2.C.4. Produção de magnésio	CO ₂	29	148	3	5	5,8	0,0000	0,0001	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
2.C.4. Produção de magnésio	SF ₆	135	0	3	-	3,0	-	0,0001	-	0,00%	0,00%	0,00%
2.C.7. Outros não ferrosos, fora alumínio e magnésio	CO ₂	176	1.668	3	5	5,8	0,0000	0,0009	0,0011	0,00%	0,00%	0,00%
2.D. Produtos não energéticos de combustíveis e solventes	CO ₂	520	843	3	5	5,8	0,0000	0,0001	0,0005	0,00%	0,00%	0,00%
2.E. Indústria eletrônica	PFCs	0	0	-	-	-	-	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
2.E. Indústria eletrônica	HFCs	0	1	-	-	-	-	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
2.F. Usos de produtos como substitutos para substâncias destruidoras da camada de ozônio	HFCs	0	8.891	-	-	-	-	0,0056	0,0056	0,00%	0,00%	0,00%
2.F.1. Refrigeração e ar-condicionado	HFCs	0	8.768	10	-	10,0	0,0000	0,0055	0,0055	0,00%	0,08%	0,00%

Categoria IPCC	Gás	Emissões e Remoções (1990) kt CO ₂ eq	Emissões e Remoções (2022) kt CO ₂ eq	Incerteza dos dados de atividade %	Incerteza nos fatores de emissão %	Incerteza combinada %	Contribuição para a variância por categoria em 2022	Sensibilidade tipo A %	Sensibilidade tipo B %	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo fator de emissão	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo dado de atividade	Incerteza introduzida pela tendência nas emissões nacionais
2.F.2. Agentes de espuma	HFCs	0	33	10	-	10,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
2.F.3. Proteção contra incêndio	HFCs	0	70	10	-	10,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
2.F.4. Aerossóis	HFCs	0	19	10	-	10,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
2.G. Fabricação e uso de outros produtos	SF ₆	128	343	20	-	20,0	0,0000	0,0001	0,0002	0,00%	0,01%	0,00%
3.A. Fermentação entérica	CH ₄	284.981	404.062	-	-	-	-	0,0240	0,2544	0,00%	0,00%	0,00%
3.A.1. Bovinos	CH ₄	273.361	392.302	15	19	24,2	0,0022	0,0260	0,2470	0,49%	5,24%	0,28%
3.A.2. Ovinos	CH ₄	2.807	3.012	15	30	33,5	0,0000	0,0004	0,0019	0,01%	0,04%	0,00%
3.A.3. Suínos	CH ₄	943	1.243	15	30	33,5	0,0000	0,0000	0,0008	0,00%	0,02%	0,00%
3.A.4. Outros animais	CH ₄	7.869	7.504	15	30	33,5	0,0000	0,0016	0,0047	0,05%	0,10%	0,00%
3.B. Manejo de dejetos animais	CH ₄	15.500	24.868	-	-	-	-	0,0031	0,0157	0,00%	0,00%	0,00%
3.B. Manejo de dejetos animais	N ₂ O	2.301	4.145	-	-	-	-	0,0007	0,0026	0,00%	0,00%	0,00%
3.B.1. Bovinos	CH ₄	6.950	11.837	15	17	22,7	0,0000	0,0018	0,0075	0,03%	0,16%	0,00%
3.B.1. Bovinos	N ₂ O	827	1.032	15	36	39,0	0,0000	0,0000	0,0006	0,00%	0,01%	0,00%
3.B.2. Ovinos	CH ₄	95	113	15	35	38,1	0,0000	0,0000	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
3.B.3. Suínos	CH ₄	7.532	11.529	15	35	38,1	0,0000	0,0012	0,0073	0,04%	0,15%	0,00%
3.B.3. Suínos	N ₂ O	338	728	15	40	42,7	0,0000	0,0002	0,0005	0,01%	0,01%	0,00%
3.B.4. Outros animais	CH ₄	922	1.389	15	35	38,1	0,0000	0,0001	0,0009	0,00%	0,02%	0,00%
3.B.4. Outros animais	N ₂ O	90	237	15	40	42,7	0,0000	0,0001	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
3.B.5. Emissões indiretas de N ₂ O	N ₂ O	1.046	2.148	20	100	102,0	0,0000	0,0005	0,0014	0,05%	0,04%	0,00%
3.C. Cultivo de arroz	CH ₄	9.271	11.901	20	40	44,7	0,0000	0,0000	0,0075	0,00%	0,21%	0,00%
3.C.1. Terras Baixas / irrigado	CH ₄	9.271	11.901	-	-	-	-	0,0000	0,0075	0,00%	0,00%	0,00%
3.D. Solos manejados	N ₂ O	71.071	145.078	-	-	-	-	0,0339	0,0913	0,00%	0,00%	0,00%

Categoria IPCC	Gás	Emissões e Remoções (1990) kt CO ₂ eq	Emissões e Remoções (2022) kt CO ₂ eq	Incerteza dos dados de atividade %	Incerteza nos fatores de emissão %	Incerteza combinada %	Contribuição para a variância por categoria em 2022	Sensibilidade tipo A %	Sensibilidade tipo B %	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo fator de emissão	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo dado de atividade	Incerteza introduzida pela tendência nas emissões nacionais
3.D.1. Emissões diretas de N ₂ O de solos manejados	N ₂ O	55.496	111.768	15	80	81,4	0,0020	0,0255	0,0704	2,04%	1,49%	0,06%
3.D.2. Emissões indiretas de N ₂ O de solos manejados	N ₂ O	15.575	33.310	20	100	102,0	0,0003	0,0084	0,0210	0,84%	0,59%	0,01%
3.F. Queima de resíduos agrícolas	CH ₄	1.109	279	10	30	31,6	0,0000	0,0007	0,0002	0,02%	0,00%	0,00%
3.F. Queima de resíduos agrícolas	N ₂ O	739	198	10	50	51,0	0,0000	0,0005	0,0001	0,02%	0,00%	0,00%
3.F.1. Cana-de-açúcar	CH ₄	1.004	279	-	-	-	-	0,0006	0,0002	0,00%	0,00%	0,00%
3.F.1. Cana-de-açúcar	N ₂ O	713	198	-	-	-	-	0,0005	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
3.F.2. Algodão	CH ₄	105	0	-	-	-	-	0,0001	-	0,00%	0,00%	0,00%
3.F.2. Algodão	N ₂ O	26	0	-	-	-	-	0,0000	-	0,00%	0,00%	0,00%
3.G. Calagem	CO ₂	9.141	27.087	20	30	36,1	0,0000	0,0097	0,0171	0,29%	0,48%	0,00%
3.H. Aplicação de ureia	CO ₂	631	4.397	3	5	5,8	0,0000	0,0023	0,0028	0,01%	0,01%	0,00%
4.A. Floresta	CO ₂	-46.138	-314.842	6	12	13,4	0,0004	0,1610	0,1982	1,93%	1,68%	0,07%
4.A. Floresta	CH ₄	1.928	2.106	6	29	29,6	0,0000	0,0002	0,0013	0,01%	0,01%	0,00%
4.A. Floresta	CO ₂	544	612	6	50	50,4	0,0000	0,0001	0,0004	0,00%	0,00%	0,00%
4.A.1. Floresta permanecendo Floresta	CO ₂	-22.641	-287.645	-	-	-	-	0,1628	0,1811	0,00%	0,00%	0,00%
4.A.1. Floresta permanecendo Floresta	CH ₄	1.915	2.062	-	-	-	-	0,0002	0,0013	0,00%	0,00%	0,00%
4.A.1. Floresta permanecendo Floresta	N ₂ O	533	574	-	-	-	-	0,0001	0,0004	0,00%	0,00%	0,00%
4.A.2. Área convertida para floresta	CO ₂	-23.497	-27.198	-	-	-	-	0,0019	0,0171	0,00%	0,00%	0,00%
4.A.2. Área convertida para floresta	CH ₄	13	44	-	-	-	-	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
4.A.2. Área convertida para floresta	N ₂ O	11	38	-	-	-	-	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
4.B. Agricultura	CO ₂	75.950	179.798	10	43	44,1	0,0015	0,0518	0,1132	2,23%	1,60%	0,08%
4.B. Agricultura	CH ₄	2.506	3.517	10	34	35,4	0,0000	0,0002	0,0022	0,01%	0,03%	0,00%
4.B. Agricultura	N ₂ O	848	1.185	10	49	50,0	0,0000	0,0001	0,0007	0,00%	0,01%	0,00%

Categoria IPCC	Gás	Emissões e Remoções (1990) kt CO ₂ eq	Emissões e Remoções (2022) kt CO ₂ eq	Incerteza dos dados de atividade %	Incerteza nos fatores de emissão %	Incerteza combinada %	Contribuição para a variância por categoria em 2022	Sensibilidade tipo A %	Sensibilidade tipo B %	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo fator de emissão	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo dado de atividade	Incerteza introduzida pela tendência nas emissões nacionais
4.B.2. Área convertida para agricultura	CO ₂	75.950	179.798	-	-	-	-	0,0518	0,1132	0,00%	0,00%	0,00%
4.B.2. Área convertida para agricultura	CH ₄	2.506	3.517	-	-	-	-	0,0002	0,0022	0,00%	0,00%	0,00%
4.B.2. Área convertida para agricultura	N ₂ O	848	1.185	-	-	-	-	0,0001	0,0007	0,00%	0,00%	0,00%
4.C. Campo/Pastagem	CO ₂	828.009	914.227	6	41	41,4	0,0345	0,0931	0,5755	3,82%	4,88%	0,38%
4.C. Campo/Pastagem	CH ₄	37.754	35.353	6	39	39,5	0,0000	0,0083	0,0223	0,32%	0,19%	0,00%
4.C. Campo/Pastagem	N ₂ O	11.065	10.282	6	48	48,4	0,0000	0,0025	0,0065	0,12%	0,05%	0,00%
4.C.1. Campo/Pastagem permanecendo Campo/Pastagem	CO ₂	15.890	5.841	-	-	-	-	0,0092	0,0037	0,00%	0,00%	0,00%
4.C.1. Campo/Pastagem permanecendo Campo/Pastagem	CH ₄	949	752	-	-	-	-	0,0003	0,0005	0,00%	0,00%	0,00%
4.C.1. Campo/Pastagem permanecendo Campo/Pastagem	CO ₂	820	650	-	-	-	-	0,0003	0,0004	0,00%	0,00%	0,00%
4.C.2. Área convertida para Campo/Pastagem	CO ₂	812.119	908.386	-	-	-	-	0,0840	0,5718	0,00%	0,00%	0,00%
4.C.2. Área convertida para Campo/Pastagem	CH ₄	36.805	34.601	-	-	-	-	0,0080	0,0218	0,00%	0,00%	0,00%
4.C.2. Área convertida para Campo/Pastagem	N ₂ O	10.245	9.632	-	-	-	-	0,0022	0,0061	0,00%	0,00%	0,00%
4.D. Áreas Úmidas	CO ₂	6.158	11.178	6	32	32,6	0,0000	0,0021	0,0070	0,07%	0,06%	0,00%
4.D. Áreas Úmidas	CH ₄	197	385	6	34	34,5	0,0000	0,0001	0,0002	0,00%	0,00%	0,00%
4.D. Áreas Úmidas	N ₂ O	57	112	6	49	49,4	0,0000	0,0000	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
4.D.2. Área convertida para área úmida	CO ₂	6.158	11.178	-	-	-	-	0,0021	0,0070	0,00%	0,00%	0,00%
4.D.2. Área convertida para área úmida	CH ₄	197	385	-	-	-	-	0,0001	0,0002	0,00%	0,00%	0,00%
4.D.2. Área convertida para área úmida	N ₂ O	57	112	-	-	-	-	0,0000	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
4.E. Assentamentos	CO ₂	6.711	5.552	13	32	34,5	0,0000	0,0019	0,0035	0,06%	0,06%	0,00%
4.E. Assentamentos	CH ₄	141	90	13	34	36,4	0,0000	0,0001	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
4.E. Assentamentos	N ₂ O	44	28	13	49	50,7	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%

Categoria IPCC	Gás	Emissões e Remoções (1990) kt CO ₂ eq	Emissões e Remoções (2022) kt CO ₂ eq	Incerteza dos dados de atividade %	Incerteza nos fatores de emissão %	Incerteza combinada %	Contribuição para a variância por categoria em 2022	Sensibilidade tipo A %	Sensibilidade tipo B %	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo fator de emissão	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo dado de atividade	Incerteza introduzida pela tendência nas emissões nacionais
4.E.2. Área convertida para Assentamentos	CO ₂	6.711	5.552	-	-	-	-	0,0019	0,0035	0,00%	0,00%	0,00%
4.E.2. Área convertida para Assentamentos	CH ₄	141	90	-	-	-	-	0,0001	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
4.E.2. Área convertida para Assentamentos	N ₂ O	44	28	-	-	-	-	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
4.F. Outras Terras	CO ₂	1.226	12.062	6	32	32,6	0,0000	0,0066	0,0076	0,21%	0,06%	0,00%
4.F. Outras Terras	CH ₄	38	435	6	34	34,5	0,0000	0,0002	0,0003	0,01%	0,00%	0,00%
4.F. Outras Terras	N ₂ O	11	124	6	49	49,4	0,0000	0,0001	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
4.F.2. Área convertida para Outras Terras	CO ₂	1.226	12.062	-	-	-	-	0,0066	0,0076	0,00%	0,00%	0,00%
4.F.2. Área convertida para Outras Terras	CH ₄	38	435	-	-	-	-	0,0002	0,0003	0,00%	0,00%	0,00%
4.F.2. Área convertida para Outras Terras	N ₂ O	11	124	-	-	-	-	0,0001	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
4.G. Produtos florestais madeiros	CO ₂	-18.984	-56.507	50	35	61,0	0,0003	0,0202	0,0356	0,71%	2,52%	0,07%
5.A. Disposição de resíduos sólidos	CH ₄	13.186	53.421	-	15	15,0	0,0000	0,0230	0,0336	0,34%	0,00%	0,00%
5.A.1. Locais manejados	CH ₄	5.229	44.051	-	-	-	-	0,0235	0,0277	0,00%	0,00%	0,00%
5.A.3. Locais não categorizados	CH ₄	7.957	9.370	-	-	-	-	0,0005	0,0059	0,00%	0,00%	0,00%
5.B. Tratamento biológico de resíduos sólidos	CH ₄	11	39	-	38	38,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
5.B. Tratamento biológico de resíduos sólidos	N ₂ O	6	22	-	37	37,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
5.B.1. Compostagem	CH ₄	11	39	-	-	-	-	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
5.B.1. Compostagem	N ₂ O	6	22	-	-	-	-	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
5.C. Incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos	CO ₂	535	504	-	44	44,0	0,0000	0,0001	0,0003	0,01%	0,00%	0,00%
5.C. Incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos	CH ₄	536	630	-	31	31,0	0,0000	0,0000	0,0004	0,00%	0,00%	0,00%
5.C. Incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos	N ₂ O	80	90	-	36	36,0	0,0000	0,0000	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
5.C.1. Incineração de resíduos	CO ₂	39	107	-	-	-	-	0,0000	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%

Categoria IPCC	Gás	Emissões e Remoções (1990) kt CO ₂ eq	Emissões e Remoções (2022) kt CO ₂ eq	Incerteza dos dados de atividade %	Incerteza nos fatores de emissão %	Incerteza combinada %	Contribuição para a variância por categoria em 2022	Sensibilidade tipo A %	Sensibilidade tipo B %	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo fator de emissão	Incerteza tendencial na emissão introduzida pelo dado de atividade	Incerteza introduzida pela tendência nas emissões nacionais
5.C.1. Incineração de resíduos	N ₂ O	3	9	-	-	-	-	0,0000	0,0000	0,00%	0,00%	0,00%
5.C.2. Queima de resíduos a céu aberto	CO ₂	496	397	-	-	-	-	0,0002	0,0002	0,00%	0,00%	0,00%
5.C.2. Queima de resíduos a céu aberto	CH ₄	536	630	-	-	-	-	2,0000	0,0004	0,00%	0,00%	0,00%
5.C.2. Queima de resíduos a céu aberto	N ₂ O	77	81	-	-	-	-	0,0000	0,0001	0,00%	0,00%	0,00%
5.D. Tratamento e despejo de águas residuárias	CH ₄	16.950	33.654	-	14	14,0	0,0000	0,0075	0,0212	0,10%	0,00%	0,00%
5.D. Tratamento e despejo de águas residuárias	N ₂ O	1.291	2.402	-	28	28,0	0,0000	0,0005	0,0015	0,01%	0,00%	0,00%
5.D.1. Águas residuárias domésticas	CH ₄	15.242	27.808	-	-	-	-	0,0052	0,0175	0,00%	0,00%	0,00%
5.D.1. Águas residuárias domésticas	N ₂ O	1.291	2.402	-	-	-	-	0,0005	0,0015	0,00%	0,00%	0,00%
5.D.2. Águas residuárias industriais	CH ₄	1.708	5.846	-	-	-	-	0,0023	0,0037	0,00%	0,00%	0,00%
TOTAL		1.588.532	2.039.236				0,0414					0,0096
					Percentual de incerteza no inventário total		20,3%				Incerteza Tendencial	9,8%

APÊNDICE III. DESCRIÇÃO DA ABORDAGEM DE REFERÊNCIA E SUA COMPARAÇÃO COM A ABORDAGEM SETORIAL

Para o cálculo das emissões de CO₂ no Setor Energia pela abordagem de Referência, foi utilizada a metodologia IPCC (2006, v. 2, cap. 6). Essa metodologia refere-se à apresentação de um quadro geral das emissões pela queima de combustíveis fósseis. Os energéticos são separados por estado físico do produto primário, correspondendo fundamentalmente a Petróleo, seus derivados e Líquidos de Gás Natural (líquidos), Carvão Mineral (sólidos) e Gás Natural (gasosos). A metodologia não distingue o uso da energia entre as diferentes categorias de fontes, o que requer a utilização da abordagem Setorial (como indicado no Capítulo 4 deste documento).

Na abordagem de Referência, as emissões da queima de combustíveis são calculadas a partir de dados agregados sobre a oferta de combustíveis em determinada economia, a partir do conceito de consumo aparente. Nesse conceito, soma-se à produção de combustíveis primários a importação de combustíveis primários e secundários e se subtrai a exportação de combustíveis primários e secundários, de *bunkers* e a variação de estoque. A partir desse resultado, estimam-se as emissões de CO₂ com base no conteúdo de carbono dos combustíveis.

Os dados utilizados para determinação do consumo aparente de insumos energéticos, base para o cálculo das emissões de CO₂, foram obtidos do Balanço Energético Nacional (BEN), utilizando-se a Matriz ampliada do BEN (EPE, 2023). Para estimativa do consumo aparente, foi utilizada a equação 6.2 da página 6.6 do Capítulo 6 do Volume 2 do IPCC (2006).

Com relação aos dados de produção, o IPCC contabiliza líquidos de gás natural (LGN) na categoria Fóssil Líquido e gás natural seco (GNS) como a única fonte na categoria Fóssil Gasoso. Esta discriminação, entretanto, não se reflete no BEN, tendo em vista que há indicação relevante de consumo de gás natural úmido no Brasil. Assim, são necessárias adaptações que permitam a compatibilização do IPCC com o BEN. O inventário contabiliza gás natural úmido (produzido) e gás natural seco (importado) na categoria Fóssil Gasoso, e mantém os líquidos de gás natural (LGN), na categoria Fóssil Líquido.

Para os derivados dos produtos da cana foram obtidos do BEN os valores para a produção dos seguintes combustíveis: Bagaço, Caldo de Cana e Melaço – os dois últimos, embora não sejam combustíveis, servem como insumo à produção de etanol.

Para a contabilização das outras fontes de energia, consideradas na categoria “outras fontes primárias do BEN”, foram inseridas na contabilização as subcategorias “outras fontes primárias fósseis” – excluindo-se dela os gases industriais por ser dupla contagem e considerando-se apenas os resíduos para a indústria de cimento (pneus, resíduos hospitalares e outros queimados nos fornos de cimento) – e “outras primárias renováveis” – incluindo-se óleos vegetais, biogás e biomassa (resíduos vegetais).

Os valores relativos à *bunker* foram obtidos do BEN para os anos de 1990 a 2022.

Quanto às exportações e importações, as fontes secundárias interessam à abordagem de Referência quando são importadas, exportadas ou apresentam variação de estoques. Foi necessário subtrair das importações as parcelas referentes à importação de metanol e MTBE para adição respectivamente ao Alcool Hidratado e à Gasolina para os anos de 1990 a 1995. A partir de 1996, esses aditivos não mais foram importados.

Os conteúdos de carbono utilizados neste Inventário são aqueles recomendados pelo IPCC (2006). No caso de gás natural úmido, adotou-se o fator de gás natural seco, tendo em vista não estar previsto no IPCC.

O cálculo da quantidade de carbono excluído seguiu a orientação do IPCC (2006). Os valores referentes a matérias-primas e produtos de uso não energéticos foram descontados dos cálculos com base no BEN, que os contabiliza como “consumo não energético”. Para combustíveis utilizados como redutores foram descontados dos cálculos os valores atribuídos pelo Balanço de

Energia Útil (BEU), como sendo para “aquecimento direto”, nos setores de “ferro-gusa e aço”, “ferroligas” e “não ferrosos”, referentes a outros carvões betuminosos, carvão vegetal, coque de carvão mineral e coque de petróleo.

A Tabela a seguir apresenta os resultados das emissões anuais e diferença (%) entre a abordagem de Referência e abordagem setorial.

Tabela A.III.1 Resultados das emissões anuais entre a abordagem de Referência e Abordagem Setorial.

Ano	Abordagem de Referência (kt CO ₂)	Abordagem Setorial (kt CO ₂)	Diferença (%)
1990	174.697	170.856	2,25
1991	180.552	174.530	3,45
1992	184.171	179.832	2,41
1993	190.501	185.033	2,96
1994	199.495	193.480	3,11
1995	213.954	210.029	1,87
1996	232.839	226.661	2,73
1997	246.978	241.644	2,21
1998	256.452	248.249	3,30
1999	264.585	257.247	2,85
2000	266.758	263.366	1,29
2001	279.446	270.664	3,24
2002	273.967	267.971	2,24
2003	264.383	261.198	1,22
2004	280.315	276.075	1,54
2005	285.261	281.048	1,50
2006	288.392	287.021	0,48
2007	301.577	300.178	0,47
2008	319.733	318.588	0,36
2009	304.380	301.945	0,81
2010	344.436	339.460	1,47
2011	356.328	354.216	0,60
2012	386.688	385.814	0,23
2013	420.907	416.786	0,99
2014	444.453	440.670	0,86
2015	419.704	416.579	0,75
2016	382.936	384.118	-0,31
2017	396.044	391.894	1,06
2018	375.686	369.152	1,77
2019	370.609	368.224	0,65
2020	346.069	348.751	-0,77
2021	399.208	393.734	1,39
2022	373.647	374.317	-0,18

APÊNDICE IV. DESCRIÇÕES ADICIONAIS PARA O SETOR ENERGIA

Este apêndice detalha procedimentos metodológicos, ajustes estatísticos, dados e parâmetros adotados na mensuração de emissões do Setor Energia do NIR 2024. A metodologia adotada segue as diretrizes delineadas em IPCC (2006), sobretudo nos Capítulos 2 ao 5 do Volume 2.

Fatores de emissão implícitos por gases na Subcategoria Transporte Rodoviário

Tabela A.IV.1. Fatores de emissão implícitos de CO₂ (kg/TJ).

Ano	Gasolina A	Etanol hidratado	Etanol anidro	Diesel mineral	Biodiesel	GNV
1990	72.243	70.770	70.770	74.070	0	54.278
1991	72.038	70.770	70.770	74.070	0	54.278
1992	72.251	70.770	70.770	74.070	0	54.278
1993	71.569	70.770	70.770	74.070	0	54.278
1994	71.962	70.770	70.770	74.070	0	54.278
1995	71.803	70.770	70.770	74.070	0	54.278
1996	69.303	70.770	70.770	74.070	0	54.278
1997	69.303	70.770	70.770	74.070	0	54.278
1998	69.303	70.770	70.770	74.070	0	54.278
1999	69.303	70.770	70.770	74.070	0	54.278
2000	69.303	70.770	70.770	74.070	0	54.278
2001	69.303	70.770	70.770	74.070	0	54.278
2002	69.303	70.770	70.770	74.070	0	54.256
2003	69.303	70.770	70.770	74.070	0	54.256
2004	69.303	70.770	70.770	74.070	0	54.256
2005-2022	69.303	70.770	70.770	74.070	70.770	54.256

Tabela A.IV.2. Fatores de emissão implícitos de N₂O (kg/TJ).

Ano	Gasolina C	Etanol hidratado	GNV	Diesel mineral
1990	1,5	2,4	0,1	2,7
1991	1,5	2,4	0,1	2,7
1992	1,5	2,4	0,1	2,7
1993	1,5	2,4	0,1	2,6
1994	2,0	2,5	0,1	2,7
1995	2,8	2,6	0,1	2,6
1996	3,6	2,6	0,1	2,6
1997	4,4	2,6	0,1	2,6
1998	4,9	2,6	0,1	2,6
1999	5,4	2,6	0,1	2,7
2000	5,7	2,6	0,1	2,7
2001	6,1	2,7	0,1	2,7
2002	6,4	2,7	0,1	2,7
2003	6,5	2,8	0,1	2,7
2004	6,7	3,0	0,1	2,7
2005	6,8	3,5	0,1	2,7
2006	6,7	3,7	0,1	2,7
2007	6,8	4,0	0,1	2,7
2008	6,9	4,8	0,1	2,7
2009	6,9	5,0	0,1	2,7
2010	7,0	5,4	0,1	2,7
2011	7,1	5,6	0,1	2,7
2012	7,1	5,6	0,1	2,7
2013	7,3	5,8	0,1	2,7
2014	7,4	5,9	0,1	2,8
2015-2022	7,5	6,1	0,1	2,8

Tabela A.IV.3. Fatores de emissão implícitos de CH₄ (kg/TJ).

Ano	Gasolina C	Etanol hidratado	GNV	Diesel mineral
1990	127,2	93,4	0,5	5,1
1991	124,5	92,8	0,5	5,1
1992	121,0	90,9	0,5	5,1
1993	113,2	88,0	0,5	5,1
1994	104,3	86,0	0,5	5,1
1995	93,7	85,3	0,5	5,0
1996	85,0	84,9	0,5	5,0
1997	76,7	84,7	0,5	5,0
1998	69,1	84,6	0,5	5,0
1999	64,3	84,3	0,5	5,0
2000	59,6	83,8	0,5	5,0
2001	55,4	83,2	0,5	5,0
2002	52,1	81,9	0,5	5,0
2003	48,4	79,8	0,5	5,1
2004	45,6	75,0	0,5	5,0
2005	43,0	66,5	0,5	5,0
2006	39,8	61,4	0,5	5,1
2007	38,1	56,0	0,5	5,1
2008	36,0	41,3	0,5	5,0
2009	33,6	35,7	0,5	5,1
2010	30,3	30,0	0,5	5,1
2011	27,0	27,2	0,5	5,1
2012	23,9	27,3	0,5	5,1
2013	21,7	24,5	0,5	5,1
2014	19,6	22,7	0,5	5,1
2015	18,5	19,4	0,5	5,1
2016-2022	17,2	19,9	0,5	5,2

Tabela A.IV.4. Fatores de emissão implícitos de CO (kg/TJ).

Ano	Gasolina C	Etanol hidratado	GNV	Diesel mineral
1990	10.866,4	6.937,1	1,3	147,4
1991	10.525,3	6.966,8	1,3	147,9
1992	10.151,0	6.867,2	1,3	148,2
1993	9.474,9	6.644,6	1,3	147,9
1994	8.585,7	6.451,0	1,3	147,7
1995	7.402,7	6.360,7	1,3	146,9
1996	6.410,1	6.333,4	1,3	146,5
1997	5.563,1	6.321,5	1,3	145,8
1998	4.881,1	6.300,1	1,3	146,7
1999	4.452,1	6.262,3	1,3	147,6
2000	4.039,8	6.215,9	1,3	147,7
2001	3.670,8	6.153,0	1,3	147,6
2002	3.369,8	6.026,4	1,3	144,7
2003	3.061,6	5.839,7	1,3	141,0
2004	2.822,3	5.415,6	1,3	135,2
2005	2.604,4	4.675,5	1,3	130,7
2006	2.350,7	4.236,8	1,3	126,8
2007	2.190,7	3.766,9	1,3	122,8
2008	2.034,4	2.518,5	1,3	118,0
2009	1.873,9	2.064,8	1,3	114,7
2010	1.679,4	1.602,7	1,3	108,9
2011	1.482,7	1.347,6	1,3	103,7
2012	1.295,8	1.353,5	1,3	97,3
2013	1.165,2	1.151,6	1,3	88,8
2014	1.050,8	1.031,9	1,3	81,6
2015	989,0	805,4	1,3	77,3
2016-2022	926,6	858,3	1,3	74,9

Tabela A.IV.5. Fatores de emissão implícitos de NO_x (kg/TJ).

Ano	Gasolina C	Etanol hidratado	GNV	Diesel mineral
1990	418,0	491,3	0,7	833,3
1991	428,5	490,2	0,7	835,3
1992	430,7	482,4	0,7	836,7
1993	417,7	469,4	0,7	834,3
1994	399,5	459,4	0,7	830,3
1995	367,1	454,7	0,7	825,0
1996	339,5	453,6	0,7	821,5
1997	312,3	453,4	0,7	817,6
1998	286,9	453,3	0,7	822,0
1999	271,3	452,6	0,7	825,7
2000	254,7	451,1	0,7	816,6
2001	238,9	448,5	0,7	797,2
2002	224,9	441,3	0,7	775,7
2003	208,8	430,0	0,7	760,6
2004	195,8	402,2	0,7	736,1
2005	183,9	352,8	0,7	713,9
2006	168,3	322,9	0,7	691,4
2007	159,6	287,8	0,7	665,7
2008	150,1	196,4	0,7	636,9
2009	138,9	160,9	0,7	616,2
2010	127,4	125,2	0,7	589,3
2011	115,2	105,4	0,7	565,3
2012	102,6	105,1	0,7	532,8
2013	93,7	89,6	0,7	489,6
2014	85,9	80,2	0,7	452,5
2015	81,3	63,0	0,7	429,9
2016-2022	77,0	66,6	0,7	417,6

Tabela A.IV.6. Fatores de emissão implícitos de NMVOC (kg/TJ).

Ano	Gasolina C	Etanol hidratado	GNV	Diesel mineral
1990	2.165,3	1.350,3	0,1	53,1
1991	2.085,9	1.340,7	0,1	53,2
1992	2.007,1	1.312,0	0,1	53,3
1993	1.870,4	1.266,9	0,1	53,2
1994	1.686,5	1.227,4	0,1	53,0
1995	1.450,8	1.207,9	0,1	52,6
1996	1.244,4	1.201,9	0,1	52,4
1997	1.065,0	1.199,5	0,1	52,2
1998	929,8	1.196,0	0,1	52,5
1999	844,3	1.190,0	0,1	52,7
2000	761,9	1.182,0	0,1	52,6
2001	688,4	1.171,1	0,1	52,1
2002	628,5	1.148,2	0,1	50,9
2003	567,8	1.114,2	0,1	49,3
2004	520,0	1.037,8	0,1	46,9
2005	478,3	900,0	0,1	44,8
2006	430,0	815,9	0,1	42,8
2007	401,2	730,6	0,1	40,7
2008	372,7	496,4	0,1	37,9
2009	342,3	406,8	0,1	35,3
2010	309,6	316,9	0,1	32,4
2011	276,2	268,4	0,1	29,6
2012	243,1	268,8	0,1	26,9
2013	219,3	229,9	0,1	24,1
2014	198,3	206,8	0,1	21,8
2015	185,6	164,2	0,1	20,3
2016-2022	173,5	173,1	0,1	19,4

Fatores de emissão implícitos por gases na Subcategoria Aviação Doméstica

As Tabelas A.IV.7 e A.IV.8 mostram os fatores de emissão implícitos por GEE modelados na categoria Aviação doméstica (1.A.3.d) para querosene de aviação e gasolina de aviação. Os fatores implícitos para os anos de 2017 a 2022 repetiram os resultados de 2016.

Tabela A.IV.7. Fatores de emissão implícitos (kg/TJ) de querosene de aviação na Subcategoria Aviação doméstica (1.A.3.d).

Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NM VOC
1990-2004	71.500	0,03	1,97	51,23	65,70	9,87
2005	73.131	0,03	1,97	51,23	65,70	9,87
2006	73.131	0,03	1,97	47,72	65,09	8,30
2007	73.131	0,03	1,97	42,45	66,11	5,45
2008	73.131	0,03	1,97	38,08	66,36	4,20
2009	73.131	0,03	1,97	38,02	67,20	3,77
2010	73.131	0,03	1,97	38,19	65,63	3,97
2011	73.131	0,03	1,98	38,91	64,75	4,04
2012	73.131	0,03	1,98	39,49	64,81	4,16
2013	73.131	0,03	1,98	39,10	65,62	4,24
2014	73.131	0,03	1,98	39,95	65,74	4,42
2015	73.131	0,03	1,98	39,16	65,31	4,25
2016-2022	73.131	0,03	1,98	38,83	63,61	4,31

Tabela A.IV.8. Fatores de emissão implícitos (kg/TJ) de gasolina de aviação na Subcategoria Aviação doméstica (1.A.3.d).

Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1990-2022	70.000	0,50	2,00

Resumo das bases de dados do inventário do Setor Energia

O Quadro A.IV.1 sumariza os principais dados utilizados, bem como as fontes de informações adotadas no inventário do Setor Energia.

Quadro A.IV.1. Resumo da metodologia utilizada no cálculo de emissões do Setor Energia.

Informações	Unidade	Origem
Intensidade de carbono nacional, por modo	kg/t-km ou kg/pass-km	Brasil (2020) e Anac (2020)
Consumo energético nacional, por Setor da economia e modo	tep, joule, Wh	EPE (2023) e ANP (2024)
Intensidade energética nacional, por modo	kJ/t-km, kJ/pass-km	Estimado a partir de Abraciclo (2023), Anfavea (2022), Fenabrave (2022) e Senatran (2022)
Frota circulante por ano-modelo	Veículo	Briand <i>et al.</i> , (2023), Briand <i>et al.</i> , (2024), ANAC (2024), ANTAQ (2023), ANP trilhos (2021), EPL (2021) e ANTT (2021)
Extensão da infraestrutura por modo	km	
Atividade de transporte por modo	t-km, pass-km	
Divisão modal de carga por modo	%	
Divisão modal de passageiros por modo	%	
Total de carga transportada por modo	t	Cetesb (2023), IPCC (2006), MMA (2014), EMEP/EEA (2013; 2017), Brasil (2020) e ANAC (2020)
Total de passageiros transportados por modo	pass	
Fator de emissão por gás	kg/l, g/km, g/dia, t/TJ	Brasil (2020)
Fator de emissão implícito por gás	kg/TJ	ANP (2020) e EPE (2021) e Brasil (2020)
Fator de conversão por fonte energética	tep, joule etc.	
Densidade por fonte energética	t/m ³	
Composição por fonte energética	% da mistura	
Poder calorífico por fonte energética	kcal/kg	Abraciclo (2023), Anfavea (2022), Fenabrave (2022) e Senatran (2022)
Licenciamento por ano-modelo	Veículo	
Rendimento energético por ano-modelo	km/l	Cetesb (2023), IBTS (2019) e MMA (2014)
Intensidade de uso por ano-modelo	km/ano	
Ocupação média por ano-modelo	t/veículo	NTU (2023), IBTS (2019) e ANTP (2018)
Lotação média por ano-modelo	pass/veículo	
Distância média por viagem por ano-modelo	km/viagem	Siecesc/Abcm (2023)
Run-of-Mine (ROM)	t	
Produção, refino e transporte de derivados de petróleo	m ³	ANP (2024) e Petrobras (2024)

APÊNDICE V. DESCRIÇÕES ADICIONAIS PARA O SETOR PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS

Dados de atividade e outros parâmetros (2.A.4.a. Cerâmica)

Tabela A.V.1. Energia apropriada à Subcategoria Cerâmica, conforme o Balanço Energético Nacional, após conversões de valores para a unidade de energia (ktep).

Energia: Cerâmica	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Energia fóssil (ktep)	1.405	1.472	1.644	1.728	1.700	1.838	1.963	1.951	2.016
Energia biomassa (ktep)	1.746	1.794	1.920	2.174	2.134	2.334	2.449	2.521	2.697
Eleticidade (ktep)	270	276	284	298	301	319	342	359	380
Total de energia	3.420	3.542	3.848	4.200	4.136	4.491	4.754	4.831	5.094
Energia: Cerâmica	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Energia fóssil (ktep)	2.005	1.926	1.833	1.834	1.740	1.746	1.534	1.761	1.674
Energia biomassa (ktep)	2.724	2.373	2.136	2.136	2.111	2.137	1.905	2.034	1.980
Eleticidade (ktep)	377	339	322	322	318	322	287	321	313
Total de energia	5.105	4.637	4.291	4.293	4.170	4.205	3.726	4.116	3.966

Fontes: Elaborado a partir de EPE (2023).

Tabela A.V.2. Relação entre produção e energia (t/tep).

Brasil	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Produção de cerâmica (kt)	19.816	23.786	24.155	27.196	26.488	29.768	32.222	33.017
Energia (ktep)	3.420	3.542	3.848	4.200	4.136	4.491	4.754	4.831
Relação produção/energia (t/tep)	5,79	6,72	6,28	6,47	6,41	6,63	6,78	6,83
Brasil	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Produção de cerâmica (kt)	35.146	39.407	37.022	35.390	32.024	33.655	36.957	33.262
Energia (ktep)	5.094	5.105	4.637	4.291	4.293	4.170	4.205	3.726
Relação produção/energia (t/tep)	6,90	7,72	7,98	8,25	7,46	8,07	8,79	8,93

Fontes: Elaborado a partir de EPE (2023).

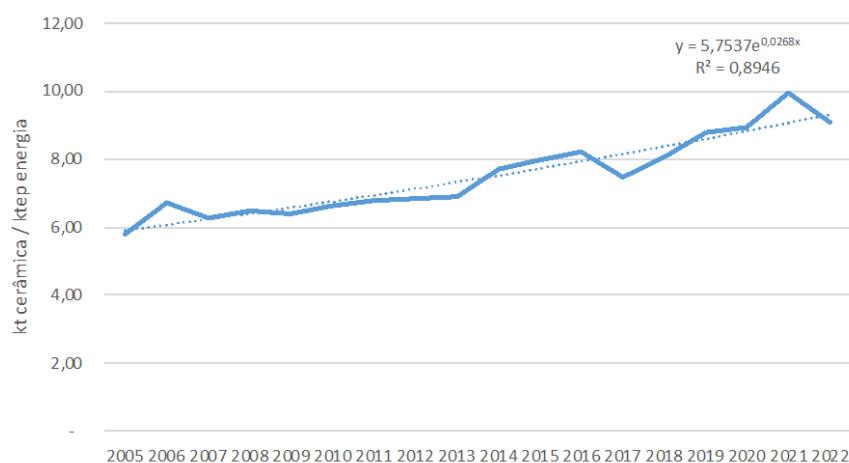


Figura A.V.1. Relação da produção de cerâmica com consumo de energia, 2005 a 2016.

Tabela A.V.3. Distribuição média da produção de cerâmica, em termos de massa, para os códigos do IBGE, entre 2005-2022.

Código	Participação média (2005-2022)
2341.2025	0,06%
2341.2040	6,13%
2342.2010	0,00%
2342.2030	40,60%
2342.2040	1,66%
2342.2045	0,85%
2342.2050	14,37%
2342.2065	33,84%
2342.2080	0,21%
2349.2010	0,04%
2349.2030	0,17%
2349.2045	0,01%
2349.2050	0,43%
2349.2080	0,31%
2349.2090	0,12%
2349.2100	0,01%
2349.2110	1,18%
Total	100,0%

Quadro A.V.1. Categorias de produtos agrupados, segundo códigos do SIDRA/IBGE.

Categorias	Código/Produto
Cerâmica vermelha	• 2342.2050 Telhas de cerâmica. • 2342.2065 Tijolos perfurados, tapa-vigas e outros tijolos de cerâmica para construção, exceto refratários. • 2342.2080 Tubos, canos, calhas e outros acessórios para canalização, de cerâmica. • 2341.2025 Tijolos, ladrilhos e outras peças cerâmicas de farinhas siliciosas fósseis ou de terras siliciosas semelhantes. • 2341.2040 Tijolos, ladrilhos e peças cerâmicas semelhantes refratárias, para a construção de fornos, fornalhas, aparelhos para as indústrias metalúrgica e química, da cerâmica e do vidro, etc, que não sejam de farinhas siliciosas fósseis nem de terras siliciosas • 2342.2010 Elementos de chaminés, ornamentos arquitetônicos, etc., de cerâmica. • 2349.2010 Aparelhos e artefatos de cerâmica para usos técnicos; recipientes de cerâmica para usos rurais e para transporte ou embalagem.
	• 2342.2030 Ladrilhos, placas e azulejos de cerâmica para pavimentação ou revestimento, esmaltados. • 2342.2040 Ladrilhos e placas de cerâmica para pavimentação ou revestimento, não esmaltados. • 2342.2045 Pastilhas, cubos e artigos semelhantes de cerâmica, para mosaicos, esmaltados ou não.
	• 2349.2030 Artigos de cerâmica, exceto porcelana, para serviço de mesa ou de cozinha. • 2349.2045 Artigos de cerâmica ou de porcelana. • 2349.2050 Artigos de porcelana para serviço de mesa ou de cozinha. • 2349.2080 Estatuetas e outros objetos de ornamentação, de cerâmica. • 2349.2090 Isoladores de cerâmica para usos elétricos. • 2349.2100 Peças ou tubos isolantes de cerâmica para máquinas, aparelhos ou instalações elétricas, com ou sem partes metálicas.
	• 2349.2110 Pias, banheiras, bidês e semelhantes para uso sanitário, de cerâmica ou porcelana (Mil unidades).
Cerâmica de revestimento	
Louça de mesa	
Louça sanitária	

Tabela A.V.4. Fatores de emissão da produção de cerâmica, por Unidade Federativa (UF).

UF	Número de estudos	Média UF	Média por região utilizada	Fator de emissão final, com 10% de aumento
		(t CO ₂ /t argila)		(t CO ₂ /t produzida)

Rondônia	-	-	0,0364	0,0400
Acre	-	-		0,0400
Amazonas	-	-		0,0400
Roraima	-	-		0,0400
Pará	-	-		0,0400
Amapá	-	-		0,0400
Tocantins	-	-		0,0400
Maranhão	-	-	0,0364	0,0400
Piauí	-	-		0,0400
Ceará	-	-		0,0400
Rio Grande do Norte	3	0,0285		0,0400
Paraíba	1	0,0249		0,0400
Pernambuco	1	0,1034		0,0400
Alagoas	-	-		0,0400
Sergipe	1	0,0056		0,0400
Bahia	4	0,0194		0,0400
Minas Gerais	-	-	0,0207	0,0228
Espírito Santo	1	0,0081		0,0228
Rio de Janeiro	4	0,0229		0,0228
São Paulo	11	0,0312		0,0228
Paraná	1	0,0191	0,0147	0,0162
Santa Catarina	3	0,0103		0,0162
Rio Grande do Sul	-	-		0,0162
Mato Grosso do Sul	2	0,0199	0,0199	0,0218
Mato Grosso	-	-		0,0218
Goiás	-	-		0,0218
Distrito Federal	-	-		0,0218

Fonte: Elaborado a partir de BA (Oliveira, 2011; Prado, 2011; Cabral *et al.*, 2008); ES (Savazzini *et al.*, 2016); MS (Rodrigues *et al.*, 1999; Rodrigues *et al.*, 1999); PB (Lima *et al.*, 2016); PE (Silva, 2008); PR (Cabral *et al.*, 2008); RJ (Cabral *et al.*, 2008; Pereira *et al.*, 2011; Prado, 2011; Sousa, 2008); RN (Silveira *et al.*, 2002; Silveira *et al.*, 2000; VIEIRA, 2007); SC (CABRAL *et al.*, 2008; Grun, 2007); SE (Prado, 2011); SP (Motta *et al.*, 2004; MOTTA *et al.*, 1993; Prado, 2011; Senna, 2003; Cabral *et al.*, 2008 [4x]; Rocha *et al.*, 2009).

Dados de atividade e outros parâmetros (2.C.1. Ferro e Aço)**Tabela A.V.5.** Entradas (matérias-primas) consideradas do processo de sinterização, de 1990 a 2006.

Entradas (matérias-primas)	Unid.	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Antracito consumido na sinterização	t	236.984	240.904	252.008	309.143	333.750	343.681	348.076	403.584	407.777
Gás de alto-forno consumido na sinterização	dam³	67.146	65.891	69.022	71.260	70.985	68.269	67.839	62.009	69.661
Moinha de coque consumida na sinterização	t	797.477	810.011	841.851	770.098	796.803	792.093	811.921	818.553	728.285
Moinha de coque comprada para a sinterização	t	137.331	142.807	132.405	125.115	124.325	154.395	157.040	164.726	145.528
Dolomita consumida na sinterização	t	738.755	817.630	910.966	917.925	944.943	948.723	953.461	1.006.033	1.029.194
Calcário consumido na sinterização	t	1.721.406	1.781.280	1.706.998	1.747.713	1.775.770	1.795.098	1.891.772	2.015.264	2.163.959

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c).

Continuação. Entradas (matérias-primas) consideradas do processo de sinterização, de 1990 a 2006.

Entradas (matérias-primas)	Unid.	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Antracito consumido na sinterização	t	256.268	360.219	447.043	455.172	472.008	571.128	589.539	610.314
Gás de alto-forno consumido na sinterização	dam³	98.356	97.145	96.802	96.621	96.691	100.148	95.574	96.583
Moinha de coque consumida na sinterização	t	734.406	754.612	676.456	758.011	686.082	721.172	681.303	615.855
Moinha de coque comprada para a sinterização	t	165.239	112.469	110.589	128.208	149.134	126.764	128.059	121.945
Dolomita consumida na sinterização	t	649.441	675.179	652.169	736.798	881.498	1.073.626	1.087.213	342.032
Calcário consumido na sinterização	t	2.062.636	2.316.250	2.147.678	2.088.993	2.112.337	1.897.896	1.708.708	2.335.625

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c).

Tabela A.V.6. Entradas (matérias-primas) consideradas do processo de alto-forno e aciaria, de 1990 a 2006.

Entradas (matéria-prima)	Unid.	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Carvão FEA elétrica consumido na aciaria	t	6.251	4.431	5.321	5.538	4.578	4.592	4.827	5.805	6.310
Eletrodo consumido na aciaria	t	8.259	7.195	7.886	8.415	10.293	10.351	10.079	10.971	9.756
Carvão PCI consumido no alto-forno	t	193.125	208.394	212.533	237.286	184.342	606.198	610.153	915.943	1.670.352
Coque metalúrgico consumido na aciaria	t	5.095	6.571	7.059	7.792	6.252	5.925	6.522	7.117	6.682
Dolomita consumida na aciaria	t	107.009	105.908	112.186	122.384	123.764	103.466	114.254	127.763	425.471
Carga de carbono EAF consumida na aciaria	t	1.606	1.400	1.499	1.520	1.681	1.415	1.374	1.564	1.343
Calcário consumido no alto-forno	t	37.544	38.942	40.046	41.454	41.356	37.231	36.551	41.777	340.748
Coque metalúrgico consumido no alto-forno	t	7.138.979	7.822.997	7.985.095	7.994.908	8.134.998	8.492.380	7.926.205	8.155.267	8.163.025
Coque de petróleo consumido no alto-forno/aciaria	t	40.230	36.025	39.015	41.359	45.263	41.771	78.582	121.036	117.602
Sucata consumida na aciaria	t	3.620.468	3.308.554	3.636.891	3.922.095	4.038.513	3.729.537	3.904.408	4.284.810	4.091.948

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c).

Continuação. Entradas (matérias-primas) consideradas do processo de alto-forno e aciaria, de 1990 a 2006.

Entradas (matéria-prima)	Unid.	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Carvão FEA elétrica consumido na aciaria	t	7.664	9.240	11.027	9.821	8.893	10.775	11.712	9.729
Eletrodo consumido na aciaria	t	11.791	12.093	12.195	12.417	14.147	14.704	14.050	13.762
Carvão PCI consumido no alto-forno	t	1.796.046	2.602.499	2.511.391	2.686.231	3.083.960	3.302.543	3.117.343	2.947.835
Coque metalúrgico consumido na aciaria	t	9.393	12.203	13.874	14.337	14.581	13.158	17.606	7.221
Dolomita consumida na aciaria	t	454.760	144.562	515.229	519.146	546.515	569.867	520.755	445.859
Carga de carbono EAF consumida na aciaria	t	1.284	1.798	1.750	1.485	1.291	1.221	490	232
Calcário consumido no alto-forno	t	352.025	387.728	356.795	313.503	714.689	827.001	743.526	495.914
Coque metalúrgico consumido no alto-forno	t	7.158.653	7.913.756	7.547.307	8.441.420	8.540.356	8.378.568	8.048.581	7.565.814
Coque de petróleo consumido no alto-forno/aciaria	t	319.755	368.585	419.903	475.475	488.021	361.228	504.376	517.036
Sucata consumida na aciaria	t	4.887.503	4.868.754	5.249.134	5.433.776	6.001.644	6.316.687	6.130.313	5.987.101

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c).

Tabela A.V.7. Saídas (produtos), de 1990 a 2006.

Saídas (produtos)	Unid.	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Aço produzido	t	20.340.285	22.034.354	23.219.442	24.393.896	24.763.661	24.471.142	24.644.098	25.528.912	24.897.079
Aço especial produzido	t	473.936	437.650	485.321	495.594	572.314	504.055	524.517	582.495	474.592
Gás de alto-forno produzido	dam³	3.919.134	3.959.490	3.994.196	4.221.138	4.175.954	4.458.751	4.193.411	4.295.815	4.583.476

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c).

Continuação. Saídas (produtos), de 1990 a 2006.

Saídas (produtos)	Unid.	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Aço produzido	t	25.619.009	28.148.004	27.167.793	29.853.921	31.246.573	32.234.486	31.024.817	29.969.603
Aço especial produzido	t	522.466	509.891	466.224	550.769	597.720	722.388	625.387	638.887
Gás de alto-forno produzido	dam³	4.603.372	4.440.565	4.378.615	4.424.304	4.580.110	4.867.612	4.764.691	5.391.177

Fonte: Elaborado a partir de IABr (2020) e Brasil (2021c).

Dados de atividade e outros parâmetros (2.F. Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio)

Tabela A.V.8. Produção, importação e exportações de refrigeradores domésticos, 1998 a 2022.

Ano	Produção	Importação	Exportação
1998	4.519.252	77.824	271.862
1999	5.323.553	52.787	358.193
2000	3.788.110	56.635	472.713
2001	4.813.446	24.454	505.731
2002	4.187.791	19.598	505.619
2003	4.849.912	17.624	1.304.124
2004	5.419.834	9.145	1.645.032
2005	5.296.945	22.416	1.181.629
2006	6.128.610	49.521	1.072.231
2007	7.318.636	81.259	950.856
2008	6.694.221	90.707	792.990
2009	7.599.290	72.950	523.802
2010	7.817.150	131.248	507.717
2011	7.970.792	173.332	321.418
2012	8.281.551	228.254	275.723
2013	9.095.266	193.832	391.394
2014	7.701.615	221.093	544.038
2015	6.909.817	241.894	233.833
2016	9.451.000	117.408	214.466
2017	5.694.000	158.549	210.730
2018	6.074.000	168.996	144.925
2019	6.675.000	297.836	189.624
2020	6.312.000	337.503	140.075
2021	6.155.000	529.396	210.804
2022	6.530.000	421.654	170.514

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2024b) e MDIC (2024). Unidade: unidades.

Tabela A.V.9. Produção, importação e exportações de congeladores comerciais, 1998 a 2022.

Ano	Produção	Importação	Exportação
1998	55.580	264	64.210
1999	12.656	6.235	69.010
2000	918.109	629	88.552
2001	88.118	1.711	55.715
2002	38.612	56	37.063
2003	23.009	55	62.471
2004	191.620	54	105.040
2005	67.876	63	100.380
2006	191.397	292	106.384
2007	426.927	362	105.691
2008	401.604	1.231	96.757
2009	442.011	1.991	60.083
2010	161.388	5.185	70.971
2011	447.748	3.002	65.527
2012	617.446	26.388	52.489
2013	481.146	87.263	49.413
2014	673.799	36.683	43.965
2015	546.249	50.682	40.515
2016	323.743	19.038	45.486
2017	542.136	58.430	62.117
2018	251.044	65.895	43.920
2019	195.714	70.159	36.008
2020	241.594	109.165	29.058
2021	100.674	247.814	76.450
2022	127.794	191.214	54.744

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2024b) e MDIC (2024). Unidade: unidades.

Tabela A.V.10. Produção, importação e exportações de vitrinas e câmaras frigoríficas, 1998 a 2022.

Ano	Produção	Importação	Exportação

1998	360.875	38.011	6.224
1999	308.366	12.859	7.613
2000	142.867	6.947	17.800
2001	139.653	4.254	21.349
2002	245.386	8.462	15.368
2003	210.955	880	110.720
2004	216.625	884	258.710
2005	461.141	7.804	169.033
2006	414.331	25.419	60.269
2007	566.429	48.355	86.990
2008	536.628	102.202	34.229
2009	250.830	60.430	23.206
2010	572.698	154.332	22.646
2011	562.430	201.806	20.988
2012	436.709	108.742	14.707
2013	463.800	69.498	19.459
2014	751.482	49.292	40.387
2015	615.326	51.287	19.824
2016	445.271	33.582	16.873
2017	373.651	49.624	51.109
2018	546.036	65.984	46.587
2019	593.126	49.707	25.184
2020	604.253	62.477	30.546
2021	807.455	115.219	35.106
2022	862.655	65.272	25.632

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2024b) e MDIC (2024). Unidade: unidades.

Tabela A.V.11. Produção, importação e exportações de unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros, 1998 a 2022.

Ano	Produção	Importação	Exportação

1998	136.289	1.166	11.713
1999	168.258	1.389	16.671
2000	212.178	3.652	24.287
2001	479.853	2.416	23.116
2002	356.391	1.150	22.549
2003	266.734	914	18.885
2004	247.003	17.890	22.737
2005	340.474	31.756	27.508
2006	649.225	36.706	21.435
2007	183.633	98.288	24.392
2008	140.328	125.646	21.681
2009	140.328	146.503	21.830
2010	407.573	215.736	31.368
2011	649.989	417.342	16.870
2012	420.917	344.832	12.644
2013	324.369	652.146	14.853
2014	339.267	485.683	13.318
2015	481.826	428.600	15.322
2016	188.589	218.369	12.315
2017	231.753	230.219	11.042
2018	172.907	209.830	10.887
2019	162.247	230.408	9.105
2020	510.761	362.227	9.419
2021	122.511	360.193	13.419
2022	275.847	145.633	13.000

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2024b) e MDIC (2024). Unidade: unidades.

Tabela A.V.12. Produção e vendas de ar-condicionado *Split*, 2010 a 2022.

Ano	Produção	Vendas
2010	1.178.098	2.350.000
2011	2.689.808	2.650.000
2012	2.934.307	3.200.000
2013	3.406.022	3.500.000
2014	4.634.309	3.900.000
2015	4.978.510	4.250.000
2016	1.524.945	3.750.000
2017	3.036.056	3.490.336
2018	3.218.330	3.011.693
2019	4.229.189	4.173.733
2020	5.240.047	5.335.773
2021	5.878.534	5.591.649
2022	4.330.630	4.742.549

Tabela A.V.13. Produção e capacidade instalada (TR) de VRF, 2010 a 2022.

Ano	Produção	Vendas
2010	62.201	62.201
2011	58.766	120.967
2012	91.476	212.443
2013	128.175	340.618
2014	183.712	524.330
2015	127.562	651.892
2016	131.841	783.733
2017	130.391	914.124
2018	157.512	1.071.636
2019	172.791	1.244.426
2020	161.905	1.406.331
2021	181.495	1.587.827
2022	192.385	1.780.212

Fonte: Elaborado a partir Abrava (2022).

Tabela A.V.14. Produção e capacidade instalada de *chillers*, 1998 a 2022.

Ano	Produção	Capacidade instalada
1996	91.020	387.616
1997	121.180	508.796
1998	133.730	642.526
1999	126.830	769.356
2000	171.403	940.759
2001	168.757	1.109.516
2002	116.427	1.225.943
2003	143.559	1.369.501
2004	147.452	1.516.954
2005	149.678	1.666.632
2006	176.827	1.843.459
2007	185.449	2.000.192
2008	192.135	2.157.797
2009	166.920	2.279.337
2010	202.407	2.447.389
2011	233.703	2.638.872
2012	292.521	2.881.663
2013	288.944	3.116.892
2014	283.750	3.339.302
2015	195.526	3.489.706
2016	171.983	3.625.754
2017	170.091	3.795.845
2018	205.470	4.001.315
2019	225.401	4.226.716
2020	211.201	4.437.917
2021	236.756	4.674.672
2022	250.961	4.925.634

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2024b) e MDIC (2024). Unidade: unidades.

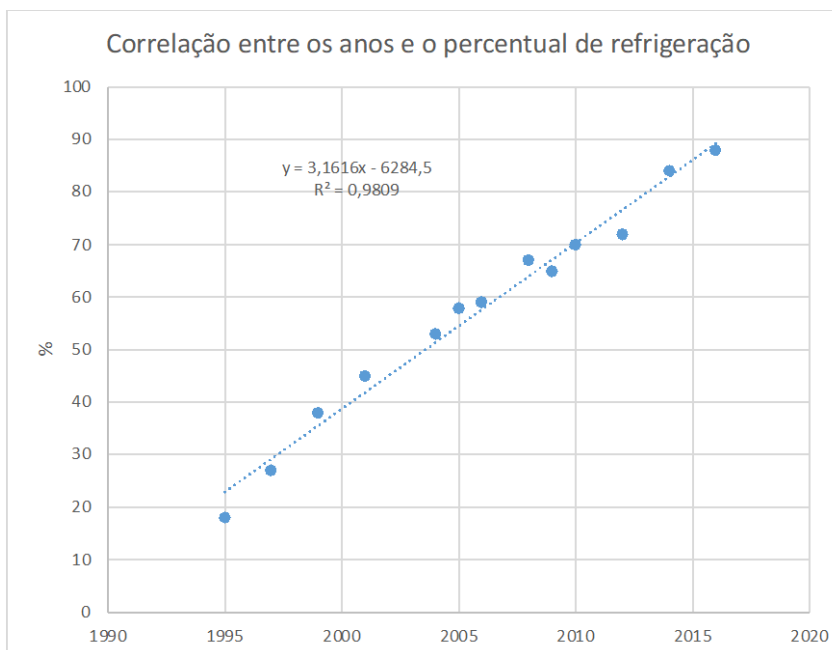


Figura A.V.2. Progressão estimada para a quantidade de veículos produzidos com ar-condicionado.

Dados de atividades e outros parâmetros (2.G. Fabricação e Uso de Outros Produtos)

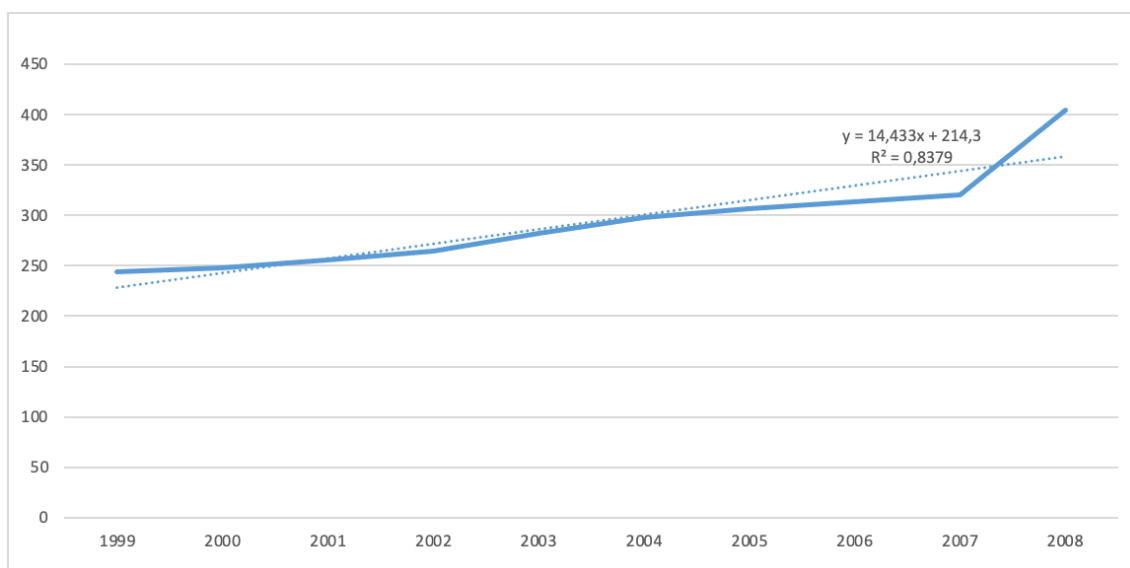


Figura A.V.3. Evolução da capacidade instalada de SF₆ e coeficientes da linha de tendência de 1999 a 2008.

APÊNDICE VI. DESCRIÇÕES ADICIONAIS PARA O SETOR AGROPECUÁRIA

Fermentação Entérica

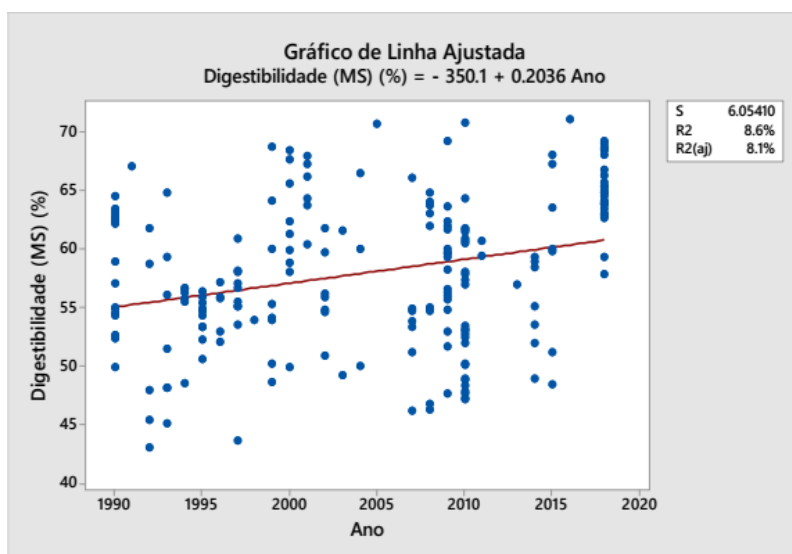
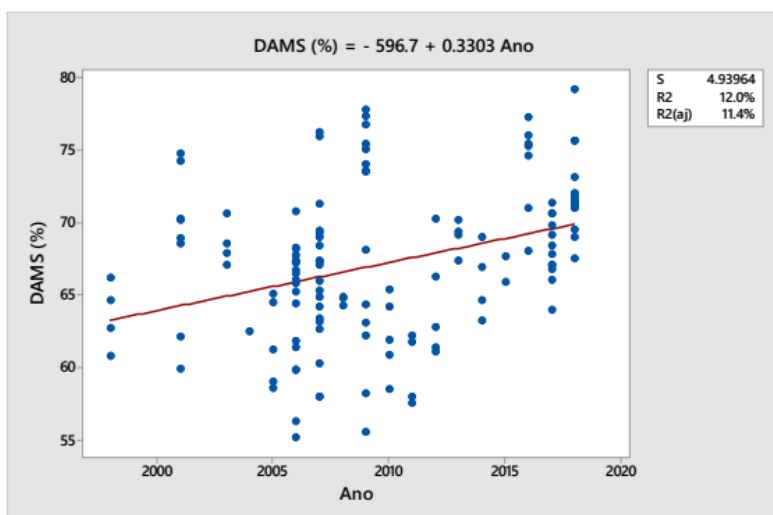


Figura A.VI.1. Relação entre a digestibilidade (%) da matéria seca de forrageiras tropicais e os anos de avaliação.

Com base no modelo de regressão linear se calcularam as médias do fator de digestibilidade em cada ano, e posteriormente obteve-se a média em função dos períodos avaliados. Considerando a escassez de publicações com informações de digestibilidade de plantas forrageiras em algumas regiões, optou-se por utilizar o valor médio nacional para todas as regiões do país.

O aumento linear da digestibilidade com o passar dos anos é um forte indício do aumento da intensificação dos sistemas de produção dentro da bovinocultura, ou seja, um aumento da produtividade, apontando também para uma melhoria em relação à quantidade e à qualidade das pastagens no Brasil.



Fonte: Autor (2019).

Figura A.VI.2. Relação entre a digestibilidade aparente da matéria seca (DAMS) de dietas de vacas e os anos avaliados.

Manejo de Dejetos

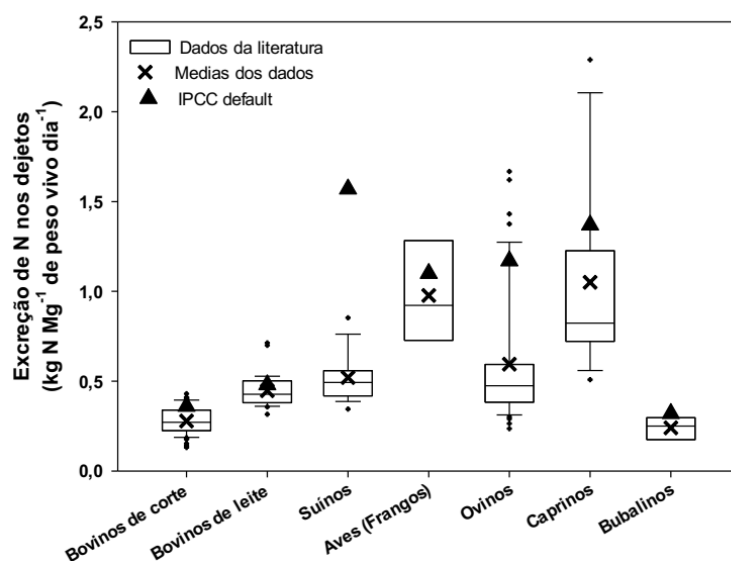


Figura A.VI.3. Box-plot dos dados de taxa de excreção de N (kg N Mg⁻¹ de peso vivo animal dia⁻¹) de diferentes espécies do rebanho calculadas a partir de publicações científicas, incluindo dados médios e a taxa de excreção padrão do IPCC (2006).

Tabela A.VI.1. Definição de faixas climáticas e temperatura média compensada para as UFs brasileiras entre os anos de 1990-2009 e 2010 a 2016.

1990 – 2009				2010 a 2016		
Região	UF	Clima	Temperatura média compensada	UF	Clima	Temperatura média compensada
Norte	Rondônia***	quente	26	Rondônia	quente	26
	Acre	quente	26	Acre	quente	26
	Amazonas	quente	27	Amazonas	quente	28
	Roraima	quente	28	Roraima	quente	28
	Pará	quente	27	Pará	quente	27
	Amapá	quente	27	Amapá	quente	28
Nordeste	Tocantins	quente	27	Tocantins	quente	28
	Maranhão	quente	27	Maranhão	quente	27
	Piauí	quente	27	Piauí	quente	28
	Ceará	quente	27	Ceará	quente	27
	Rio Grande do Norte	quente	26	Rio Grande do Norte	quente	27
	Paraíba	quente	27	Paraíba	quente	27
	Pernambuco	quente	26	Pernambuco	quente	26
	Alagoas*	quente	26	Alagoas*	quente	26
Sudeste	Sergipe	quente	26	Sergipe	quente	27
	Bahia*	quente	26	Bahia*	quente	26
	Minas Gerais	temperado	22	Minas Gerais	temperado	22
	Espírito Santo	temperado	25	Espírito Santo	temperado	25
Sul	Rio de Janeiro	temperado	25	Rio de Janeiro	temperado	25
	São Paulo	temperado	20	São Paulo	temperado	21
	Paraná	temperado	18	Paraná	temperado	18
Centro Oeste	Santa Catarina	temperado	21	Santa Catarina	temperado	21
	Rio Grande do Sul	temperado	20	Rio Grande do Sul	temperado	20
	Mato Grosso do Sul	temperado	22	Mato Grosso do Sul	temperado	22
	Mato Grosso*	quente	27	Mato Grosso*	quente	27
	Goiás	temperado	24	Goiás	temperado	25
	Distrito Federal	temperado	21	Distrito Federal	temperado	22

Notas: *Além da fonte INMET, para classificação do clima dessas UFs, foram levados em consideração dados de Alvares *et al.* (2013). ** Com base em normas climatológicas do período: 1990-2009 e 2010-2016 (INMET, 2018). *** Para o estado de Rondônia (RO) os dados foram obtidos através do banco de dados do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (www.ipef.br/geodatabase), assumindo o valor médio de temperatura compensada de 26°C para essa UF entre os anos de 1990 a 2016.

De acordo com a Tabela A.VI.1, os estados Amazonas, Amapá, Tocantins, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe, São Paulo, Goiás e o Distrito Federal sofreram com aumento de 1°C no valor médio de temperatura compensada entre os dois períodos analisados. Essa pequena alteração na temperatura afeta a porcentagem no fator de conversão do metano específico de cada sistema de tratamento de dejetos por UF, que reflete na capacidade máxima de produção de metano para dejetos produzidos por categoria animal. O banco de dados do período de 1990 a 2009 foi ajustado de acordo com essa modificação abordada na metodologia do IPCC (2006).

Tabela A.VI.2. População nacional de aves desagregadas por espécie e categorias.

Ano	Galinhas poedeiras	Pintos, frangos e frangas, e galos	Codornas
	Nº cabeças		
1990	104.583.810	372.065.924	2.464.016
1991	200.544.113	393.848.481	2.542.093
1992	204.160.371	435.464.988	2.488.172
1993	202.091.623	452.826.963	2.417.950
1994	207.539.242	473.548.803	2.424.280
1995	188.367.357	541.163.942	2.939.376
1996	178.527.564	549.558.943	4.219.887
1997	179.628.673	580.992.997	4.303.237
1998	175.851.681	589.370.346	4.707.143
1999	180.194.312	624.381.496	4.837.506
2000	183.494.626	659.245.547	5.775.181
2001	190.233.644	692.654.775	6.045.342
2002	180.427.006	703.718.166	5.575.068
2003	183.799.736	737.523.096	5.980.474
2004	184.786.319	759.512.029	6.243.202
2005	186.573.334	812.467.900	6.837.767
2006	191.622.110	819.893.591	7.207.830
2007	197.618.060	930.040.524	7.586.732
2008	207.711.504	990.992.544	8.976.816
2009	208.871.491	1.021.215.181	11.485.093
2010	210.761.060	1.028.151.477	12.992.269
2011	216.219.543	1.051.989.862	15.567.634
2012	213.230.493	1.032.038.992	16.436.164
2013	219.681.760	1.026.956.193	18.171.955
2014	223.913.652	1.096.835.749	20.332.003
2015	221.985.987	1.104.466.708	18.971.342
2016	217.878.734	1.129.747.458	13.809.820
2017	240.892.112	1.185.767.321	16.208.058
2018	244.864.094	1.220.782.600	16.844.423
2019	247.556.293	1.210.140.243	17.419.818
2020	252.772.110	1.225.652.251	16.455.799
2021	253.397.268	1.274.634.417	15.278.109
2022	259.452.999	1.326.594.876	14.028.550

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2018; 2024a).

Solos Manejados

- Manejo de solos orgânicos (Fos)

Tabela A.VI.3. Estimativa da área total de solos orgânicos no Brasil.

UF	Área
	ha
Tocantins	95.664,60
Norte	95.664,60
Maranhão	10.575,47
Piauí	11.944,06
Rio Grande do Norte	2.184,25
Paraíba	1.298,84
Pernambuco	2.905,17
Alagoas	68,52
Sergipe	2.275,83
Bahia	63.134,50
Nordeste	94.386,64
Minas Gerais	23.417,14
Espírito Santo	11.134,13
Rio de Janeiro	44.419,15
São Paulo	166.666,57
Sudeste	245.636,99
Paraná	118.478,07
Santa Catarina	64.080,48
Rio Grande do Sul	106.418,66
Sul	288.977,21
Mato Grosso do Sul	45.053,03
Mato Grosso	175.685,25
Goiás	13.189,29
Distrito Federal	
Centro-Oeste	233.927,57
Brasil	958.593,01

Fonte: Elaborado a partir de mapa de solos do Brasil (IBGE, 2018).

- Resíduos de culturas e renovação de pastagens (FCR)

O parâmetro *FracNew* foi utilizado de forma fracionada apenas para a renovação das pastagens, cujos parâmetros para a estimativa estão apresentados na Tabela A.VI.4. Tal como discutido antes, o *FracNew* é igual a 0,1, o que significa que 10% da área da pastagem é renovada anualmente, ou seja, toda a área de pastagem do país se renova a cada 10 anos, em média.

Tabela A.VI.4. Resumo dos parâmetros utilizados para calcular FCR na renovação de pastagens.

Bioma	C na biomassa total da pastagem	Rbg-bio	Nag	Nbg	AGDM	BGDM
	tonC/ha	kgMS/kgMS	kgN/kg	kgN/kg	kg/ha	kg/ha

Amazônia	6,84	1	0,010	0,006	8,54	8,54
Cerrado	7,57	1	0,007	0,006	9,46	9,46
Caatinga	1,19	1	0,007	0,006	1,49	1,49
Pantanal	7,57	1	0,010	0,006	9,46	9,46
Pampa	7,57	1	0,010	0,006	9,46	9,46
Mata Atlântica	7,57	1	0,010	0,006	9,46	9,46

Nota: Rbg-bio: Relação entre matéria seca de resíduos subterrâneos e matéria seca da biomassa de parte aérea; Nag: teor de N nos resíduos aéreos; Nbg: teor de N em resíduos subterrâneos; AGdm: matéria seca da biomassa aérea; BGdm: matéria seca resíduos subterrâneos. Fonte: Brasil (2016); Carvalho *et al.* (1991); Oliveira *et al.* (2004); Piccolo *et al.* (2005); Santos *et al.* (2007); Fabrice *et al.* (2014).

- Fração de matéria seca nos grãos (DRY)

A partir de dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelecidos em diferentes Portarias (1976, 1983, 1988)¹²⁴ e Instrução Normativa (2008) foram estabelecidos padrões para umidade de grãos comercializados. Para soja, milho e feijão, os limites máximos são de 14%, enquanto que para arroz e trigo são de 13%. Em geral, a umidade dos grãos, considerada em estudos com essas culturas, é de 13%. Assim, considerou-se uma fração de 0,87 de matéria seca dos grãos (DRY), para essas culturas.

- Razão entre resíduo seco e produto colhido seco (Rag) e frações de N nos resíduos de parte aérea e raízes (Nag)

Os valores de resíduos de parte aérea depositados no solo em razão da produção colhida foram os mesmos utilizados desde o Inventário da Terceira Comunicação Nacional (Brasil, 2016), com complementação da literatura nacional. Da mesma forma, definiram-se os conteúdos de N na matéria seca dos resíduos de parte aérea. Além disso, foram utilizados estudos nacionais para definição da fração de N na matéria seca das raízes e a relação de matéria seca das raízes produzidas em relação à massa seca total de parte aérea, incluindo os produtos a serem colhidos. Na Tabela A.VI.5 estão apresentados os parâmetros utilizados para calcular o FCR de resíduos aéreos das culturas que entraram na estimativa de emissões de N₂O. Na coluna identificada como R_{ag}, onde o valor se encontra padrão, significa que o cálculo de resíduo sobre o solo (AGdm) foi feito utilizando valores padrões do IPCC (2006), a partir da regressão linear cujo valor de AGdm é obtido diretamente com relação a produtividade e fração de matéria seca do produto. Em todos os casos, *FracNew*, que é fração da área que é renovada anualmente, é igual a 1. Mesmo considerando-se que apenas uma parte da área ocupada com a cultura da cana-de-açúcar é totalmente renovada anualmente, assumiu-se que, após a colheita, as raízes se renovam.

Tabela A.VI.5. Resumo dos parâmetros utilizados para calcular FCR de resíduos de cultura.

Parâmetro	Rag kgMS/kgMS	Nag kgN/kgMS	Nbg kgN/kgMS	Rbg-bio kgMS/kgMS	Frac dm kgMS/kgMF	Rbg-bio* kgMS/kgMS	AGdm intercept	AGdm slope
Arroz	0,9901	0,0092	0,0073	0,263	-	-	-	-
Cana-de-açúcar	-	0,006	0,006	0,1	0,28	-	-	-
Feijão	1,49	0,018	0,011	-	-	0,206	-	-
Mandioca	0,49	0,014	-	0	0,38	-	-	-
Milho	1,492	0,007	0,014	-	-	0,208	-	-
Soja	1,977	0,009	0,015	-	-	0,11	-	-

¹²⁴ Portarias: nº 845, de 8 de novembro de 1976; nº 262, de 23 de novembro de 1983; nº 269, de 17 de novembro de 1988, para soja, milho e arroz, respectivamente, e a Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008, para feijão.

Trigo	1,74	0,004	0,011			0,207		
Abacaxi	2,75	0,012	0,014	0,18	0,13			
Algodão	0,025		0,014	0,2	0,92		1,54	1,07
Alho	0,31	0,05	0,014	0,05	0,62		-	-
Amendoim		0,04		NA	0,93		1,54	1,07
Aveia		0,009	0,014	0,25	0,85		0,89	0,91
Batata-doce	-	0,023	0,014	0,2	0,17		1,06	0,1
Batata inglesa		0,016	0,014	0,2	0,15		1,06	0,1
Cebola	0,23	0,05	0,014	0,05	0,2			
Centeio		0,005	0,011	NA	0,87		0,88	1,09
Cevada		0,014	0,014	0,22	0,087		0,59	0,98
Ervilha	-	0,026	0,008	0,19	0,87		0,85	1,13
Fava		0,027	0,008	0,19	0,87		0,85	1,13
Fumo	0,38	-	-	-	0,83		-	-
Girassol		0,012	0,009	0,22	0,88		0,88	1,09
Juta	0,24	0,021	0,016	0,56	0,87			
Linho	0,24	0,021	0,016	0,56	0,87			
Malva	0,89	0,016	0,016	0,18	0,84			
Mamona	4,18	0,015	0,033	0,2	0,91		-	-
Melancia	1,23	0,029	0,014	0,01	0,1			
Melão	1,23	0,021	0,014	0,01	0,09			
Rami	1,56	0,016	0,016	0,12	0,93			
Sorgo	-	0,008	0,006	NA	0,87		1,33	0,88
Tomate	0,81	0,025	0,014	0,02	0,1		-	-
Triticale	1,74	0,016	0,007	0,065	0,86			

Legenda: Rag: Relação entre matéria seca de parte aérea e matéria seca de produto; Nag: Teor de N nos resíduos aéreos; Nbg: Teor de N em resíduos subterrâneos; Rbg-bio: Relação entre matéria seca de resíduos subterrâneos e matéria seca da biomassa de parte aérea; Rbg-bio*: Relação entre matéria seca de raízes e matéria seca da biomassa aérea deduzida da matéria seca do produto colhido; Fracdm: Fração de matéria seca do produto colhido; *AGdm intercept* e *AGdm slope* correspondem aos parâmetros das funções lineares para estimativa da quantidade de matéria seca da parte aérea do cultivo.

- Mineralização do N pela perda de C do solo (F_{SOM})

Nos casos em que a variação dos estoques de C do solo implicou perda, a quantidade de N mineralizada foi estimada pela multiplicação do fator R, que é o inverso da relação C/N do solo. Com base em dados obtidos da literatura, as relações C/N foram agrupadas por bioma, e em subgrupos de usos denominados “vegetação nativa (VN)”, “pastagens (P)” e “lavouras (L)”. A análise estatística dos dados mostrou existirem diferenças entre biomas, sendo o Cerrado significativamente diferente dos demais ($p < 0,05$).¹²⁵ Com base nos resultados, exceto para o bioma Cerrado, no qual o uso com pastagens ou lavouras resulta em relação C/N = 15; definiu-se a relação C/N = 12 para todos os biomas, independentemente do uso do solo, e a vegetação nativa tem relação C/N = 14, tal como mostrado na Figura A.VI.4.

¹²⁵ Essa diferença pode ser devida a ocorrência das queimadas naturais, e até mesmo antrópicas, para o bioma na estação de secas, deixando um conteúdo relativamente alto de fragmentos de carvão no solo, por tanto, mostrando uma alta relação C/N.

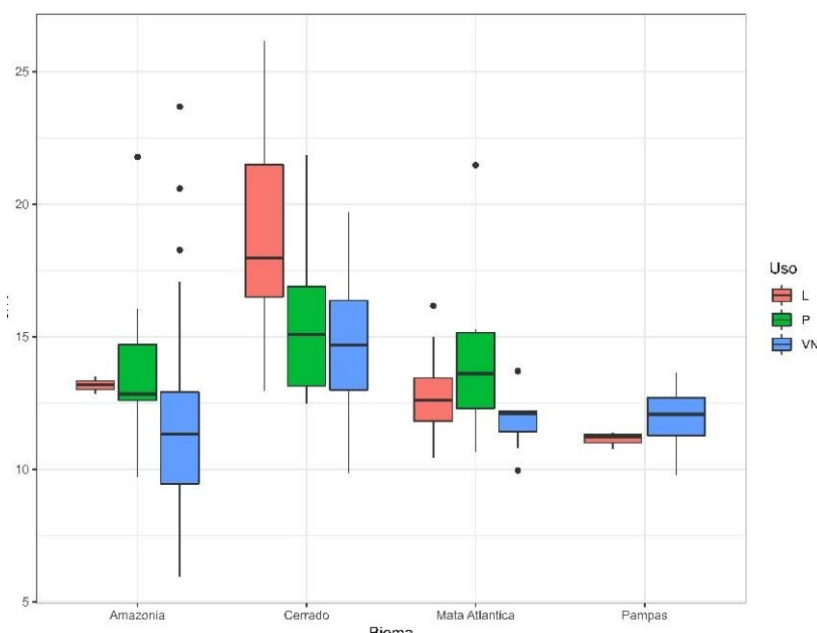


Figura A.VI.4. Box-plot com os dados de relação C/N agrupados por bioma e usos do solo.

Tabela A.VI.6. Quantidade de C acumulada (número negativo) ou perdida (número positivo) do solo (0-30 cm) para cada UF em função do uso e mudanças de uso do solo entre os anos de 1994, 2002, 2010 e 2016.

Estado (UF)	Variação nos estoques de C (t C)		
	1994-2002	2002-2010	2010-2016
Rondônia	85.801	45.416	33.833
Acre	-517.200	-104.009	-139.197
Amazonas	-244.659	-67.325	76.800
Roraima	2.069.163	2.557.451	1.001.403
Pará	-476.234	-178.452	573.094
Amapá	-2.958.809	6.044	1.930.468
Tocantins	-432.232	-330.071	-86.619
Maranhão	137.509	203.374	109.927
Piauí	224.985	-299.113	373.050
Ceará	-109.036	-15.156	26.316
Rio Grande do Norte	1.016.369	1.757.042	1.094.213
Paraíba	212.861	275.082	209.169
Pernambuco	325.409	496.033	378.829
Alagoas	-238.907	-12.952	-109.110
Sergipe	1.205.938	3.112.538	1.350.364
Bahia	-5.519.411	-1.886.615	758.457
Minas Gerais	188.936	476.358	126.916
Espírito Santo	261.823	386.634	-75.391
Rio de Janeiro	59.727	179.191	97.134
São Paulo	544.871	1.530.459	953.780
Paraná	563.896	836.190	133.444
Santa Catarina	1.181.783	1.773.286	447.033
Rio Grande do Sul	172.501	274.826	237.944
Mato Grosso do Sul	-79.217	238.675	1.346.833
Mato Grosso	78.079	-279.798	2.817.948
Goiás	163.838	836.340	147.076
Distrito Federal	3.341	29.525	10.173

Fonte: Elaborado a partir de Brasil (2020).

Emissões Indiretas de N₂O

Tabela A.VI.7. Meses que compõem as épocas de chuva de cada UF para o cálculo do balanço hídrico.

Região	UF	Meses que compõem época de chuva											
Norte	AM	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Out	Nov	Dez	-	-	-
	AP	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Dez	-	-	-	-
	RR	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	-	-	-	-	-	-
	RO	Jan	Fev	Mar	Abr	Out	Nov	Dez	-	-	-	-	-
	TO	Jan	Fev	Mar	Abr	Out	Nov	Dez	-	-	-	-	-
	AC	Jan	Fev	Mar	Abr	Out	Nov	Dez	-	-	-	-	-
	PA	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Dez	-	-	-	-	-	-
Nordeste	MA	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Dez	-	-	-	-	-	-
	CE	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	-	-	-	-	-	-	-
	PI	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	-	-	-	-	-	-	-
	BA	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Nov	Dez	-	-	-	-
	RN	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	-	-	-	-	-	-	-
	PB	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	-	-	-	-	-	-
	PE	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	-	-	-	-	-	-
	AL	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	-	-	-	-	-	-
	SE	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	-	-	-	-	-	-
Centro-Oeste	GO	Jan	Fev	Mar	Abr	Out	Nov	Dez	-	-	-	-	-
	DF	Jan	Fev	Mar	Abr	Out	Nov	Dez	-	-	-	-	-
	MT	Jan	Fev	Mar	Abr	Out	Nov	Dez	-	-	-	-	-
	MS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Out	Nov	Dez	-	-	-	-
Sudeste	RJ	Jan	Fev	Mar	Abr	Set	Out	Nov	Dez	-	-	-	-
	MG	Jan	Fev	Mar	Out	Nov	Dez	-	-	-	-	-	-
	ES	Jan	Fev	Mar	abr	Out	Nov	Dez	-	-	-	-	-
	SP	Jan	Fev	Mar	abr	Out	Nov	Dez	-	-	-	-	-
Sul	PR	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Set	Out	Nov	Dez	-	-	-
	RS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	SC	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez

Fonte: Elaborado com base nos dados do INMET (2019).

Queima de Resíduos Agrícolas

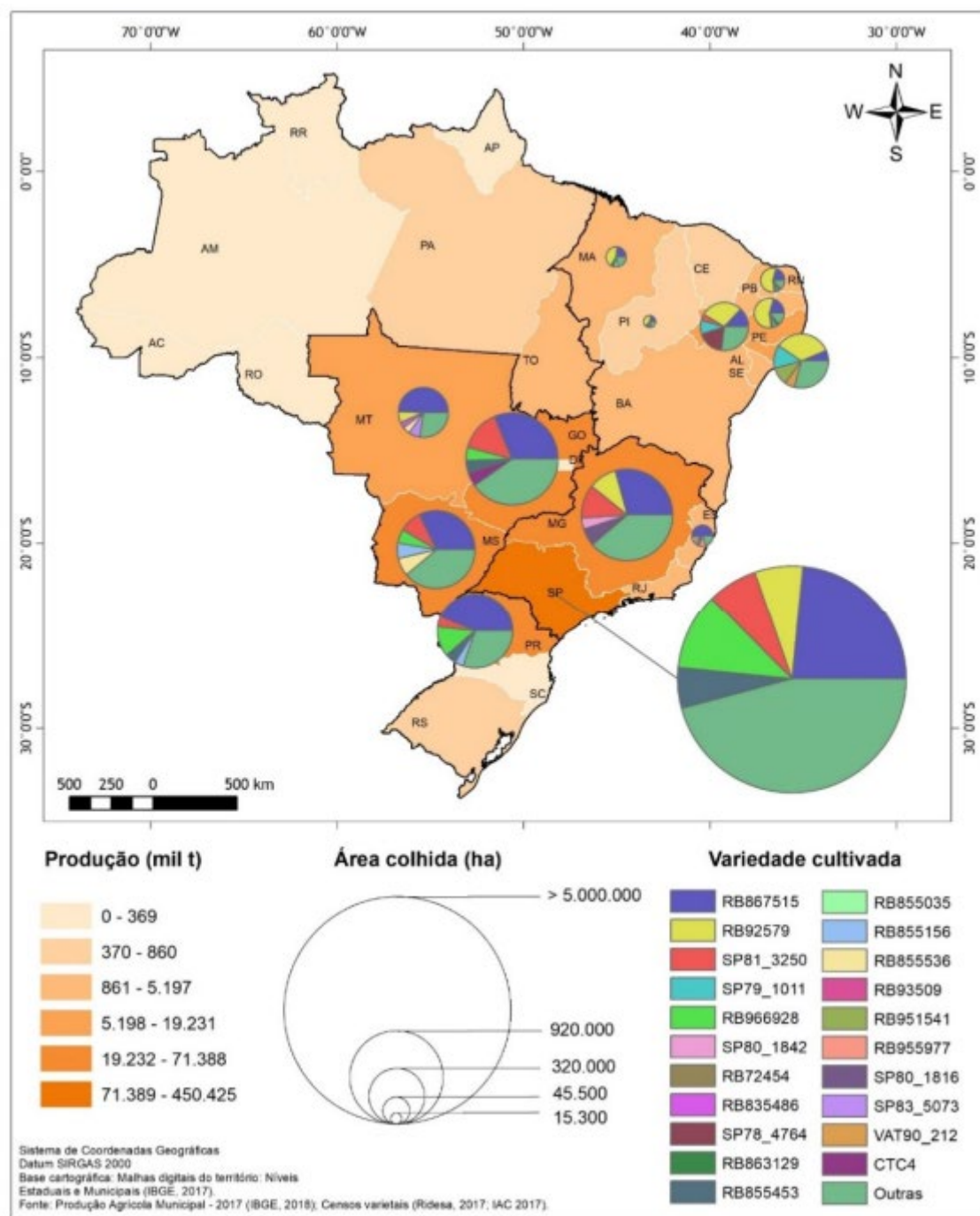


Figura A.VI.5. Proporção das variedades cultivadas nas UFs recenseadas nos censos varietais.

Fonte: Braga *et al.*, 2017; Ridesa, 2018).

Tabela A.VI.8. Percentual de colheita manual de cana-de-açúcar por UF.

UF	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
AC	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
AL	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
AM	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
AP	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
BA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
CE	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
DF	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
ES	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
GO	75,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
MA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
MG	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
MS	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
MT	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
PA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
PB	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
PE	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
PI	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
PR	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
RJ	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
RN	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
RO	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
RR	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
RS	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
SC	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
SE	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
SP	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	90,0%	82,2%	80,0%	77,7%	69,5%
TO	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Continuação. Percentual de colheita manual de cana-de-açúcar por UF

UF	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
AC	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%
AL	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	97,5%	91,8%	93,7%	86,0%	84,9%
AM	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	20,0%	38,5%	36,3%	37,0%	14,6%
AP	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
BA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,1%
CE	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	63,9%	64,4%	33,9%
DF	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ES	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	87,3%	88,3%	77,7%	80,7%	60,5%
GO	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	68,5%	51,2%	35,4%	24,2%	20,4%
MA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	89,6%	74,8%
MG	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	80,6%	62,5%	52,5%	38,5%	26,8%
MS	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	80,0%	65,7%	36,7%	19,4%	10,1%
MT	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	66,7%	53,7%	42,7%	35,7%	24,9%
PA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	63,0%	60,0%	50,0%	30,0%	30,0%
PB	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	92,4%	88,6%
PE	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,7%	99,8%	99,7%	98,6%	98,4%
PI	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
PR	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	90,0%	90,0%	89,6%	81,6%	73,1%	58,0%	51,7%
RJ	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	92,9%	89,0%	73,3%	87,4%	81,3%
RN	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	79,7%	80,2%	67,9%	54,0%	50,9%
RO	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	40,0%	30,0%	30,5%
RR	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
RS	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
SC	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
SE	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
SP	71,0%	72,0%	74,0%	72,0%	72,0%	65,5%	67,0%	52,4%	41,4%	37,3%	27,8%
TO	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	65,0%	64,0%	50,0%	0,0%	0,0%

Continuação. Percentual de colheita manual de cana-de-açúcar por UF

UF	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
AC	100,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
AL	82,4%	84,3%	82,2%	77,6%	81,9%	80,1%	80,1%	80,1%	80,1%	80,1%	80,1%
AM	4,5%	4,9%	1,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
AP	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
BA	88,6%	97,1%	96,4%	91,4%	88,8%	88,7%	88,7%	88,7%	88,7%	88,7%	88,7%
CE	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
DF	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ES	49,4%	36,6%	35,0%	29,7%	39,2%	26,2%	26,2%	26,2%	26,2%	26,2%	26,2%
GO	16,5%	12,1%	15,6%	8,2%	4,1%	4,2%	4,2%	4,2%	4,2%	4,2%	4,2%
MA	71,0%	47,1%	53,8%	52,9%	45,9%	56,5%	56,5%	56,5%	56,5%	56,5%	56,5%
MG	19,7%	20,0%	15,2%	2,0%	3,0%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
MS	12,8%	0,1%	9,2%	4,2%	0,2%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%
MT	22,1%	20,0%	12,8%	2,3%	7,5%	8,3%	8,3%	8,3%	8,3%	8,3%	8,3%
PA	18,5%	7,8%	7,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
PB	87,8%	88,0%	88,3%	79,7%	70,4%	75,9%	75,9%	75,9%	75,9%	75,9%	75,9%
PE	98,3%	98,9%	99,3%	96,0%	98,1%	96,3%	96,3%	96,3%	96,3%	96,3%	96,3%
PI	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	91,6%	90,3%	90,3%	90,3%	90,3%	90,3%	90,3%
PR	40,9%	34,7%	27,2%	25,4%	13,4%	13,9%	13,9%	13,9%	13,9%	13,9%	13,9%
RJ	66,6%	28,3%	34,5%	71,5%	72,5%	55,8%	55,8%	55,8%	55,8%	55,8%	55,8%
RN	44,5%	39,6%	40,0%	46,6%	44,8%	47,1%	47,1%	47,1%	47,1%	47,1%	47,1%
RO	30,5%	19,6%	8,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
RR	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
RS	100,0%	30,1%	9,3%	19,4%	17,5%	18,2%	18,2%	18,2%	18,2%	18,2%	18,2%
SC	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
SE	100,0%	100,0%	100,0%	84,5%	88,5%	93,8%	93,8%	93,8%	93,8%	93,8%	93,8%
SP	22,3%	18,7%	14,9%	5,5%	5,5%	4,1%	4,1%	4,1%	4,1%	4,1%	4,1%
TO	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaborado a partir de Conab (2018) e Packer *et al.* (2015).

APÊNDICE VII. DESCRIÇÕES ADICIONAIS PARA O SETOR USO DA TERRA, MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS

A.VII.1. Mapeamento do uso e cobertura da terra e geração de matrizes de uso e cobertura

O mapeamento do uso e cobertura da terra foi obtido a partir da interpretação visual de um mosaico de imagens de satélite do território nacional. Cada porção homogênea do território foi vetorizada manualmente e associada a uma das categorias/subcategorias de uso da terra definidas no Quadro 7.4 (ver Seção 7.2.1), gerando mapas de uso e cobertura da terra dos anos avaliados. A seguir são apresentados os detalhes desse procedimento.

Período de aquisição de imagens e armazenamento

Os comitês de validação específicos para cada bioma no inventário da Quarta Comunicação Nacional foram responsáveis por definir, com base na disponibilidade de imagens livres de nuvens, os períodos prioritários e auxiliares para aquisição de imagens de sensores orbitais de média resolução espacial, em especial dos satélites da série Landsat (Quadro A.VII.1).

Quadro A.VII.1. Período prioritário e auxiliar estabelecido pelos comitês de validação para aquisição de imagens de sensores orbitais de média resolução espacial.

Biomassas	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Amazônia												
Cerrado												
Mata Atlântica												
Caatinga												
Pampa												
Pantanal												

Período Prioritário

Período auxiliar

Período auxiliar (NE, litoral de SC e Vale do Ribeira)

Seleção das imagens

A seleção das imagens foi realizada prioritariamente nos repositórios da *United States Department of Agriculture* (USDA, sigla em inglês) e da *European Space Agency* (ESA, sigla em inglês) via *Google Earth Engine* (GEE, sigla em inglês). Para alguns casos, em que as imagens não estavam disponíveis para download no GEE, foi realizada uma consulta diretamente nos repositórios da USDA e ESA e no catálogo de imagens da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE.

Para o *download* das imagens foram buscadas e adquiridas de forma inteligente as imagens da série *Landsat* e do sensor MSI/Sentinel 2A e 2B, com a opção de filtros por datas e períodos, percentual de cobertura de nuvens e indicadores de qualidade da imagem. Nos casos em que não foram encontradas imagens livres de nuvens nos períodos prioritários e auxiliares e em que houve a necessidade de imagens adicionais para identificação correta de cultivos agrícolas de verão, foram selecionadas imagens dos anos de 2015 (três últimos meses) e 2017 (três primeiros meses).

Adicionalmente, para os casos críticos em que também não foram encontradas imagens livres de nuvens em 2015 e 2017, foram elaborados mosaicos multitemporais compostos por *pixels* livres de nuvens extraídos de imagens dos períodos prioritários, auxiliares e dos meses supracitados de 2015 e 2017 (Figura A.VII.1).

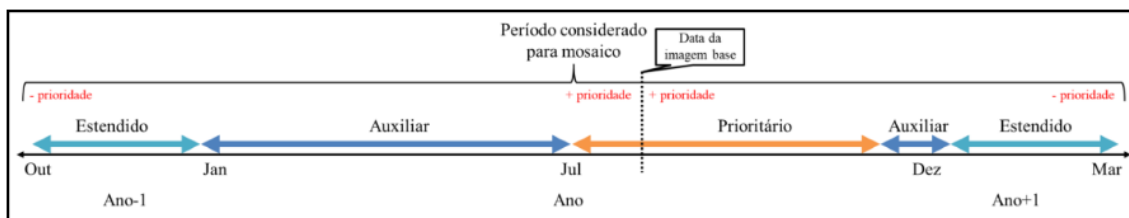


Figura A.VII.1. Esquema teórico para composição de mosaicos livres de nuvens a partir de seleção de pixels puros.

A elaboração dos mosaicos foi conduzida no GEEng e constituiu-se na seleção da imagem com baixa incidência de nuvem (definida como “imagem-base”), considerando os períodos prioritários e auxiliares indicados por cada comitê de validação. Em seguida, a seleção de *pixels* livres de nuvem considerou também o período estendido, adotando as imagens das datas mais próximas da “imagem-base” como prioritárias. A Figura A.VII.2 ilustra o resultado do processo de construção do mosaico da órbita/ponto (OP) (à direita) em comparação a uma única imagem (à esquerda).

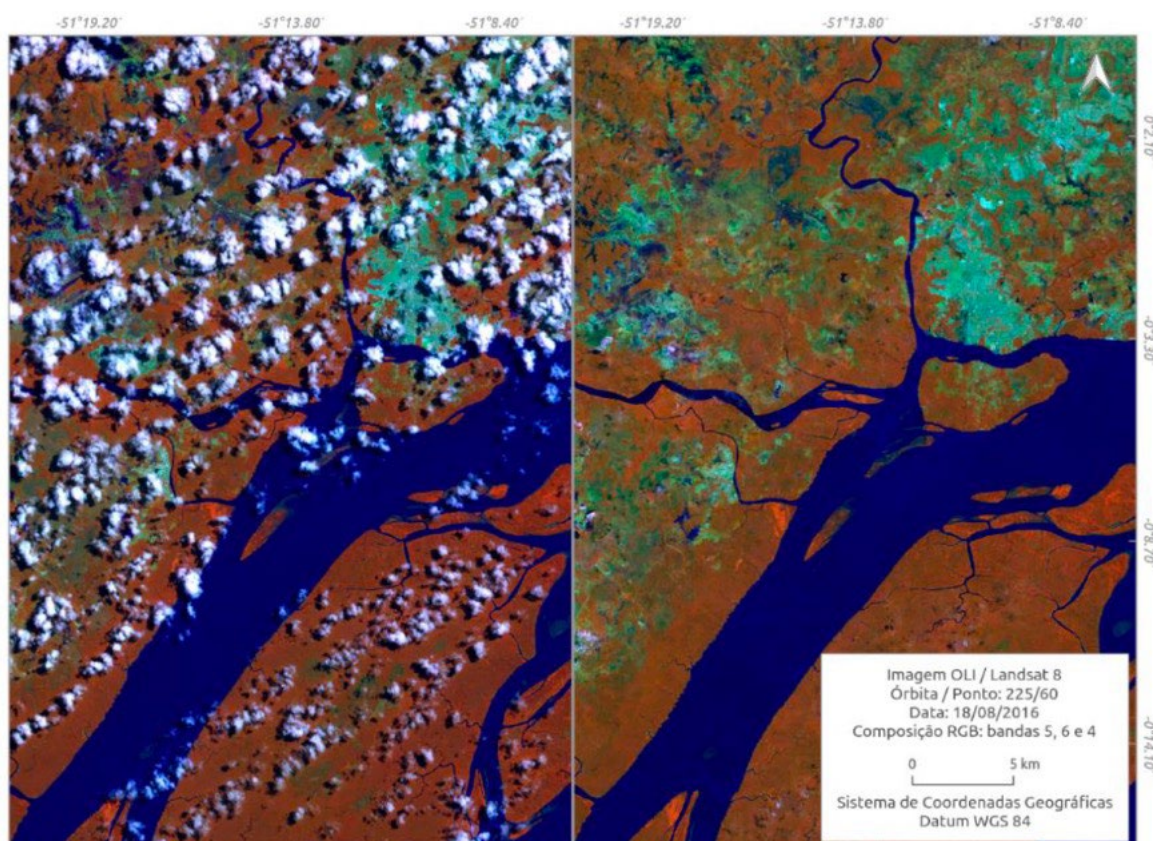


Figura A.VII.2. Imagem OLI/Landsat (R5G6B4) adquirida em 18 de agosto de 2016 (esquerda) em comparação com a construção de mosaico multitemporal da OP 225/60 (direita).

Para o bioma Mata Atlântica, foram selecionadas imagens dos períodos prioritários e auxiliares dos anos de 1994, 2002, 2010 e 2016, seguindo as mesmas regras e períodos citados anteriormente. Em razão da ausência de imagens livres de nuvens também foi necessário elaborar mosaicos multitemporais, principalmente para os anos de 2002 e 1994, nos quais havia menos sensores em órbita.

Processamento de imagens

Para auxiliar na identificação dos alvos, os intérpretes utilizaram dados secundários, tais como imagens de alta resolução espacial do Google Earth, séries temporais de imagens do sensor MODIS disponibilizadas na plataforma SATVeg¹²⁶ e dados provenientes de outros programas de monitoramento, tais como o Prodes,¹²⁷ TerraClass¹²⁸ e MapBiomias,¹²⁹ entre outros. Ressalta-se que os produtos secundários serviram somente como consulta e não foram incorporados ao mapeamento, com exceção dos dados disponíveis na Agrosatélite,¹³⁰ que foram incorporados quando adequados aos critérios de qualidade do inventário da Quarta Comunicação Nacional (por exemplo os mapas de cultivo de cana-de-açúcar do Canasat¹³¹).

Mapeamento de uso e cobertura da terra em 2016

O mapeamento do uso e cobertura da terra do ano de 2016 teve como base de referência o mapa de uso e cobertura da terra de 2010. O mapa de 2016 foi elaborado a partir da interpretação das imagens de sensores orbitais adquiridas conforme descrito em item anterior. Para a Mata Atlântica, foi identificado que a acurácia dos mapeamentos anteriores era baixa e foi necessário o processamento de toda a série de mapas, isto é, 1994, 2002, 2010 e 2016, com base em metodologia alternativa detalhada a seguir.

As classes do mapa de 2016 foram: a) Área Agrícola (Ac); b) Perene (PER); c) Cana (CANA); d) Pastagem (Ap); e) Reflorestamento (Ref); f) Floresta Manejada (FM); g) Floresta não Manejada (FNM); h) Floresta Secundária (FSec); i) Campo Manejado (GM); j) Campo não Manejado (GNM); k) Campo Secundário (GSec); l) Outras Formações Lenhosas Manejadas (OFLM); m) Outras Formações Lenhosas não Manejadas (OFLNM); n) Outras Formações Lenhosas Secundárias (OFLSec); o) Assentamentos (S); p) Rios e Lagos (A); q) Reservatórios (RES); r) Dunas Manejadas (DnM); s) Dunas não Manejadas (DnNM); t) Afloramento Rochoso Manejado (ArM); u) Afloramento Rochoso Não Manejado (ArnM); v) Mineração (Min); w) Solo Exposto (SE); x) Não Observado (NO). Adicionalmente, para os biomas Amazônia e Cerrado, foi considerada a classe Pastagem Degradada (APD). Especificamente para o bioma Amazônia também foi considerada a classe Corte Seletivo (CS). Em relação aos inventários anteriores, as classes CANA, PER, DnM, DnNM, ArM e ArnM e APD foram quantificadas pela primeira vez.

Toda a edição de dados e auditoria foi realizada em ambiente de banco de dados geográfico/relacional PostgreSQL/PostGIS, integrado ao Sistema de Informação Geográfica QGIS, utilizado como interface digital para manipulação, vetorização e mapeamento. As etapas contidas no processo de mapeamento são apresentadas na Figura A.VII.3. Diversas bases auxiliares foram utilizadas na etapa de mapeamento como consulta pelos intérpretes: TerraClass 2013 (INPE/FIP/UFG); *Global Forest Watch* 2013 (GFW); Extração Mineral 2017 (IBGE); DETER 2018 (INPE/FIP/UFG); Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) 2010 e 2016 (IBGE); Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) 2010 e 2016 (IBGE); Terras indígenas 2016 (FUNAI, 2018);

¹²⁶ Disponível em: www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html.

¹²⁷ Disponível em: www.obt.inpe.br/.

¹²⁸ Disponível em: www.terraclass.gov.br/

¹²⁹ Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>.

¹³⁰ Ressalta-se que a Agrosatélite foi a empresa contratada pelo MCTI para realização dos mapeamentos.

¹³¹ Disponível em: <https://agrosatelite.com.br/cases/#canasat>

Unidades de Conservação 2016 (ICMBio, 2018); Áreas urbanizadas 2015 (IBGE); e Assentamentos 2016 (INCRA).

A área mínima de mapeamento foi de 6,25 ha. Para garantir a qualidade do produto final a uma escala de 1:250.000, o intérprete identificou e classificou os polígonos a uma escala aproximada de 1:125:000.

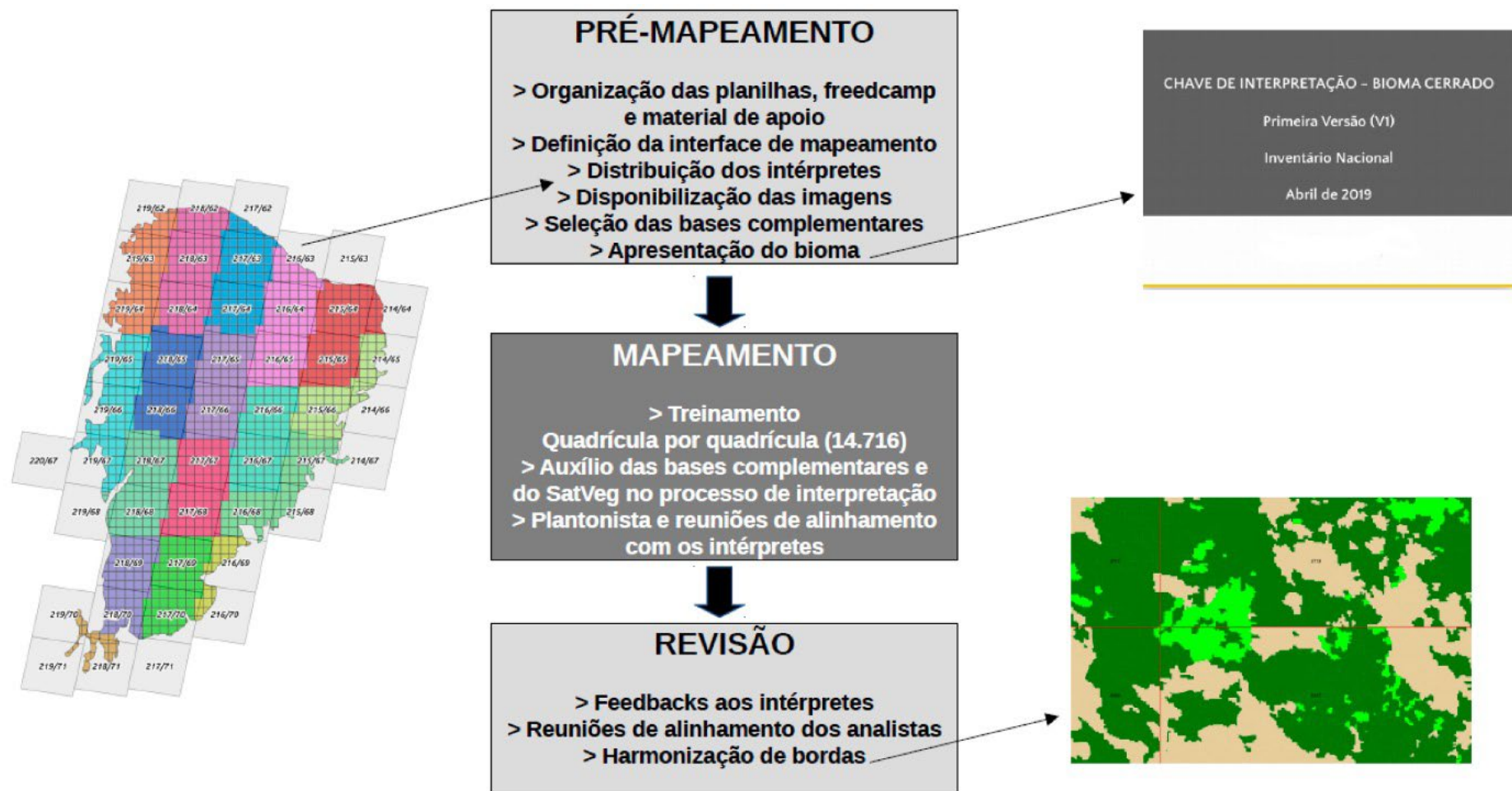


Figura A.VII.3. Esquema ilustrativo mostrando todas as etapas, desde o pré-processamento e mapeamento até a revisão, do mapeamento de uso e cobertura da terra do ano de 2016.

Classes temáticas

Classes indiretas

As classes FM, FNM, GM, GNM, OFLM, OFLNM, DnM, DnNM, ArM e ArnM foram criadas a partir de dois processos de intersecção. Inicialmente o intérprete identificou nas imagens de sensores orbitais áreas de vegetação nativa, independentemente do seu porte, afloramentos rochosos, dunas e água e classificou como Vegetação Nativa (VNAT). O mapa temático resultante foi intersectado com o mapa de vegetação natural pretérita e então a classe VNAT foi convertida temporariamente para F, G, OFL, D e Ar, de acordo com a classe temática contida no mapa de vegetação natural pretérita. Em seguida, houve uma nova intersecção entre o mapa de uso e cobertura da terra resultante da etapa anterior e o mapa de áreas protegidas, isto é, Unidades de Conservação (UC) e Terras Indígenas (TI), para classificá-las como Manejadas (dentro de UC e TI) e Não Manejadas (fora de TI e UC) e atribuição das classes temáticas FM, FNM, GM, GNM, OFLM, OFLNM, DnM, DnNM, ArM e ArnM.

O mapeamento da classe de Floresta Secundária (FSec), Campo Secundário (Gsec) e Outras Formações Lenhosas Secundárias (OFLSec) foi realizado por meio de interpretação visual de imagens de 2016, tendo como base as áreas pertencentes às classes de uso antrópico no mapa de 2010 para os biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Pampa e Pantanal e no mapa de 1994 para o bioma Mata Atlântica. As conversões improváveis não foram permitidas. Para a correta discriminação entre áreas de Fsec, Gsec e OFLSec, usou-se o mapa de vegetação natural pretérita.

Classes resultantes de interpretação de imagens

O mapeamento da classe Reflorestamento (Ref) incluiu os grandes maciços florestais dos principais cultivos de reflorestamento, a exemplo de eucalipto, pínus, seringueira e teca. O eucalipto e o pínus são dominantes na classe Ref e têm menor complexidade para sua identificação e mapeamento (com exceção de algumas áreas inseridas em meio à mata nativa em áreas de encostas). As áreas de seringueira apresentam variação na resposta espectral, ao longo do ano, em razão da perda das folhas na época seca, dessa forma o mapeamento baseou-se em imagens de ambos os períodos (i.e., com e sem folhas). A classe Ref do mapa de 2010 foi utilizada como ponto de partida para o processo de identificação das áreas de 2016. Adicionalmente, foram realizadas consultas às bases públicas de mapeamento de florestas plantadas (<http://data.globalforestwatch.org/>), bases da Agrosatélite e informações secundárias do IBA.¹³²

O mapeamento da classe Pastagem (Ap) levou em conta a elevada complexidade inerente das pastagens brasileiras em razão de aspectos regionais e de manejo, tais como diversidade de técnicas de manejo, variação das condições edafoclimáticas e variedade de espécies. Quanto à classe de Pastagem Degradada (APD) dos biomas Amazônia e Cerrado, foram utilizados dados auxiliares do catálogo *Google Earth* para auxiliar no mapeamento e na eventual identificação de áreas com degradação biológica mais avançada. Como ponto de partida para o mapeamento da classe Ap, foi considerado o mapeamento das pastagens de 2010, auxiliado por outros mapeamentos de referência, como o TerraClass da Amazônia de 2014, o TerraClass do Cerrado de 2013, os mapeamentos do LAPIG/UFG, MapBiomias, mapeamentos proprietários da Agrosatélite, entre outros.

O mapeamento da classe Área Agrícola (Ac) consistiu na discriminação das seguintes subclasses: culturas anuais de larga escala (isto é, soja, milho 1ª safra e algodão 1ª safra); 2) culturas perenes (café, cítrus, cacau); e 3) cultura semiperene (cana-de-açúcar). O mapeamento foi realizado por meio da interpretação visual de imagens dos períodos da safra e entressafra, levando em conta os aspectos devidamente explorados nas diversas características das culturas agrícolas, apoiado por: a) processamento digital de imagens com segmentação e classificação orientada a objeto

¹³² Disponível em: <https://iba.org/>.

(GEOBIA), especificamente para Mata Atlântica; b) análise multitemporal de séries de imagens MODIS; e c) de mapeamentos anteriores da Agrosatélite (isto é, Canasat e culturas anuais no Cerrado e na Amazônia).

O mapeamento da classe Assentamentos (S) foi realizado por meio de interpretação visual de imagens de 2016, com foco no mapeamento da expansão da área urbana, assumindo como ponto de partida o mapeamento de 2010. Outros mapas de referência como aqueles disponibilizados pelo mapeamento contínuo (1:250.000) do IBGE foram utilizados como dados auxiliares no mapeamento da classe S.

O mapeamento da classe Rios e Lagos (A) foi por meio de interpretação visual das imagens do ano de 2016 adquiridas em diferentes estações do ano, a fim de identificar a expansão e/ou retração dos rios e lagos, tomando por base o mapeamento de 2010. O trabalho de interpretação levou em conta a sazonalidade desse tipo de alvo a fim de evitar conversões incoerentes, que foram identificadas e devidamente ajustadas pelos intérpretes.

O mapeamento da classe Reservatórios (Res) foi realizado por meio de interpretação visual das imagens de 2016, a fim de identificar a expansão e/ou retração dos reservatórios, tomando por base o mapeamento de 2010. Dados adicionais obtidos junto às bases públicas dos governos federal e estadual também foram utilizados para identificar as localidades de usinas hidrelétricas e barragens instaladas no período de 2010 a 2016.

O mapeamento das classes de mineração, dunas, afloramentos rochosos e solo exposto foi realizado por meio de interpretação visual de imagens de 2016, tomando por base o mapeamento de 2010, levando-se em consideração as características de cada um desses alvos.

O mapeamento da classe Não Observado (NO) inclui apenas as áreas não observadas em razão da ocorrência persistente de nuvens e/ou sombras de nuvens ou de relevo nas imagens de 2016 (considerando o período estendido). A fim de minimizar a ocorrência dessa classe, foram utilizadas diversas imagens, dos diferentes conjuntos satélites/sensores disponíveis para o ano de 2016. Essa prática aumentou substancialmente as chances de obtenção de mosaicos livres de nuvens, permitindo a geração de informações válidas de uso da terra para praticamente todo o território brasileiro.

O mapeamento da classe Corte Seletivo (CS) foi realizado com base na metodologia proposta pelo Imazon (Souza Jr., 2005), extraíndo as frações solo, vegetação fotossinteticamente ativa e sombra a partir do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) implementado no GEEng. Em seguida, foi aplicada uma razão de bandas entre a fração solo e a fração vegetação, de modo a ressaltar as diferenças entre a floresta com e sem corte seletivo. A primeira etapa desta classificação foi avaliar se as áreas identificadas como CS no mapa de 2010 continuavam sob este manejo. Em seguida, as áreas FNM e FM foram avaliadas para identificação de novas áreas de CS por meio dos produtos derivados do MLME. Ao longo desta etapa, foram utilizadas informações auxiliares, em particular do Serviço Florestal Brasileiro, por exemplo limites das áreas de concessão de manejo florestal federal.

Particularidades do processo de interpretação por bioma

Amazônia

Na etapa de processamento prévio ao mapeamento do bioma Amazônia e Cerrado, os polígonos do Prodes acumulados para o período de 2011 a 2016, sempre que se sobrepunham à classe VNAT, foram incorporados ao mapeamento. Posteriormente, com base na interpretação das imagens, se correspondiam ou não às áreas de corte raso, foi atribuída aos polígonos uma das classes temáticas previstas no inventário. Além disso, com o intuito de aumentar a acurácia das classes referentes aos cultivos agrícolas (Ac e PER), foram incorporados ao mapa-base o mapa de cultivo de grãos

da Agrosatélite – Safras 2010/11 e 2016/17 (Rudorff *et al.*, 2015) e o mapa de culturas perenes da Embrapa Amazônia Oriental.

As emissões oriundas de degradação florestal não foram quantificadas no contexto do inventário da Quarta Comunicação Nacional (exceto para corte seletivo), por exemplo queimadas em ambiente florestal ou não florestal. Em áreas onde não foram identificadas cicatrizes de fogo, mas em que houve, de fato, mudança de uso e cobertura da terra, os polígonos foram mantidos como vegetação nativa.

Cerrado

O bioma Cerrado é caracterizado pela presença de incêndios naturais, e essa dinâmica natural foi levada em consideração para evitar a conversão equivocada de áreas naturais para outros usos antrópicos. Os dados do Prodes Cerrado¹³³ foram utilizados como apoio.

Assim como na Amazônia, os polígonos de desmatamento do Prodes acumulados entre 2011 e 2017 que sobrepujam à classe VNAT foram incorporados ao mapa sem classe atribuída, obrigando os intérpretes a verificarem todos os polígonos, para atribuição das classes do inventário.

Outra peculiaridade do mapeamento do bioma Cerrado foi a incorporação de bases proprietárias da Agrosatélite, tais como o mapa de cultivo de cana-de-açúcar – Safra 2018 – Projeto Canasat (Rudorff *et al.*, 2010), e o mapa de cultivo de grãos – Projeto Safra 2016/17 (Rudorff *et al.*, 2015). Ao todo foram incorporados 24.282.550 ha, equivalentes a 11,9% da área do bioma Cerrado, sendo 9,2% referentes à classe Ac, proveniente do mapa do cultivo de grãos; e 2,7% referentes à classe CANA, proveniente do mapa de cultivo de cana-de-açúcar.

Assim como no Pampa e no Pantanal, no Cerrado há pastagens nativas sob pastejo e preservadas. Dessa forma, a presença de piquetes, estruturas de apoio à pecuária e caminhos de pisoteio do boi, entre outros, foram considerados elementos-chave para a identificação das pastagens nativas sob pastejo. Adicionalmente, a classe Pastagem degradada (APD) também foi mapeada. Boa parte das áreas de pastagens degradadas estava classificada como vegetação natural nos inventários anteriores, pois tratava-se de áreas com uso e ocupação antigos e aparentemente já abandonadas na primeira versão do Inventário Nacional (ano-base 1994).

Uma análise prévia da evolução das classes Ac e Ap de 1994 a 2010 evidenciou que havia uma superestimativa da área de Ac em 1994, 2002 e 2010, em detrimento da classe Ap. Isso ocorria, principalmente, em razão da identificação de imagens adquiridas no período seco (abril-agosto) de áreas de solo exposto ou com vegetação seca, como áreas agrícolas. Para solucionar esse problema, foram utilizados os dados da classe de pastagem do MapBiomas,¹³⁴ nos quais foi realizada uma análise de intersecção dos mapas, realizada pelo comitê de validação externo.

Caatinga

A dinâmica sazonal da vegetação da Caatinga em resposta aos baixos índices de precipitação é um complicador para a interpretação de imagens de sensores orbitais, bem como a variação nas características edafoclimáticas (Pacheco *et al.*, 2006; Bezerra *et al.*, 2014). Além disso, as secas extremas que ocorreram entre 2012 e 2017 (Martins *et al.*, 2017) promoveram alterações nos padrões de resposta das imagens, quando comparadas entre 2010 e 2016, pois em diversos casos o mesmo alvo apresentou padrões de resposta espectral distintos.

Ainda neste contexto, para a classe Reservatório, houve redução do nível dos grandes reservatórios, cedendo espaço para áreas agrícolas e/ou de pastagem (Figura A.VII.4). A

¹³³ Disponível em: <https://terrabrasil.dpi.inpe.br/app/map/deforestation>.

¹³⁴ Disponível em: <https://mapbiomas.org>.

conversão de Res para Ac e Ap é improvável, contudo, foi mantida para atender à realidade do bioma.



Figura A.VII.4. Imagem de alta resolução espacial disponível no Google Earth de reservatório no município de Hidrolândia (CE) em 2010 (esquerda) e em 2016 (direita). As áreas em destaque, submersas em 2010, estavam sob cultivo e pastejo em 2016.

Nas áreas agrícolas fora dos perímetros de irrigação onde foram evidenciados indícios de manejo agrícola (isto é, solo arado), mas as culturas agrícolas não prosperaram, em razão da ausência de chuvas, optou-se por classificá-las como pastagens. Essa escolha foi embasada nas características do manejo agrícola da região, que intercala a criação de ovinos e caprinos como uma opção de geração de renda nos períodos prolongados de estiagem.

Pampa

O bioma Pampa, apesar de ser um dos menores biomas brasileiros, tem grande diversidade de uso e cobertura da terra. A porção leste do bioma é caracterizada pela presença de agricultura familiar, com pequenas propriedades e produção agropecuária diversificada. Muitas dessas áreas já estavam classificadas como pastagem pelos inventários anteriores e foram convertidas para a classe agricultura, que melhor representa a região.

A classe pastagem (Ap) é reconhecidamente uma das mais difíceis de se mapear no bioma Pampa, utilizando imagens de média resolução espacial. Isso ocorre em decorrência da difícil distinção entre pastagens plantadas e naturais e com ou sem pastejo. Os mapeamentos pretéritos classificaram as pastagens naturais essencialmente como Ap, independentemente do uso (com ou sem pastejo). Para evitar uma grande conversão temática entre 2010 e 2016, optou-se por manter uma abordagem conservadora sem atestar conversões inexistentes. Como o Pampa possui paisagens naturais de campo sob pastejo, a conversão de vegetação natural para pastagem só foi atestada quando a comparação das imagens de 2010 e 2016 indicava um manejo nítido da área, sendo necessário considerar, além da resposta espectral, outros elementos de interpretação visual, como o contexto, forma, textura, tamanho dos polígonos identificados e presença permanente de infraestrutura de produção, como açudes e tanques de água para o gado, estradas, marcas de pisoteio em trilhas traçadas pelo rebanho, piquetes e bebedouros.

O pousio em áreas agrícolas e a integração agricultura-pecuária nas áreas de produção de arroz é uma característica de uso da terra do bioma Pampa. Neste sentido, foram utilizadas séries temporais de cobertura vegetal (*Enhanced Vegetation Index* – EVI) que permitiram analisar o histórico das áreas para sua correta classificação: quando ainda em atividade, os cultivos foram classificados como agricultura.

Em razão da extensa produção pecuária e de arroz, há nesse bioma grande quantidade de pequenos reservatórios, que servem como bebedouros para o gado ou para a irrigação por inundação das áreas de arroz. Esses pequenos reservatórios estavam mapeados como Ap e Água (A) no mapa-base, portanto foram mapeados como Res, sendo necessária uma verificação de toda a série de

mapas pretéritos para evitar a inclusão de falsas conversões ao mapa final do bioma (Figura A.VII.5).

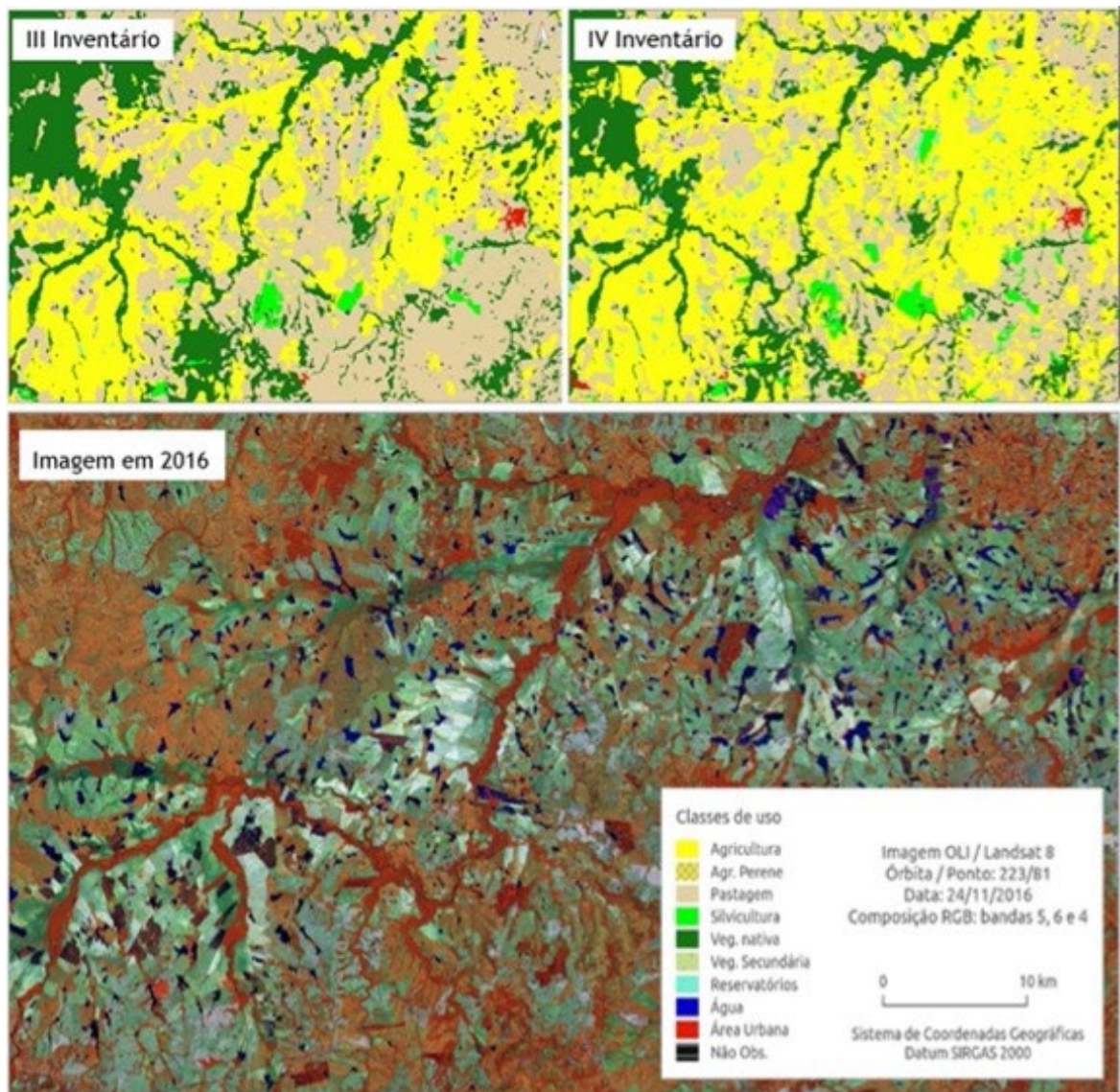


Figura A.VII.5. Mapa de 2016 pré-correção de reservatórios (acima), pós-correção (meio) e sobre imagem OLI/Landsat (embaixo).

Pantanal

No Pantanal, assim como no Pampa, é difícil realizar a distinção entre pastagens nativas e plantadas, com e sem pastejo, a partir da interpretação de imagens de sensores orbitais de média resolução espacial. Além dos aspectos adicionais já citados, que auxiliam na distinção dessas classes, a inundação sazonal de muitas das áreas de pastagens permitiu atribuir para essas áreas a classe VNAT.

Mata Atlântica

Mediante a avaliação realizada pelo especialista do bioma, parte do comitê externo de validação dos mapeamentos, de que a acurácia dos mapas pretéritos da Mata Atlântica não estava nos padrões desejáveis, foi verificada a necessidade de melhoria dos mapas de 1994, 2002 e 2010. Nova metodologia de mapeamento para o bioma foi proposta, compreendendo todos os quatro períodos (1994, 2002, 2010 e 2016). Em linhas gerais, essa metodologia adotada compreende uma etapa de segmentação orientada a objetos de imagem OLI/*Landsat* adquirida em 2016, uma classificação semiautomática e, por fim, uma interpretação visual da imagem utilizada na segmentação e imagens adicionais para ajustes temáticos. A seguir é detalhado como foi realizado o novo mapeamento para a Mata Atlântica.

Mapeamento de 1994, 2002, 2010 e 2016 para Mata Atlântica

O mapa de 2016 foi elaborado utilizando um modelo híbrido de mapeamento com base em duas etapas. A primeira é uma etapa computacional constituída pela segmentação e classificação de imagens orbitais do satélite OLI/*Landsat*-8, obtidas para o ano de 2016. A segunda etapa consiste na interpretação visual de imagens e vetorização em tela, realizada por intérpretes sobre a imagem utilizada para segmentação, e outras imagens adquiridas nos períodos prioritários e auxiliares.

Para a etapa de segmentação e classificação automática, além dos parâmetros básicos de segmentação de imagens (tamanho, forma e semelhança), foram utilizados dados complementares produzidos por instituições com notório conhecimento em seus respectivos temas de estudo (tais como *Landsat* 8, MapBiomas, FDBS, GFW, IBGE, ANA e Agrosatélite).

O processo de segmentação foi realizado com auxílio do software ENVI EX Vs. 5.1, sendo os dados de saída gerados no formato vetorial. O processo de classificação foi realizado por meio da modelagem de classes com a aplicação de funções baseadas em regras de hierarquização, considerando a informação espectral da imagem e o percentual de cobertura de feições contidas nos mapas temáticos.

Após a etapa de edição dos mapas, foi realizada uma intersecção com o mapa de vegetação natural pretérita com o intuito de converter a classe VNAT e VSec para as classes Floresta (F), Gramínea (G) ou Outras Formações Florestais (OFL), e a classe Outros para as classes Dunas (Dn) ou Afloramento Rochoso (Ar). Posteriormente, foi realizada uma nova intersecção com o mapa de áreas protegidas, com o objetivo de atribuir às classes Floresta, Campo e Outras Formações Lenhosas os sufixos M (para áreas manejadas) e nM (para áreas não manejadas).

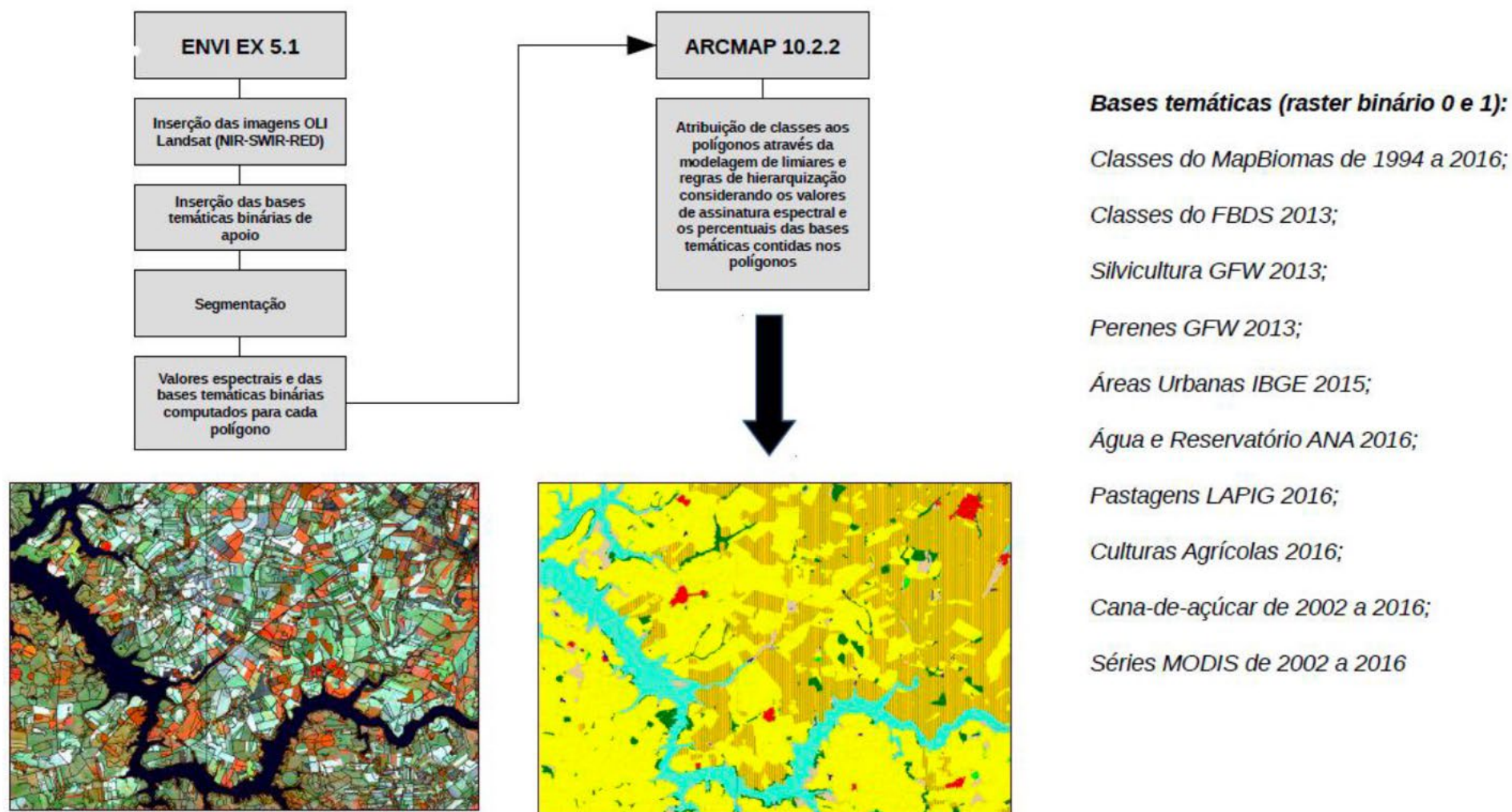


Figura A.VII.6. Esquema ilustrativo de etapas de segmentação e classificação automática do bioma Mata Atlântica.

Mapas de uso e cobertura gerados de todos os biomas brasileiros

A seguir são apresentados os mosaicos construídos a partir das imagens selecionadas e processadas que resultaram nos mapas de uso e cobertura da terra para o Brasil e para todos os biomas para os anos de 1994, 2002, 2005 (apenas para Amazônia), 2010 e 2016.

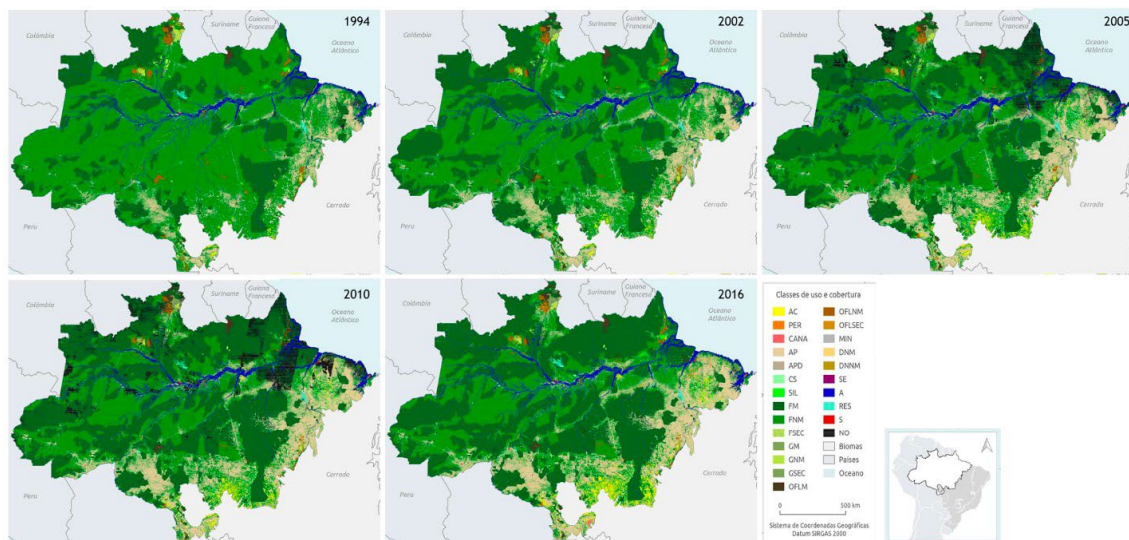


Figura A.VII.7. Mapas de uso e cobertura da terra do bioma Amazônia para os anos de 1994, 2002, 2005, 2010 e 2016. Em 2016, as classes PER, CANA, APD, DnM e DnNM foram mapeadas pela primeira vez.

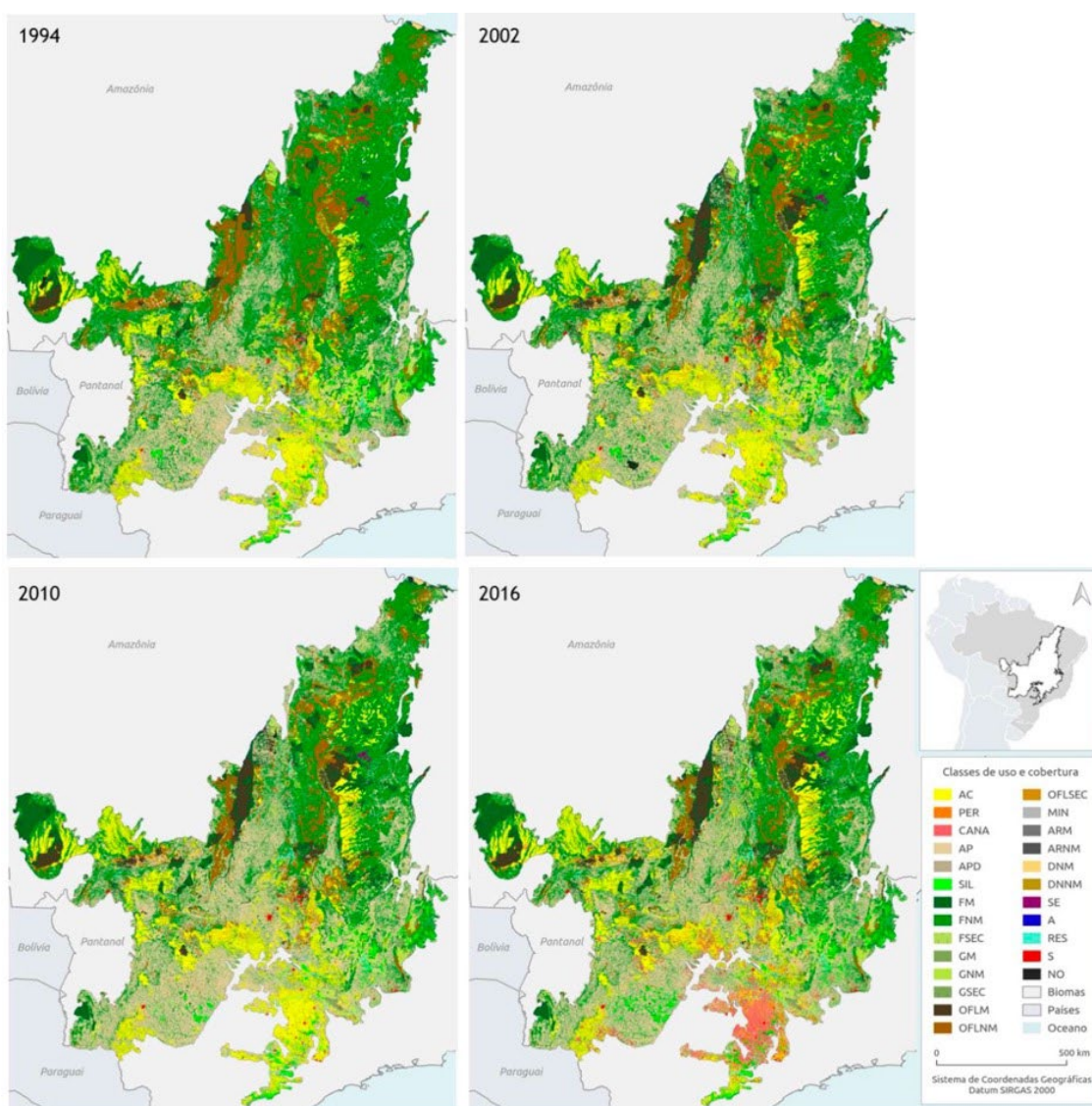


Figura A.VII.8. Mapas de uso e cobertura da terra do bioma Cerrado para os anos de 1994, 2002, 2010 e 2016. Em 2016, as classes PER, CANA, APD, ArM, ArNM, DnM e DnNM foram mapeadas pela primeira vez.

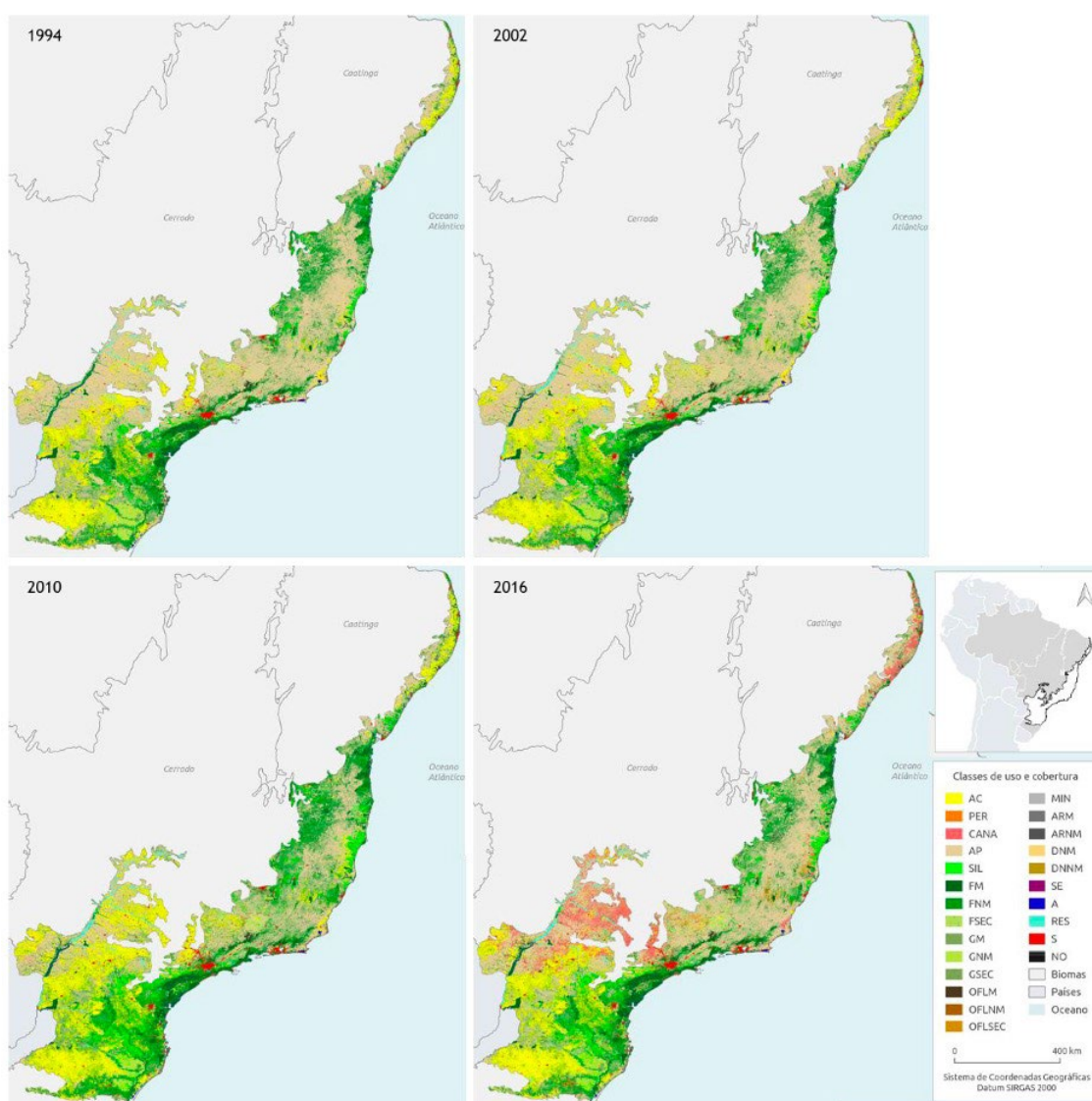


Figura A.VII.9. Mapas de uso e cobertura da terra do bioma Mata Atlântica para os anos de 1994, 2002, 2010 e 2016. Em 2016, as classes PER, CANA, ArM, ArNM, DnM e DnNM foram mapeadas pela primeira vez.

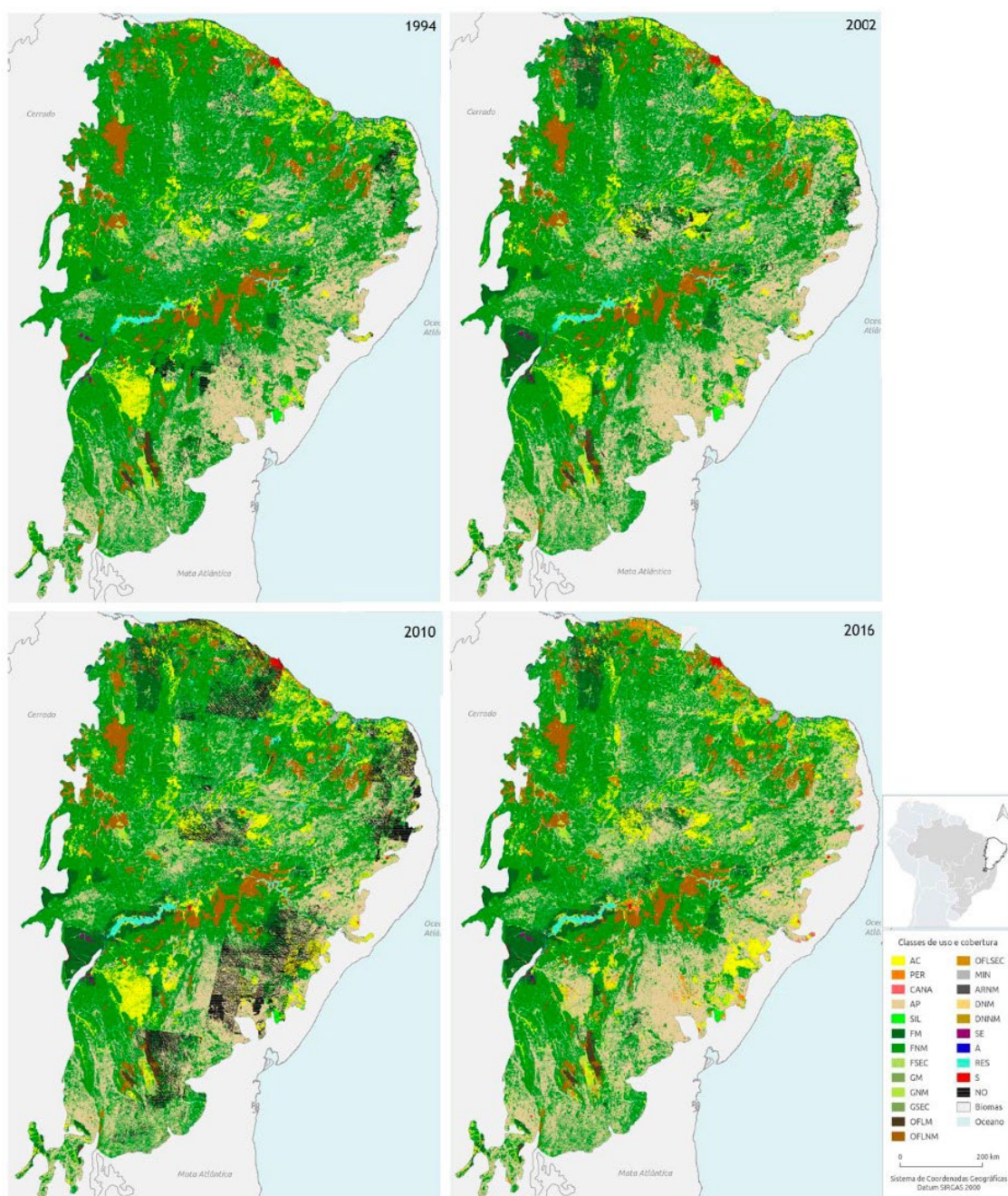


Figura A.VII.10. Mapas de uso e cobertura da terra do bioma Caatinga para os anos de 1994, 2002, 2010 e 2016. Em 2016, as classes PER, CANA, ArNM, DnM e DnNM foram mapeadas pela primeira vez.

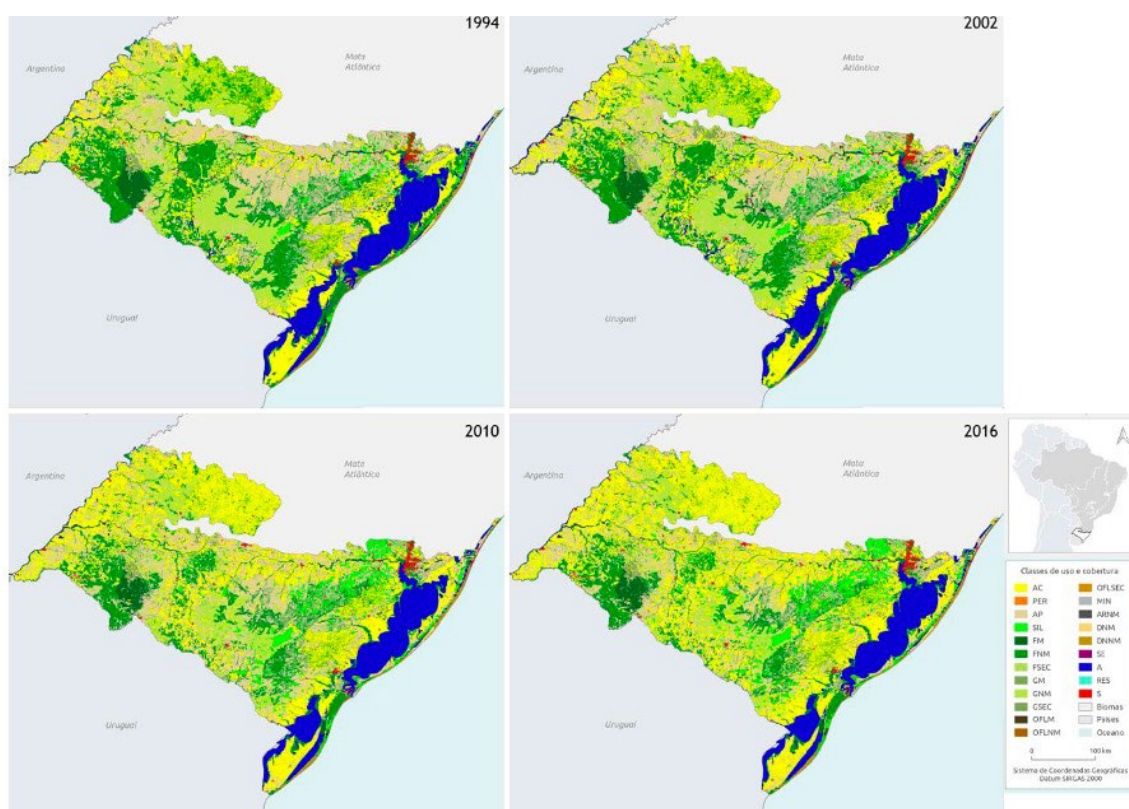


Figura A.VII.11. Mapas de uso e cobertura da terra do bioma Pampa para os anos de 1994, 2002, 2010 e 2016. Em 2016, as classes PER, ArNM, DnM e DnNM foram mapeadas pela primeira vez.

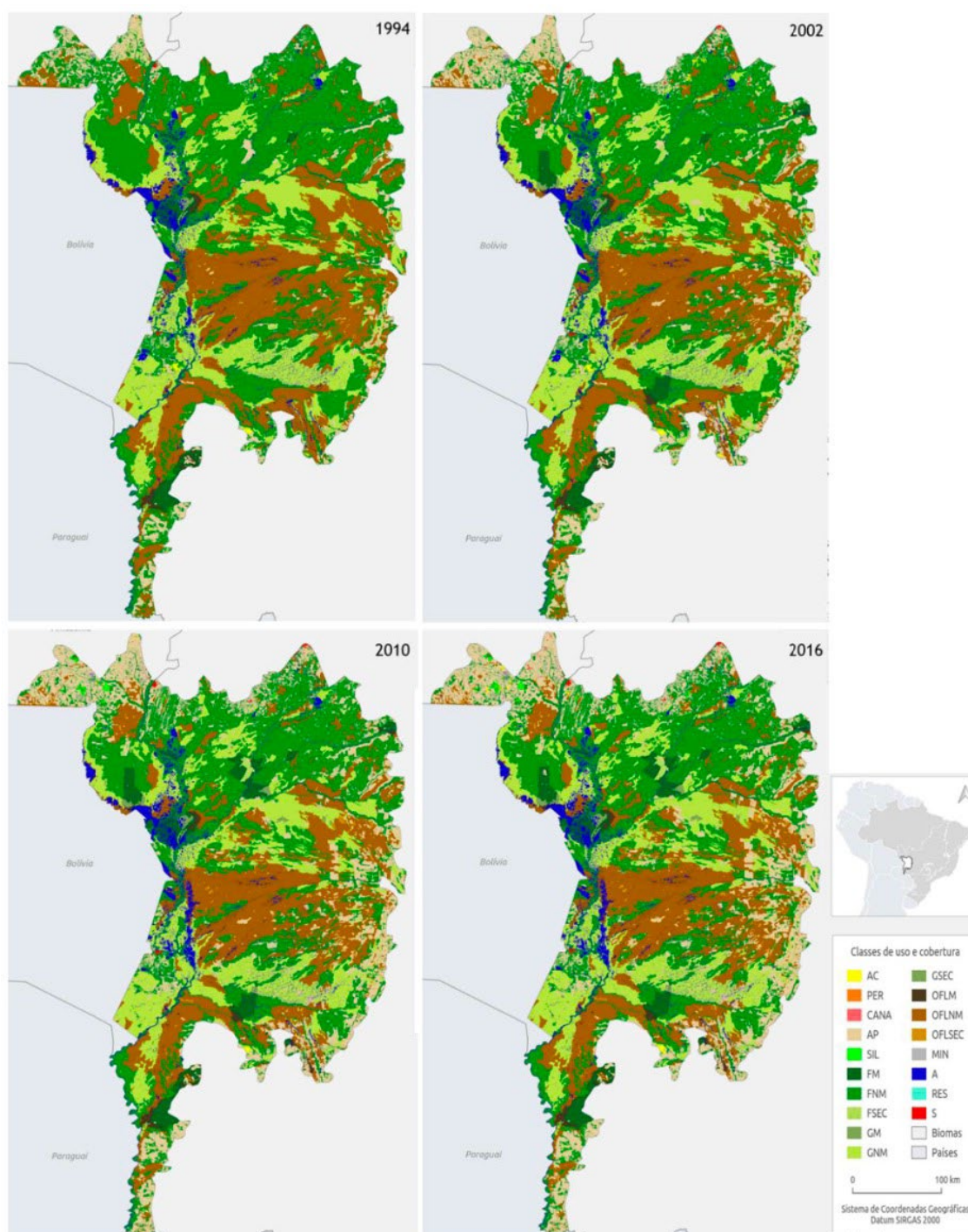


Figura A.VII.12. Mapas de uso e cobertura da terra do bioma Pantanal para os anos de 1994, 2002, 2010 e 2016. Em 2016, as classes PER e CANA foram mapeadas pela primeira vez.

Espacialização dos dados

Os estoques de carbono da vegetação, tanto natural quanto de uso antrópico, foram separados por bioma. Para as classes de vegetação natural, os dados foram espacializados no formato vetorial e intersectados com os mapas de cobertura e uso da terra, atribuindo os estoques apenas às classes de vegetação natural. Para as classes de uso antrópico, tais como pastagens, agricultura anual, perene e semiperene, os dados foram utilizados no formato tabular e associados a cada polígono na tabela de atributos de forma automática por meio do banco de dados relacional PostGIS. Para a operacionalização dos cálculos, os valores dos estoques de carbono das classes de uso antrópico foram associados diretamente nas linhas de comando nos *Scripts*.

A associação entre o carbono orgânico dos solos e classes de uso e cobertura da terra foi feita por meio da intersecção entre o mapa de carbono orgânico dos solos e o mapa de uso e cobertura da terra produzido no inventário da Quarta Comunicação Nacional. Cabe destacar que o mapa de estoque de carbono dos solos utilizado na presente edição é o mesmo adotado nos inventários da Segunda e Terceira Comunicação Nacional, produzido de acordo com a metodologia proposta por Bernoux *et al.* (2002).

Geração das matrizes de conversão de uso e cobertura da terra

A Tabela A.VII.1 sintetiza os resultados obtidos nos grupos de classes temáticas previstos pelo IPCC. O Quadro A.VII.2 apresenta um modelo de matriz de conversão resultante da intersecção entre os mapas de 2010 e 2016. Todas as classes de uso e cobertura da terra são representadas, com exceção das classes que foram incorporadas apenas a partir de 2016. Nas colunas são representadas as classes referentes a 2016 e nas linhas as classes referentes a 2010. As células da matriz são preenchidas pelas áreas em hectares de cada conversão. A linha em destaque na diagonal principal apresenta as classes em que não houve alteração de uso e cobertura da terra, enquanto nas demais células são apresentadas as conversões no uso e cobertura da terra. Na coluna “Total em Ano 2” são apresentadas as áreas das classes do mapa de 2010, enquanto na linha “Total em Ano 1” são apresentadas as áreas das classes do mapa de 2016. Os percentuais da área de cada classe em relação à área total do bioma para cada um dos anos são apresentados nas respectivas colunas e linhas “% do bioma”.

Tabela A.VII.1. Estimativa de área dos agrupamentos de classes de uso e cobertura da terra para o ano de 2016.

Bioma	Floresta	Campo e Pastagem	Agricultura	Assentamentos	Áreas úmidas	Outras terras/ usos	Total
	ha/(%)	ha/(%)	ha/(%)	ha/(%)	ha/(%)	ha/(%)	ha
Amazônia	354.572.526 (80,1)	65.998.159 (14,9)	6.469.001 (1,46)	474.394 (0,11)	14.997.500 (3,39)	289.539 (0,07)	442.801.119
Cerrado	84.733.267 (41,5)	88.058.795 (43,2)	28.233.241 (13,8)	1.061.630 (0,5)	1.539.711 (0,8)	317.659 (0,2)	203.944.304
Mata Atlântica	37.891.281 (34,0)	46.047.957 (41,3)	23.191.801 (20,8)	2.164.885 (1,9)	2.065.072 (1,9)	195.936 (0,2)	111.556.948
Caatinga	49.871.051 (60,2)	26.310.694 (31,8)	5.216.804 (6,3)	373.195 (0,5)	748.050 (0,9)	265.903 (0,3)	82.785.696
Pampa	4.136.384 (23,1)	5.608.092 (31,4)	6.085.918 (34,0)	159.105 (0,9)	1.735.070 (9,7)	158.010 (0,9)	17.882.579
Pantanal	5.542.756 (36,6)	8.947.879 (59,1)	19.841 (0,1)	12.533 (0,1)	601.622 (4,0)	5.635 (0)	15.130.267
Brasil	536.747.266 (61,4)	240.971.576 (27,6)	69.216.605 (7,92)	4.245.758 (0,49)	21.687.025 (2,48)	1.232.682 (0,14)	874.100.912

Nota: Entre parênteses, a contribuição relativa acumulada (%) de cada classe de uso e cobertura da terra em relação à área total de cada bioma.

501

Algumas conversões são impossíveis do ponto de vista das emissões, mesmo que possíveis do ponto de vista do uso e cobertura da terra. O Quadro A.VII.3 apresenta as conversões impossíveis para o cálculo das emissões de GEE.

Quadro A.VII.3. Conversões de uso e cobertura da terra impossíveis (em cinza) e possíveis (em branco) quanto às emissões de GEE.

	2002														
	FNM	FM	FSec	Ref	CS	GNM	GM	GSec	Ap	Ac	S	A	Res	O	NO
FNM															
FM															
FSec															
Ref															
CS															
GNM															
GM															
GSec															
Ap															
Ac															
S															
A															
Res															
O															
NO															

Notas: Nessa representação, a categoria “Ac” inclui as classes “PER” e “CANA”; a categoria “O” inclui as classes “Min”, “SE”, “ArNM”, “ArM”, “DnM”, “DnNM”; e a categoria “G” refere-se também às classes de “OFL”.

A.VII.2. Mapeamento do uso e cobertura da terra e geração de matrizes de uso e cobertura

Mapa de vegetação natural pretérita e seus estoques de carbono

O mapa de vegetação natural pretérita compreende a distribuição das fitofisionomias de todos os biomas brasileiros – de acordo com a classificação do IBGE (2012) – desconsiderando-se a intervenção e a ocupação humana. No inventário da Quarta Comunicação Nacional foi utilizada uma base mais atualizada e acurada, fruto do mapa de vegetação disponibilizado pelo IBGE (2017) em escala 1:250.000. A partir desse mapa, foram realizados ajustes pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB) (Brasil, 2019) para as áreas antropizadas. Ajustes complementares, para maior detalhamento das classes de vegetação, foram implementados a partir da comparação com o mapa de vegetação natural pretérita utilizado no inventário da Terceira Comunicação Nacional (escala 1:5.000.000) (Brasil, 2015) e dados secundários de relevo¹³⁵ (NASA, 2019) – para detalhamento de vegetação montana, montana, submontana e terras baixas – e hidrologia¹³⁶ (ANA, 2019) – para detalhamento de vegetação aluvial.

Estoque de carbono da biomassa viva e matéria orgânica morta da vegetação

A seguir, são apresentados dados e metodologia utilizada para estimar a biomassa e os estoques de carbono em cada bioma (cujos valores serão apresentados no Apêndice A.VII.3).

Bioma Amazônia

O mapa de vegetação natural pretérita desenvolvido no âmbito do inventário da Quarta Comunicação Nacional apresenta 44 diferentes fitofisionomias compondo o bioma Amazônia, sendo as mais representativas a Floresta Ombrófila Densa, que cobre cerca de 51% do bioma, e a Floresta Ombrófila Aberta, que cobre 26,93% do bioma (Tabela A.VII.2).

Os valores de biomassa viva acima do solo (AGB) foram obtidos a partir do mapa do projeto *Estimating Biomass in the Amazon* (EBA). Para a estimativa e geração do mapa da biomassa acima do solo (AGB) do bioma Amazônia, foram utilizados dados de campo, dados gerados a partir de imageamento aerotransportado do sensor *Light Detection and Ranging* (LiDAR) e dados de sensoriamento remoto orbital (Ometto *et al.*, 2023).

O mapa de biomassa do EBA representa a biomassa viva acima do solo atual, uma vez que os dados LiDAR foram obtidos entre 2016 e 2017. Desta forma, as estimativas de biomassa para esse período incluem áreas que já haviam sido convertidas anteriormente e não representam necessariamente o estoque de carbono da vegetação natural pretérita contida nessas áreas. Assim, foram feitos ajustes metodológicos, descritos a seguir, para estimar os estoques de carbono nesses casos (Figura A.VII.13).

Os valores de biomassa acima do solo (AGB) obtidos para as áreas naturais (sem antropização) e associados às distintas fitofisionomias foram utilizados para estimar o valor da biomassa pretérita das áreas antropizadas sob as dadas fitofisionomias. Para isso, o mapa de fitofisionomias foi cruzado com as máscaras de áreas naturais e áreas antropizadas, gerando dois mapas. Para os polígonos com vegetação natural presente, atribuiu-se o valor de AGB diretamente do mapa do EBA. Para as áreas antropizadas, a partir de sua classe de vegetação natural, foi utilizado o valor do percentil 75 de AGB dos polígonos com vegetação natural presente, da respectiva fitofisionomia, mapeados no EBA (Figura A.VII.13).

¹³⁵ Em relação à altitude, optou-se pelo uso dos dados de altitude da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM, sigla em inglês) (NASA, 2019).

¹³⁶ Essa etapa consistiu na identificação dos polígonos com influência fluvial, a partir do cruzamento com arquivos vetoriais de cursos d'água e das massas d'água artificiais do Brasil (ANA, 2019).

Os cálculos de biomassa e carbono para todos os compartimentos, foram feitos diretamente no banco de dados PostGIS/SQL. Para isso, foram utilizadas informações de AGB do mapa do EBA, as fitofisionomias obtidas do mapa de vegetação natural pretérita do bioma Amazônia e os fatores de expansão da AGB para inclusão da biomassa dos outros compartimentos (Tabela A.VII.2).

Para as fitofisionomias em áreas naturais, que receberam os valores diretamente dos *pixels* do mapa de AGB do EBA, de igual forma, para cada *pixel* foi calculada a biomassa dos demais compartimentos e todos foram convertidos para carbono, obtendo-se os valores máximo e mínimo de carbono para cada compartimento e fitofisionomia. Da mesma forma, para as áreas antropizadas, a partir do mapa de biomassa estimada, incluíram-se os demais compartimentos e foram calculados os valores de carbono para cada um deles. Os fatores secundários de remoção e emissão de carbono adotados estão descritos na Tabela A.VII.8.

Para as áreas que permaneciam com cobertura natural em 2016, utilizaram-se as estimativas baseadas em dados LiDAR (em verde) provenientes do mapa de biomassa aérea do EBA. Nas áreas onde já não havia vegetação natural (em amarelo), utilizaram-se a distribuição de fitofisionomias do mapa de vegetação natural pretérita (fonte) e os valores associados foram obtidos com base no percentil 75 dos valores de biomassa aérea das respectivas fitofisionomias a partir dos dados das áreas com cobertura natural. Para os cálculos dos valores de carbono para todos os compartimentos, os valores de AGB foram associados espacialmente com as respectivas fitofisionomias do mapa de vegetação natural pretérita e com os respectivos fatores de expansão de carbono para todos os compartimentos biogeoquímicos.

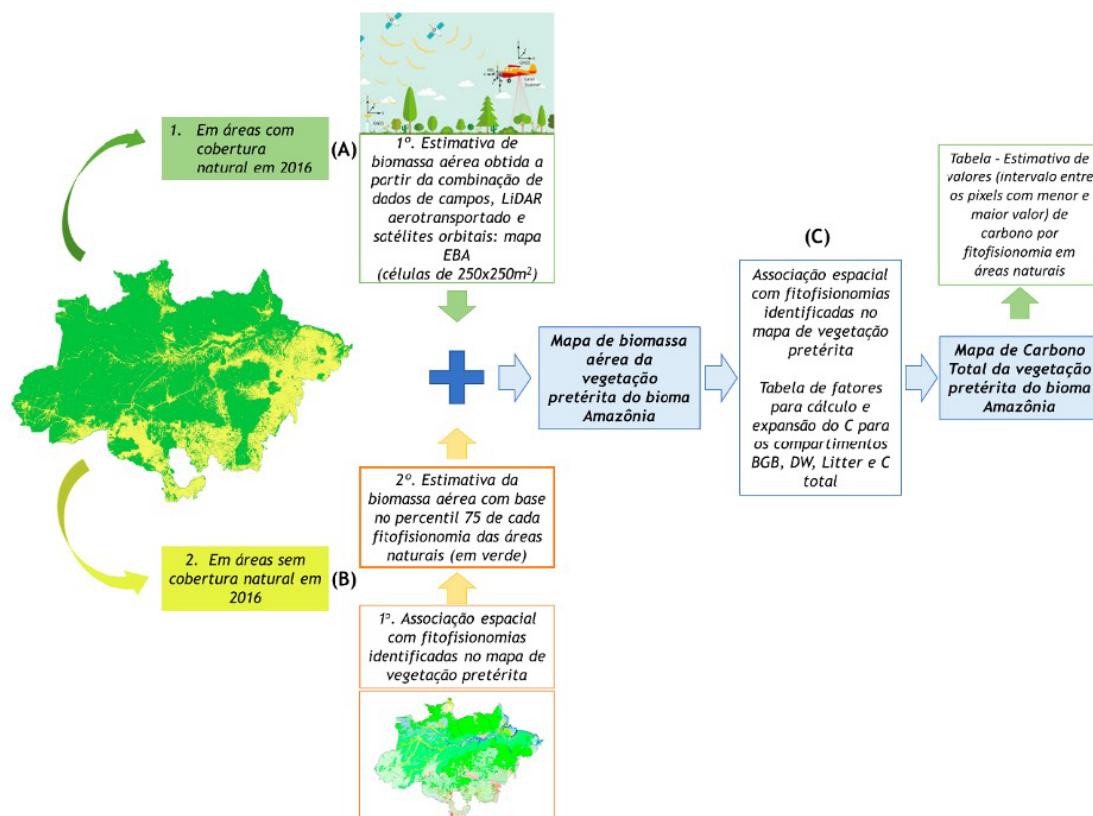


Figura A.VII.13. Metodologia para as estimativas de valores de biomassa aérea e carbono para a reconstituição do mapa relativo à vegetação natural pretérita do bioma Amazônia.

Na Figura A.VII.14 são apresentados os mapas de estoques de carbono (tC/ha) do bioma Amazônia para cada reservatório, enquanto na Figura A.VII.15 é possível visualizar a soma de todos esses compartimentos. Estes mapas representam o estoque de carbono por fitofisionomia, para cada reservatório, variando do valor mínimo ao máximo encontrado no compartimento.

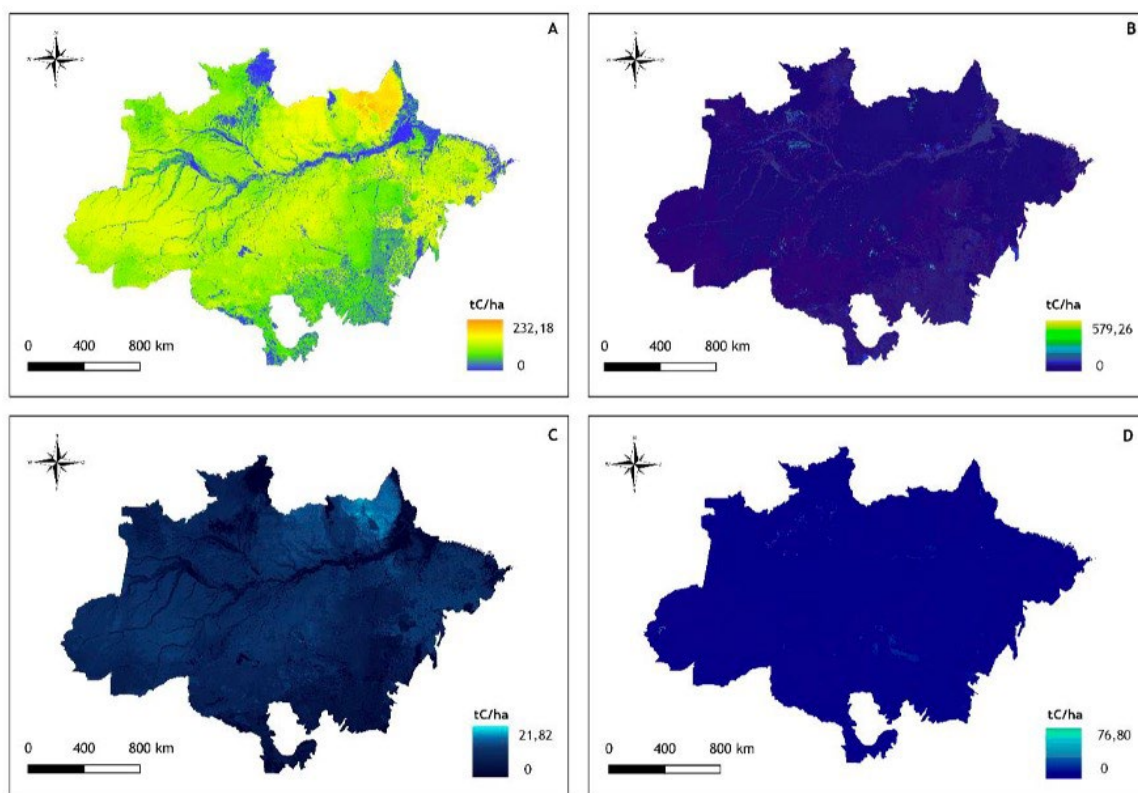


Figura A.VII.14. Mapas de estoque de carbono dos diferentes reservatórios da Amazônia (A – Acima do solo; B – Abaixo do solo; C – Madeira Morta; e D – Serapilheira).

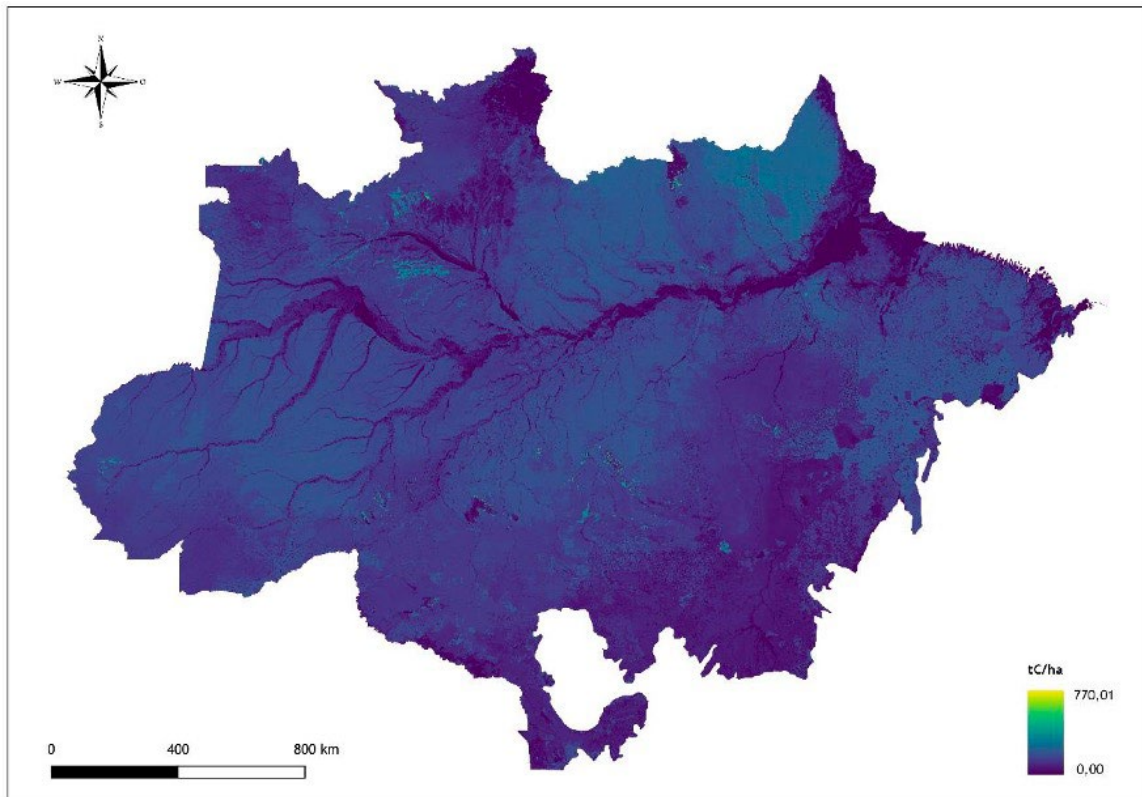


Figura A.VII.15. Mapa do estoque de carbono (tC/ha) total da Amazônia.

Cerrado

O bioma Cerrado tem grande importância nos estoques e fluxos de carbono da vegetação para a atmosfera, em decorrência da sua grande extensão territorial (aproximadamente 24% do Brasil) e em função da elevada dinâmica de mudança do uso e cobertura da terra nas últimas décadas, principalmente conversão de terras para pastagem e agricultura (Sano *et al.*, 2010; Brasil, 2016; Lahsen *et al.*, 2016).

O principal aprimoramento das estimativas de estoque de biomassa no Cerrado foi na classe Savana Arborizada (Sa), que compreende 48,7% da vegetação natural pretérita (Tabela A.VII.3). Outro avanço importante foi a atualização de estimativas de biomassa para as formações em que foram utilizados valores de referência de outros biomas (em razão da ausência de dados e das informações do próprio bioma), o que representa 14,8% da vegetação natural pretérita. Para as formações cujas estimativas foram baseadas em estudos desenvolvidos no Cerrado, com exceção de Savana arborizada (Sa), foram mantidos os valores de biomassa acima do solo obtidos no Inventário elaborado na Terceira Comunicação Nacional.

No mapa de vegetação natural pretérita do inventário da Quarta Comunicação Nacional, algumas classes deixaram de estar representadas no Cerrado: Floresta Ombrófila Densa Montana (Dm) e Savana-Estépica Arborizada (Ea). Em contrapartida, novas classes foram incluídas no bioma:

- Formações: Estepe Gramíneo-Lenhosa (Eg), Floresta Estacional Decidual Aluvial (Ca), Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (Db) e Floresta Ombrófila Mista Aluvial (Ma).
- Subgrupos de formação: Formações Pioneiras (P), Savana (S) e Savana Estépica (T).
- Zonas de contato: Contato Floresta Ombrófila/Floresta Estacional (ON), Contato Savana/Floresta Estacional (SN), Contato Savana/Floresta Ombrófila (SO), Contato Savana/Floresta Ombrófila Mista (SM), Contato Savana/Savana-Estépica (ST), Contato Savana/Savana-Estépica/Floresta Estacional (STN) e Contato Savana-Estépica/Floresta Estacional (TN).

Para 22 classes de vegetação, foram considerados valores únicos de carbono para todo o bioma (Tabela A.VII.3). Da mesma forma que no inventário da Terceira Comunicação Nacional, seis formações tiveram valores regionalizados por Estado ou grupos de UFs: Savana Florestada (Sd), Florestas Estacionais Deciduais Montana (Cm) e Submontana (Cs), Florestas Estacionais Semideciduais Aluvial (Fa), das Terras Baixas (Fb) e Submontana (Fs). Para as demais classes (Sa, S e zonas de contato), os valores variaram de acordo com a localização do polígono. Por isso, para essas três classes, foram apresentadas as médias das estimativas na Tabela A.VII.3.

Savana arborizada (Sa)

No inventário da Terceira Comunicação Nacional, foi atribuído um único valor de estoque de biomassa e carbono para Savana arborizada (Sa). No inventário da Quarta Comunicação Nacional, a biomassa arbórea acima do solo de Sa foi estimada a partir da interpolação com regressão de dados de biomassa de 150 áreas no Cerrado.

Além da biomassa arbórea acima do solo, o fator de expansão da biomassa subterrânea para Sa foi atualizado para 2,04, obtido a partir da média de estimativas em dez áreas (DF, GO, MG, BA) (Abdala *et al.*, 1998; Castro; Kauffman, 1998; Castro-Neves, 2007; Lilienfein; Wickle, 2003; Miranda, 2012).

Subgrupo de formação Savana (S)

Foi computada a média entre Savana Florestada (Sd) (que varia de acordo com a UF) e Sa. O valor de Sa utilizado para compor a média de Savana (S) foi a média de Sa da ecorregião onde se encontra o polígono, de acordo com o mapa de ecorregiões do Cerrado (Sano *et al.*, 2019).

Zonas de Contato

Para as zonas de contato, foram consideradas as médias entre as classes de vegetação. Os valores computados variaram de acordo com a localização do polígono. Assim, as estimativas variaram de acordo com a) a ecorregião (Sano *et al.*, 2019) e a UF, para as zonas de contato com S; e b) estado e a altitude, para as zonas de contato com Florestas mistas (M), Estacionais (N), Ombrófilas (O). Isso resultou em 139 combinações distribuídas nas sete zonas de contato.

Além da variação associada à localização do polígono, as estimativas para as zonas de contato variaram de acordo com o tipo de média utilizada (ponderada ou simples). A seleção do tipo de média utilizada dependeu da classe de vegetação do polígono classificado no mapa de vegetação natural pretérita do inventário da Terceira Comunicação Nacional, e sua compatibilidade com a classe de zona de contato do mapa de vegetação natural pretérita usado no inventário da Quarta Comunicação Nacional. Por exemplo, para um polígono de zona de contato SN, as classes consideradas compatíveis foram todas as formações do subgrupo de formação Savana (Sa, Sd, Sg, Sp) e todas as formações da subclasse de formação Floresta Estacional (Ca, Cb, Cm, Cs e Fa, Fb, Fm, Fs). A média ponderada foi utilizada quando a soma das áreas das classes compatíveis representou 60% ou mais da área total do polígono. Quando essa soma foi inferior a 60%, foi utilizada a média simples. Os fatores secundários de remoção e emissão de carbono adotados estão descritos na Tabela A.VII.8.

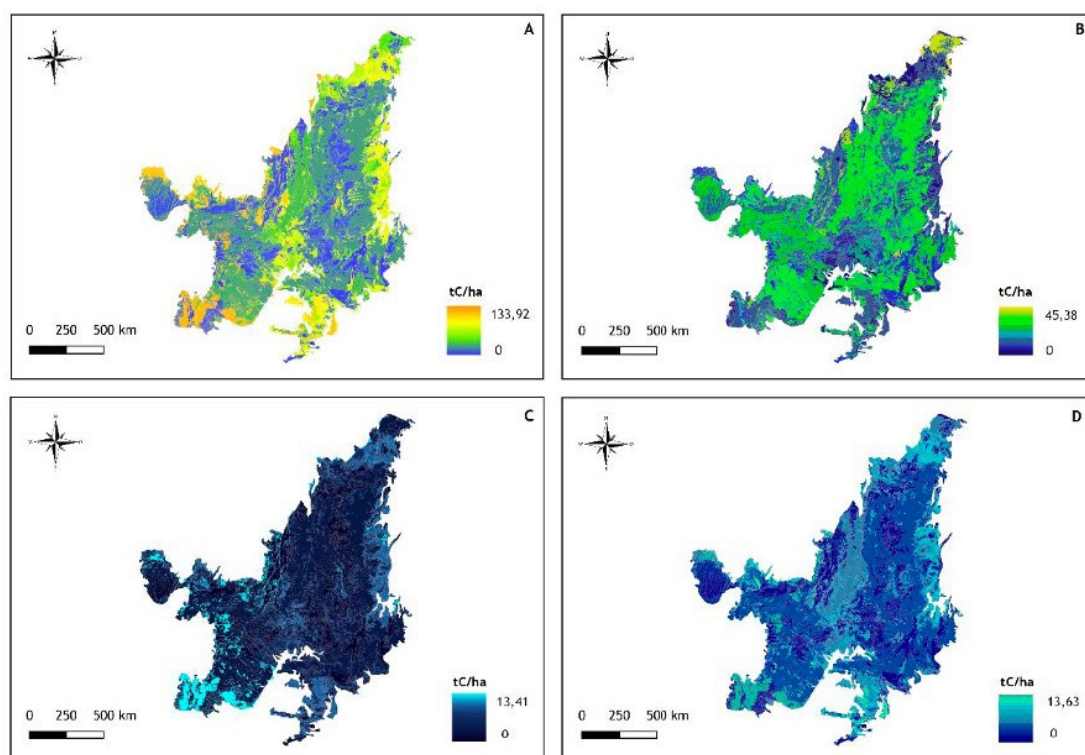


Figura A.VII.16. Mapas de estoque de carbono dos diferentes reservatórios do Cerrado (A – Acima do solo; B – Abaixo do Solo; C – Madeira Morta e D – Serapilheira).

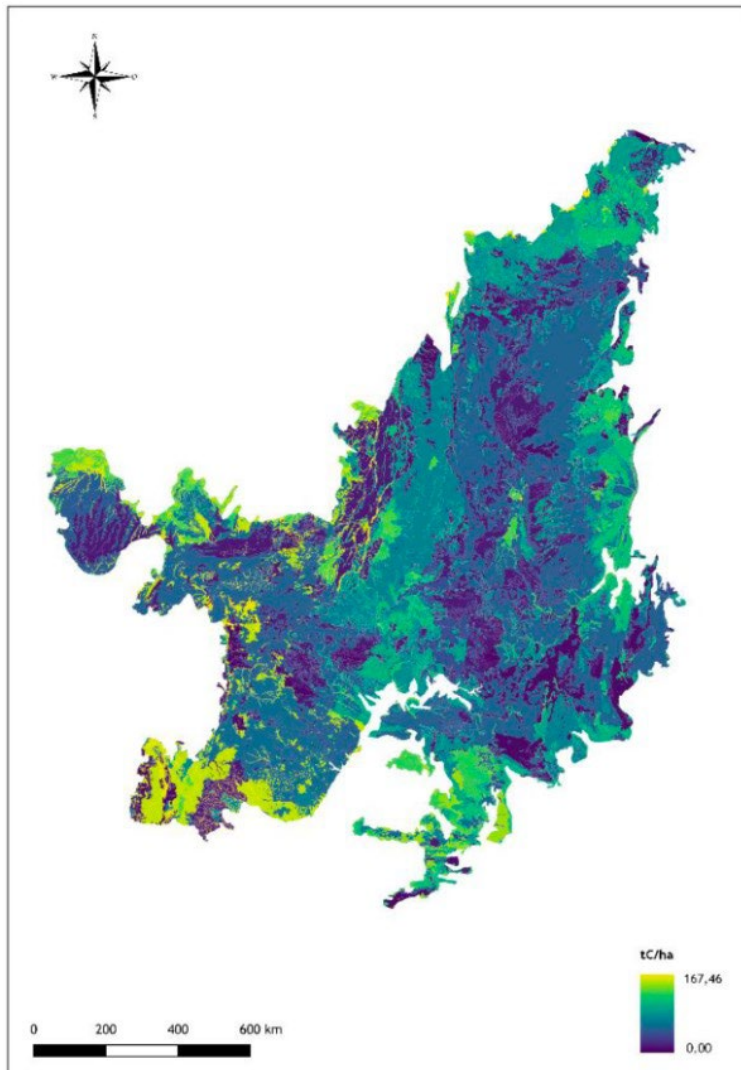


Figura A.VII.17. Mapa do estoque de carbono total do Cerrado.

Nota: Na Figura A.VII.16 são apresentados os mapas de estoques de carbono (tC/ha) do Cerrado para cada reservatório, enquanto na Figura A.VII.17 é apresentado o estoque de carbono total. Esses mapas representam o carbono encontrado por fitofisionomia, para cada reservatório, variando de valor mínimo ao máximo encontrado no compartimento.

Mata Atlântica

A Mata Atlântica é composta por uma diversidade de formações florestais tropicais nativas (florestas ombrófila e estacional) e ecossistemas associados (isto é, manguezais, restingas e brejos de altitude). A Mata Atlântica é o bioma mais antropizado do país, em decorrência sobretudo de ocupação histórica e instauração das primeiras capitais do país, que propiciou o estabelecimento das atividades humanas desde os primórdios na área desse bioma, que contou com desenvolvimento de produção agrícola (cana-de-açúcar), fruticultura e reflorestamento. O bioma é compreendido por muitas fitofisionomias, sendo ao todo 37, além de 12 áreas de contato. O percentual de representatividade de cada fitofisionomia é apresentado na Tabela A.VII.4, com destaque para as 10 fitofisionomias mais representativas, que juntas representam cerca de 78% do bioma.

Com o detalhamento do mapa de vegetação natural pretérita, 17 novas fitofisionomias estão agora representadas no bioma, em relação ao inventário da Terceira Comunicação Nacional (aproximadamente, 25% do bioma), a saber: Contato Estepe/Floresta Ombrófila Mista (EM); Campinarana – arborizada (La); Campinarana – Gramíneo-Lenhosa (Lg); Floresta Ombrófila Mista – Montana (Mm); Contato Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista (NM); Contato Floresta Estacional/Formações Pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga) (NP); Contato Floresta Ombrófila/Formações Pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga) (OP); Savana – Arborizada (Sa); Contato Savana/Floresta Ombrófila (SO); Contato Savana/Floresta Ombrófila Mista (SM); Contato Savana/Floresta Estacional (SN); Contato Savana-Estépica/Floresta Estacional (TN); Contato Floresta Ombrófila/Floresta Estacional (ON); Contato Savana/Formações Pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga) (ST); Contato Floresta Ombrófila Densa/Floresta Ombrófila Mista (OM); Contato Estepe/Floresta Estacional (EN); Contato Savana/Floresta Estacional (SN).

Para essas novas fitofisionomias, os valores de biomassa e carbono foram baseados em vegetações similares, em estudos conduzidos no mesmo ou em outros biomas, ou nos valores das classes dominantes. Na Tabela A.VII.4, são consolidados os valores de estoque de carbono total e para os diferentes compartimentos para as fitofisionomias da Mata Atlântica, referências e metodologia utilizadas para a determinação da biomassa e estoques de carbono, por fitofisionomias. Os fatores secundários de emissão e remoção de carbono adotados estão descritos na Tabela A.VII.8.

Houve casos em que, para a Mata Atlântica, diferentes valores de estoques de carbono subterrâneo foram atribuídos para uma mesma fitofisionomia, dependendo da região onde se encontra, como Região Nordeste (NE) e Outras Regiões (OR). Isso se deve à grande heterogeneidade dos remanescentes de Mata Atlântica, processo de fragmentação e seus efeitos deletérios (Tabarelli *et al.*, 2006).

Na Figura A.VII.18 são apresentados os mapas de estoques de carbono (tC/ha) da Mata Atlântica para cada reservatório, enquanto na Figura A.VII.19 é apresentado o estoque de carbono total. Estes mapas representam o carbono encontrado por fitofisionomia, para cada reservatório, variando do valor mínimo ao máximo encontrado no compartimento.

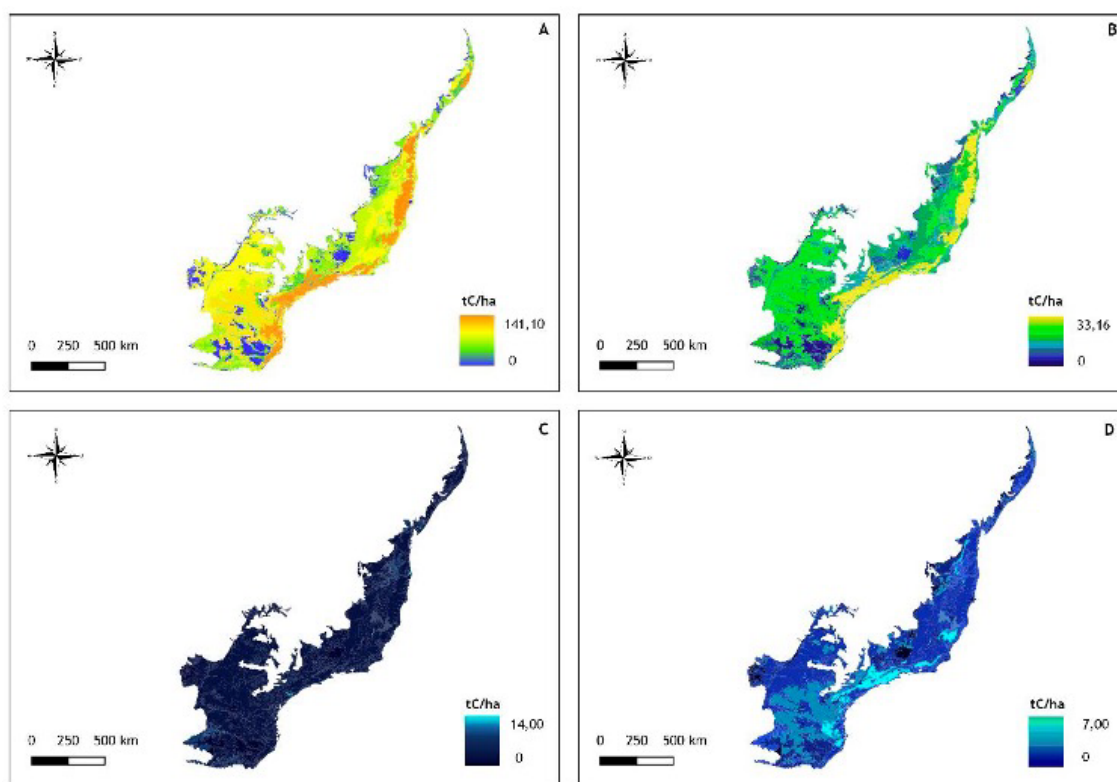


Figura A.VII.18. Mapas de estoque de carbono dos diferentes reservatórios da Mata Atlântica (A – Acima do solo; B – Abaixo do solo; C – Madeira Morta; e D – Serapilheira).

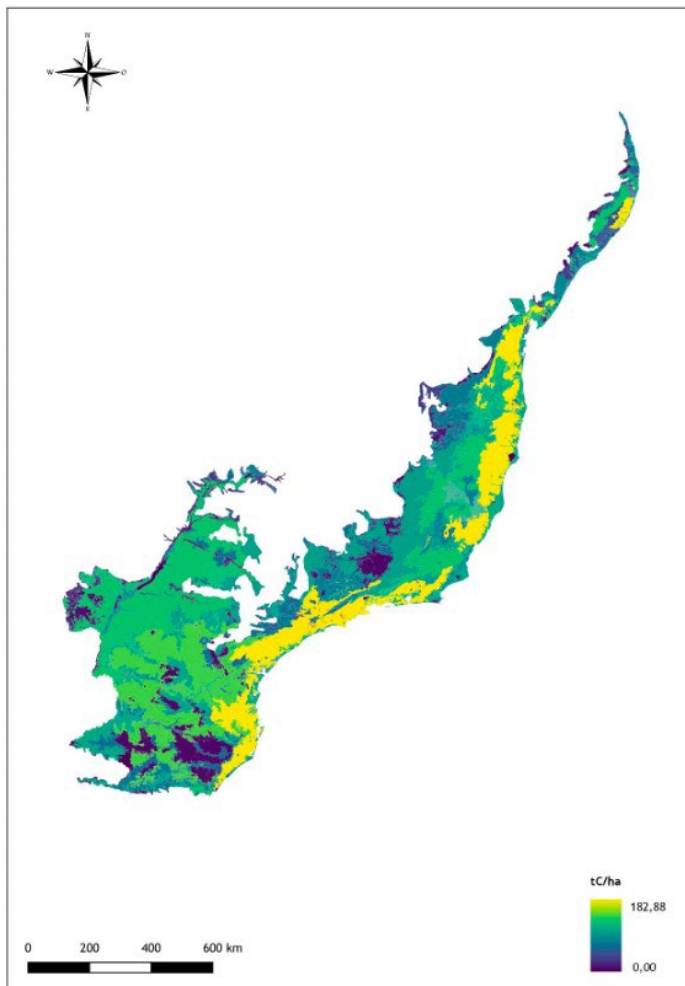


Figura A.VII.19. Mapa do estoque de carbono total da Mata Atlântica.

Caatinga

A Caatinga, localizada na região Nordeste, tem como principal tipo de vegetação a savana estépica. O bioma está inserido em clima semiárido, com regime de chuvas irregulares concentradas em poucos meses durante o ano, marcado pela elevada evapotranspiração, que determina a presença de estruturas vegetais relacionadas à adaptação a deficiência hídrica. Os solos têm alta diversidade, profundidades e textura variáveis (Sampaio, 2010).

No mapa de vegetação natural pretérita, o bioma original possui 30 fitofisionomias, 99,4% florestais e 0,5% campestre. O percentual de representatividade de cada fitofisionomia é apresentado na Tabela A.VII.5, com destaque para aquelas que, juntas, representam cerca de 89% do bioma.

Com o detalhamento do mapa de vegetação natural pretérita, sete novas fitofisionomias passaram a ser representadas no bioma (em relação ao inventário da Terceira Comunicação Nacional), que representam aproximadamente 13% do bioma: Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa), Floresta Estacional Decidual – Aluvial (Ca), Floresta Ombrófila Densa Aluvial (Da), Floresta Ombrófila Densa Montana (Dm), Contato Savana/Floresta (SN), Contato Savana/Formações Pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga) (ST) e Contato Savana/Floresta Estacional (TN). A fitofisionomia Refúgio Alto-Montano (RL), presente no inventário da Terceira Comunicação Nacional, não foi observada no mapa de vegetação natural pretérita do inventário da Quarta Comunicação Nacional.

Para essas novas fitofisionomias, os valores de biomassa e carbono foram baseados em vegetações similares de estudos conduzidos no mesmo ou em outros biomas, ou nos valores das classes dominantes. Na Tabela A.VII.5 são consolidados os valores de estoque de carbono total e para os diferentes compartimentos para as fitofisionomias da Caatinga, bem como as referências e metodologias utilizadas para a determinação da biomassa e estoques de carbono, por fitofisionomia. Os fatores secundários de emissão e remoção de carbono adotados estão descritos na Tabela A.VII.8.

Na Figura A.VII.20 são apresentados os mapas de estoques de carbono (tC/ha) da Caatinga para cada reservatório, enquanto na Figura A.VII.21 é apresentado o estoque de carbono total. Esses mapas representam o carbono encontrado por fitofisionomia, para cada reservatório, variando de zero até o valor máximo encontrado no compartimento.

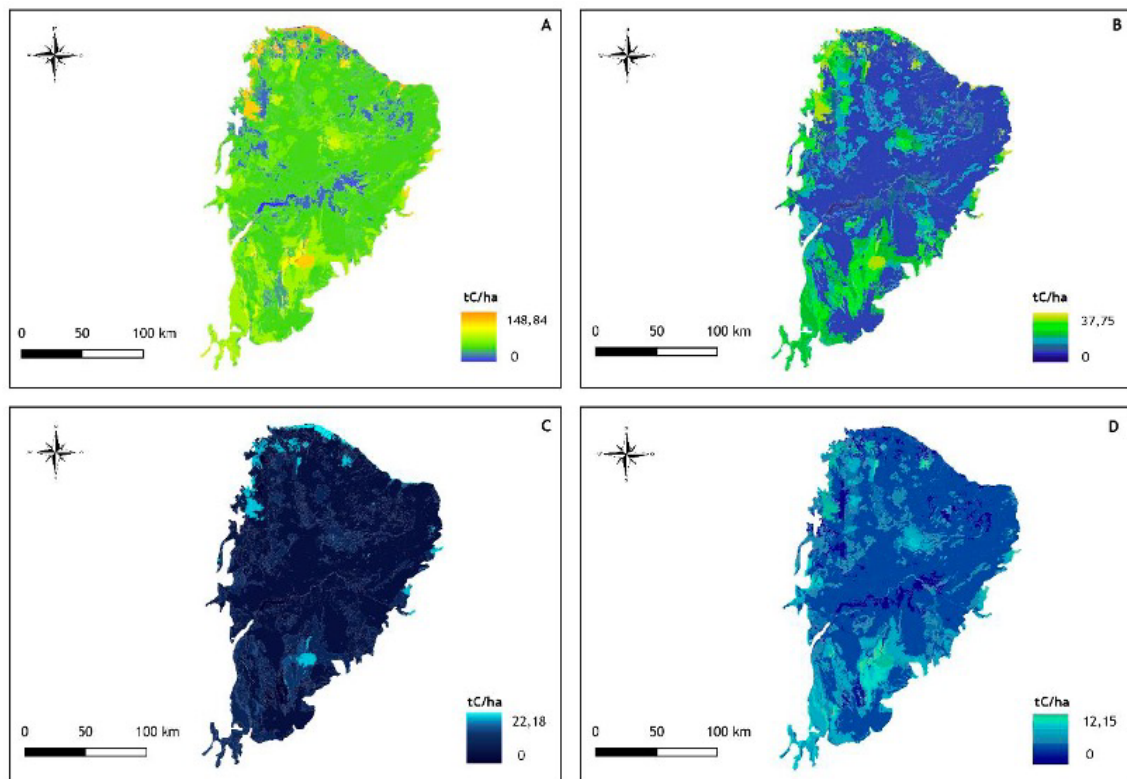


Figura A.VII.20. Mapas de estoque de carbono dos diferentes reservatórios da Caatinga (A – Acima do solo; B – Abaixo do solo; C – Madeira Morta e D – Serapilheira).

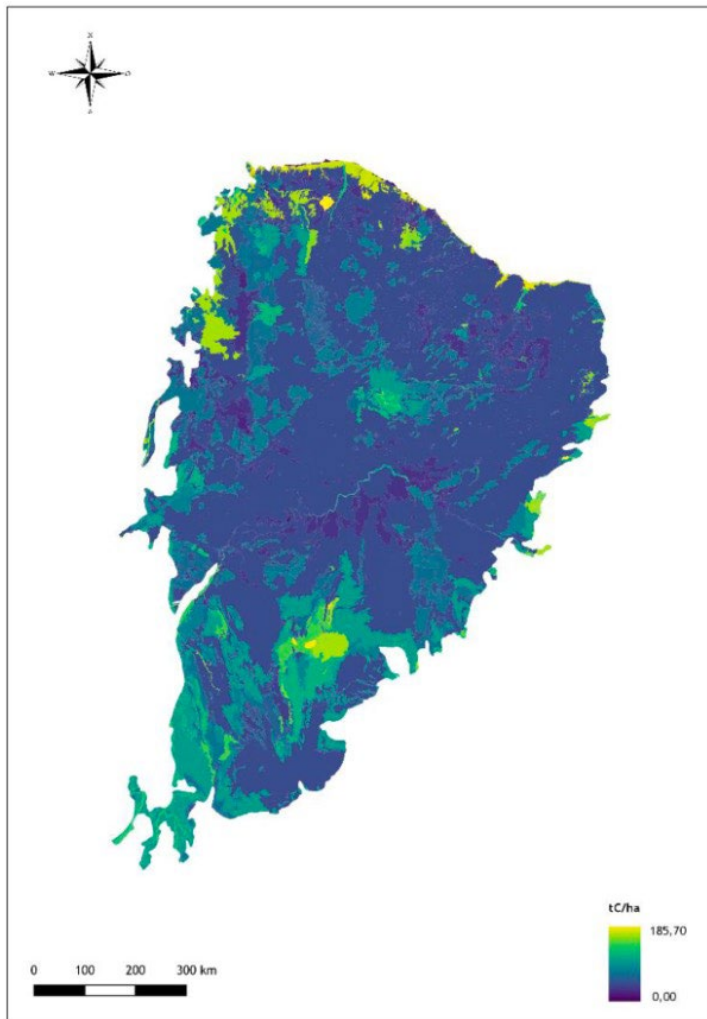


Figura A.VII.21. Mapa do estoque de carbono total da Caatinga.

Pampa

O Pampa é representado por um grande mosaico vegetacional com formações predominantemente florestais e savânicas. Ao todo, possui 33 fitofisionomias, sendo que as florestais representam 63% e as campestres, 27,6% da vegetação natural pretérita do bioma. Além disso, a classe água ocupa 9,4% do bioma. O percentual de representatividade de cada fitofisionomia é apresentado na Tabela A.VII.6.

Algumas fitofisionomias ainda não possuem dados na literatura acerca dos seus estoques de carbono. Dessa maneira, nesses casos, valores de biomassa obtidos para outros biomas foram utilizados para o Pampa.

Com o detalhamento do mapa de vegetação natural pretérita obtido no inventário da Quarta Comunicação Nacional, foram adicionadas 19 fitofisionomias em relação à edição anterior (aproximadamente 19% do bioma), a saber: Floresta Estacional Decidual – Terras Baixas (Cb), Floresta Ombrófila Densa – Aluvial (Da), Floresta Ombrófila Densa – Terras Baixas (Db), Floresta Ombrófila Densa – Montana (Dm), Dunas (Dn), Estepe (E), Estepe Parque (Ep), Contato Estepe/Floresta Ombrófila Mista (EM), Contato Estepe/Floresta Estacional (EN), Contato Estepe/Formações (EP), Floresta Estacional Semidecidual – Aluvial (Fa), Floresta Ombrófila Mista – Aluvial (Ma), Contato Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista (NM), Contato Floresta Estacional/Formações Pioneiras (Específico Formação Pioneira com Influência Marinha, Restinga) (NP), Contato Floresta Ombrófila Densa-Floresta Ombrófila Mista (OM), Contato

Floresta Ombrófila/Formações Pioneiras (Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha, Restinga) (OP), Áreas das Formações Pioneiras (P), Savana Estépica (T) e Savana Estépica – Parque (TP).

Para essas novas fitofisionomias, os valores de biomassa e carbono foram baseados em vegetações similares, em estudos conduzidos em outros biomas, ou nos valores das classes dominantes. Por outro lado, foi excluída a fitofisionomia nomeada como “Floresta Ombrófila Mista Montana (Mm)”, contudo seus valores foram utilizados como base para a nova classe Floresta Ombrófila Mista – Submontana (Ms).

Na Tabela A.VII.6, são consolidados os valores de estoque de carbono total para os diferentes compartimentos para as fitofisionomias do Pampa, além das referências e metodologias utilizadas para a determinação da biomassa e estoques de carbono, por fitofisionomia. Os fatores secundários de emissão e remoção de carbono adotados estão descritos na Tabela A.VII.8.

Na Figura A.VII.22, são apresentados os mapas de estoques de carbono (tC/ha) do Pampa para cada reservatório, enquanto na Figura A.VII.23 é apresentado o estoque de carbono total. Estes mapas representam o carbono encontrado por fitofisionomia, para cada reservatório, variando de valor mínimo ao máximo encontrado no compartimento.

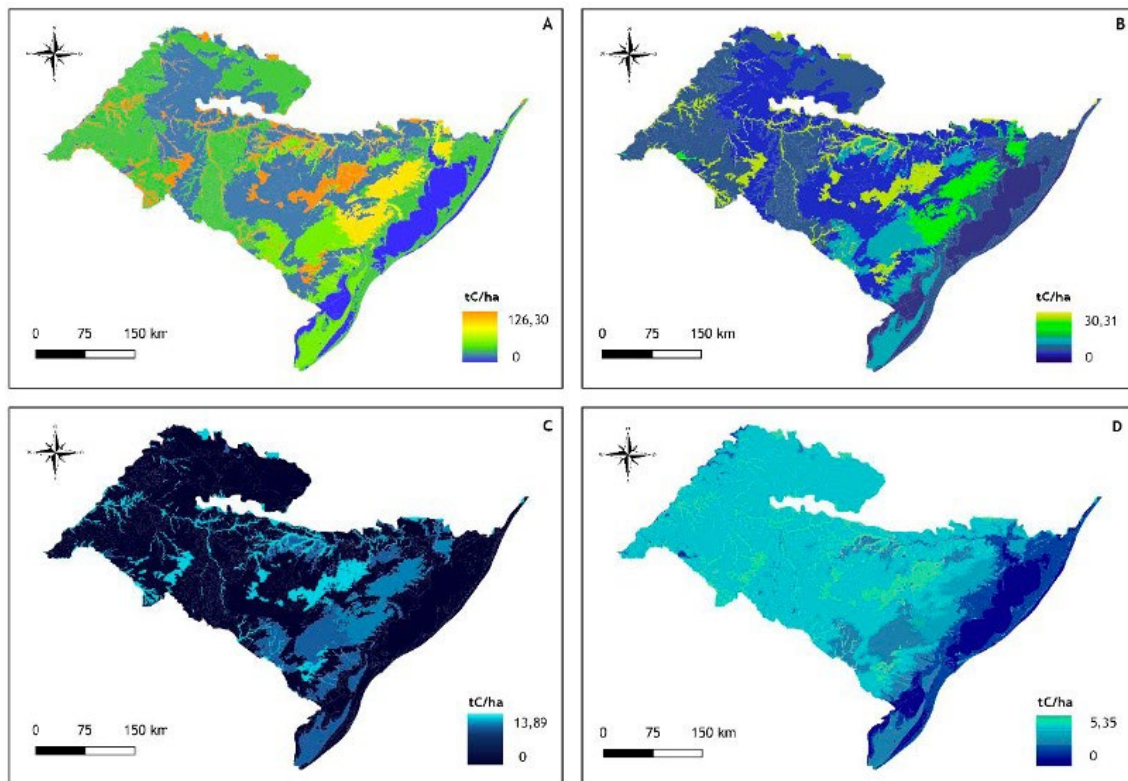


Figura A.VII.22. Mapas de estoque de carbono dos diferentes reservatórios do Pampa (A – Acima do solo; B – Abaixo do solo; C – Madeira Morta e D – Serapilheira).

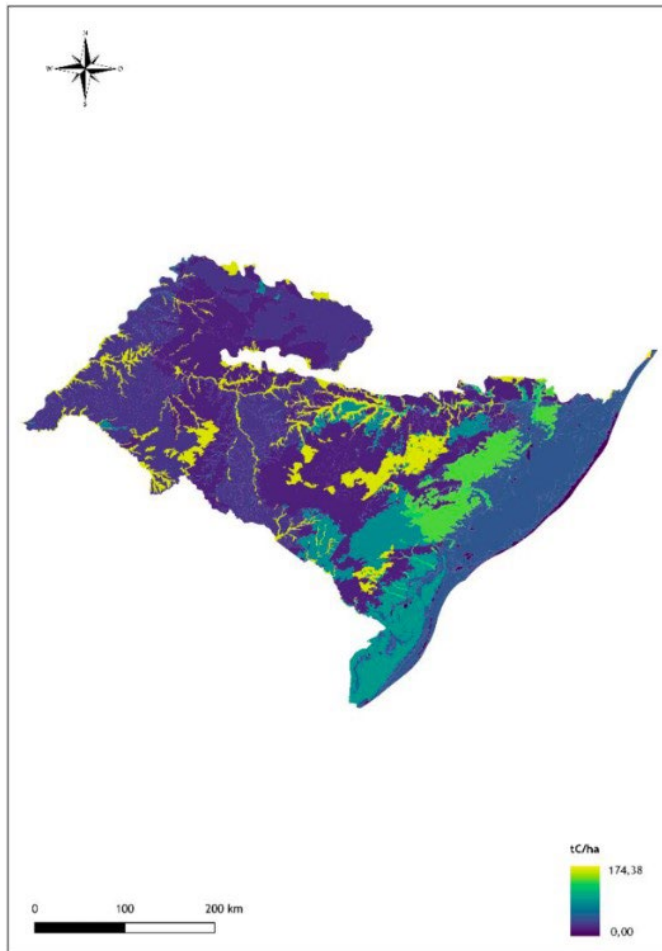


Figura A.VII.23. Mapa do estoque de carbono total do Pampa.

Pantanal

O Pantanal é representado por um grande mosaico vegetacional com formações florestais, savânicas e campestres, além da vegetação com influência fluvial (com regime de inundação em planícies alagáveis). O bioma original possui 19 fitofisionomias, sendo 77% florestais e 21% campestres. Além disso, a classe água ocupa cerca de 2% do bioma. O percentual de representatividade de cada fitofisionomia é apresentado na Tabela A.VII.7.

O Pantanal apresenta relações com o Chaco ao sul, a Floresta Amazônica ao norte, a Mata Atlântica e o Cerrado ao sul e leste do bioma. Dessa maneira, alguns valores de biomassa obtidos para esses biomas foram utilizados para o Pantanal, quando dados da literatura ou coletados em campo no próprio Pantanal estavam indisponíveis.

Com o detalhamento do mapa de vegetação natural pretérita obtido na preparação do inventário da Quarta Comunicação Nacional, foram adicionadas cinco fitofisionomias em relação ao inventário da Terceira Comunicação Nacional (aproximadamente 1,3% do bioma): Savana (S), Savana-Estépica (T), Contato Savana/Floresta Estacional (SN), Contato Savana/Savana-Estépica (ST), Contato Savana- Estépica/Floresta Estacional (TN). Para essas novas fitofisionomias, os valores de biomassa e carbono foram baseados em vegetações similares, em estudos conduzidos em outros biomas, ou nos valores das classes dominantes.

Por outro lado, foi excluída a fitofisionomia nomeada como “Vegetação com Influência Fluvial e/ou Lacustre (Pa)”, contudo seus valores foram utilizados como base para a nova classe Contato Savana/Savana Estépica (ST). Na Tabela A.VII.7 são consolidados os valores de estoque de

carbono total e para os diferentes compartimentos (biomassa aérea, biomassa subterrânea, madeira morta em pé e serapilheira) para as fitofisionomias do Pantanal, referências e metodologia utilizadas para a determinação da biomassa e estoques de carbono, por fitofisionomias. Os fatores secundários de emissão e remoção de carbono adotados estão descritos na Tabela A.VII.8.

Na Figura A.VII.24 são apresentados os mapas de estoques de carbono (tC/ha) do Pantanal para cada reservatório, enquanto na Figura A.VII.25 é apresentado o estoque de carbono total. Esses mapas representam o carbono encontrado por fitofisionomia, para cada reservatório, variando de zero até o valor máximo encontrado no compartimento.

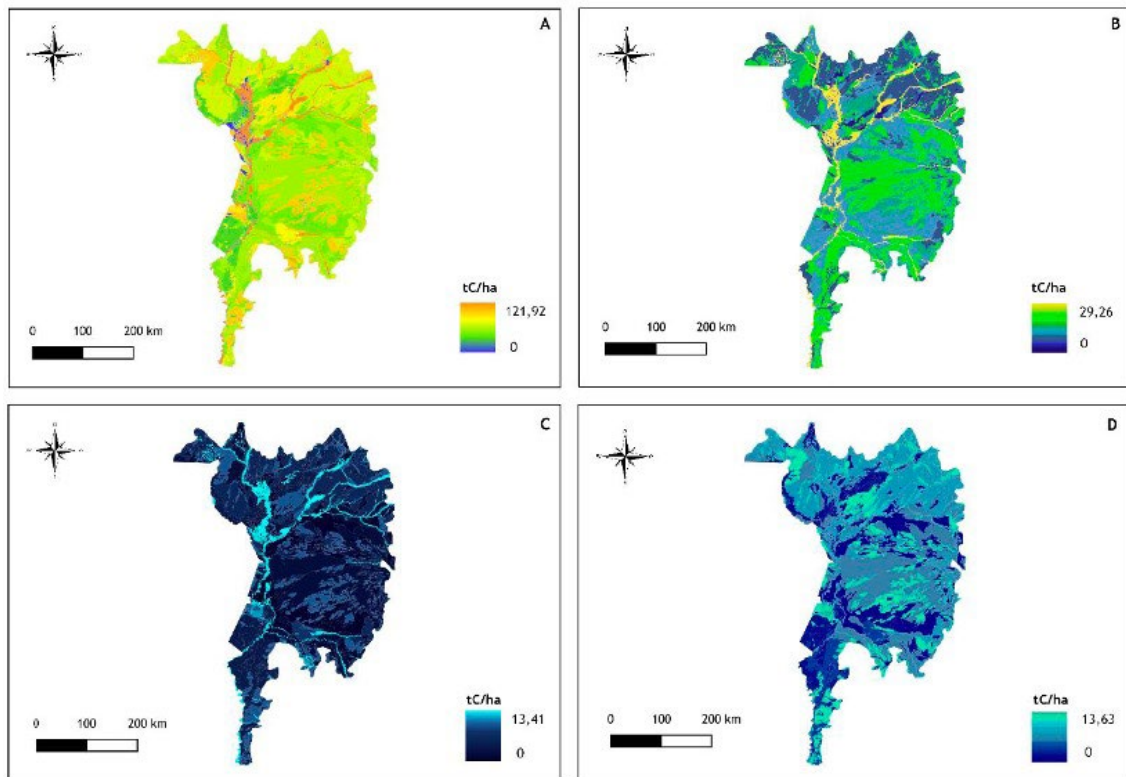


Figura A.VII.24. Mapas de estoque de carbono dos diferentes reservatórios do Pantanal (A – Acima do solo; B – Abaixo do solo; C – Madeira Morta e D – Serapilheira).

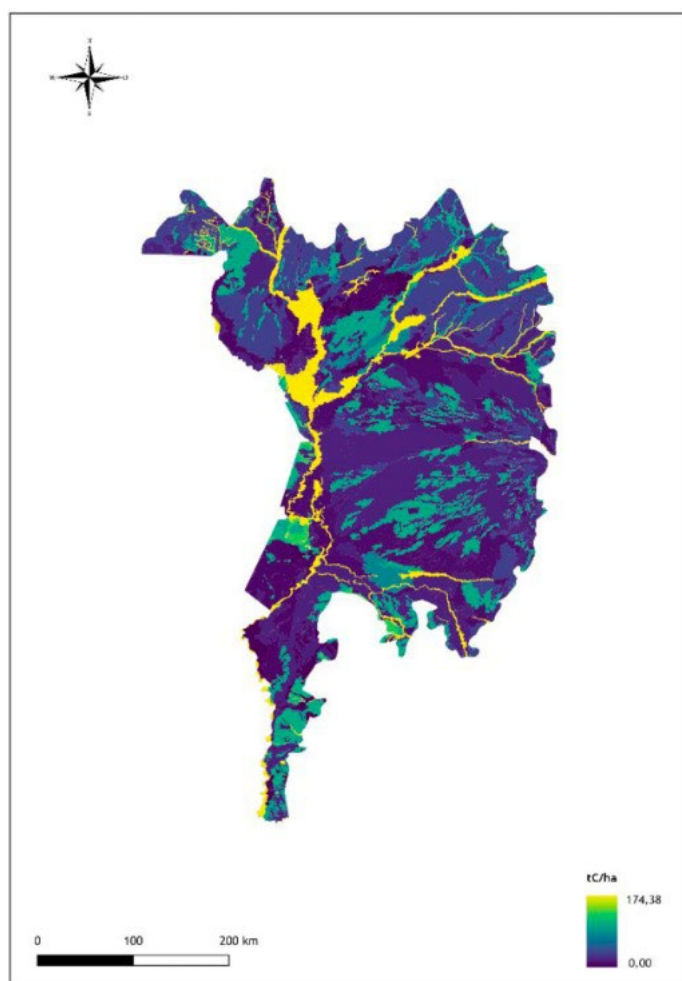


Figura A.VII.25. Mapa do estoque de carbono total do Pantanal.

A.VII.3. Tabelas complementares acerca de estoque de carbono e fatores de emissão e remoção

Tabela A.VII.2. Estoques de carbono das fitofisionomias do bioma Amazônia.

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
			(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
Aa/Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	2,30	F	117,3 (0,47-172)	Valores calculados a partir da AGB (EBA)	11,7 (0,05-17,2)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	9,5 (0,04-13,9)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	6,8 (0,03-9,93)	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	145,3 (0,58-213)
Ab/Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas	9,75	F	133,9 (0,47-155)	Idem	13,4 (0,05-15,5)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	10,9 (0,04-12,6)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	7,7 (0,03-8,96)	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	165,9 (0,58-192)
As/Floresta Ombrófila Aberta Submontana	14,35	F	106,5 (0-198)	Idem	10,7 (0-19,8)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	8,6 (0-16,0)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	6,2 ((0-11,4)	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	132,0 (0-245)
Cb/Floresta Estacional Decidual Terras Baixas	0,02	F	47,7 (0,94-85)	Idem	4,8 (0,09-8,5)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	3,9 (0,08-6,89)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	2,8 (0,05-4,91)	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	59,1 (1,16-105)
Cs/Floresta Estacional Decidual Submontana	0,19	F	104,8 (0,47-141)	Idem	10,5 (0,05-14,1)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	8,5 (0,04-11,4)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	6,1 (0,03-8,11)	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	129,8 (0,58-174)
Da/Floresta Ombrófila Densa Aluvial	4,84	F	90,5 (0,47-223)	Idem	28,1 (0,15-69,2)	Fator de expansão de 0,31 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	8,5 (0,04-21,0)	Fator de expansão de 0,094 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	3,6 (0,02-8,96)	Fator de expansão de 0,041 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	130,7 (0,68-322)
Db/Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	22,77	F	128,3 (0-202)	Idem	39,8 (0-62,5)	Fator de expansão de 0,31 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	12,1 (0-19,0)	Fator de expansão de 0,094 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	5,2 (0-9,09)	Fator de expansão de 0,041 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	185,3 (0-291)
Dm/Floresta Ombrófila Densa Montana	0,93	F	96,0 (0,94-181)	Idem	29,8 (0,29-56,2)	Fator de expansão de 0,31 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	9,0 (0,09-17,1)	Fator de expansão de 0,094 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	3,9 (0,04-7,28)	Fator de expansão de 0,041 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	138,7 (1,36-262)
Ds/Floresta Ombrófila Densa Submontana	23,67	F	139,3 (0-243)	Idem	43,2 (0-75-5)	Fator de expansão de 0,31 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	13,1 (0-22,9)	Fator de expansão de 0,094 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	5,6 (0-9,77)	Fator de expansão de 0,041 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	201,1 (0-352)
Fa/Floresta Estacional Semidecidual aluvial	0,18	F	53,0 (0-125)	Idem	5,3 (0-12,4)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	4,3 (0-10,1)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	3,1 (0-7,19)	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	65,6 (0-154)
Fb/Floresta Estacional Semidecidual de terras baixas	0,50	F	66,0 (0,47-101)	Idem	6,6 (0,05-10,1)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	5,3 (0,04-8,19)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	3,8 (0,03-5,84)	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	81,7 (0,58-125)

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
			(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
Fm/Floresta Estacional Semidecidual montana	0,02	F	101,5 (1,41-136)	Idem	10,2 (0,14-13,6)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	8,2 (0,11-11,0)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	5,9 (0,08-7,87)	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	125,8 (1,75-169)
Fs/Floresta Estacional Semidecidual Submontana	4,53	F	71,7 (0-140)	Idem	7,2 (0-14)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	5,8 (0-11,3)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	4,1 (0-8,06)	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	88,9 (0-172)
La/Campinarana Arborizada	0,58	F	100,8 (1,41-166)	Idem	181,5 (2,54-299)	Fator de expansão de 1,8 em campinarana (<i>low bana</i>) (Bongers <i>et al.</i> , 1985)	11,1 (0,16-18,3)	Fator de expansão de 0,11 (IPCC, 2003, tab. 3.2.2)	9,3 (0,13-15,3)	Fator de expansão de 0,094 – serapilheira/AGB (gramíneo lenhosa) (Barbosa; Ferreira, 2004)	302,7 (4,23-498)
Lb/Campinarana Arbustiva	0,30	OFL	68,8 (4,23-150)	Idem	114,2 (7,0-249)	Fator de expansão de 1,66 (BS:BA) <i>grassland</i> (IPCC, 2006, tab. 6.1)	0	Considerado não significativo	6,3 (0,39-13,8)	Fator de expansão de 0,094 – serapilheira/AGB (gramíneo lenhosa) (Barbosa; Ferreira, 2004)	189,3 (11,6-413)
Ld/Campinarana Florestada	3,07	F	104,4 (1,41-153)	Idem	12,5 (0,17-18,4)	Fator de expansão de 0,12 (Woortmann <i>et al.</i> , 2018)	8,5 (0,11-12,4)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	6,2 (0,08-9,15)	Fator de expansão de 0,061 (Woortmann <i>et al.</i> , 2018)	131,6 (1,78-193)
Lg/Campinarana gramíneo lenhosa	0,41	G	37,8 (1,41-144)	Idem	62,7 (2,34-240)	Fator de expansão de 1,66 (BS:BA) <i>grassland</i> (IPCC, 2006, tab. 6.1)	0	Considerado não significativo	20,5 (0,77-78,3)	Fator de expansão de 0,64 – serapilheira/AGB (Open Bana) (Bongers <i>et al.</i> , 1985)	121,0 (4,52-462)
Pa/Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre	1,67	OFL	38,4 (0-184)	Idem	14,2 (0-68,0)	Fator de expansão de 0,37 para floresta tropical úmida (IPCC, 2006, tab. 4.4)	4,2 (0-20,2)	Fator de expansão de 0,11 (IPCC, 2003, tab. 3.2.2)	1,4 (0-6,64)	Fator de expansão de 0,037 (IPCC, 2006, cap. 2, tab. 2.2)	58,2 (0-279)
Pf/Pioneiras com influência fluviomarinha (mangue)	0,44	F	25,8 (0,47-126)	Idem	9,6 (0,17-46,6)	Fator de expansão de 0,37 para floresta tropical úmida (IPCC, 2006, tab. 4.4)	2,8 (0,05-13,9)	Fator de expansão de 0,11 (IPCC, 2003, tab. 3.2.2)	0,04 (0,00-0,20)	Fator de expansão de 0,0016 – serapilheira/AGB (Assis <i>et al.</i> 2011, IPCC, 2006)	38,3 (0,70-187)
Pm/Pioneiras com influência Marinha (restinga)	0,001	F	23,5 (0,94-53)	Idem	8,7 (0,35-19,5)	Fator de expansão de 0,37 (IPCC, 2006, cap. 4, tab. 4.4)	2,6 (0,10-5,79)	Fator de expansão de 0,11 (IPCC, 2003, tab. 3.2.2)	0,04 (0,001-0,08)	Fator de expansão de 0,0016 – serapilheira/AGB (Assis <i>et al.</i> 2011, IPCC, 2006)	34,8 (1,39-78)
Rm/Refúgio montano	0,09	OFL	72,5 (0,94-148)	Idem	7,25 (0,09-14,8)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	0	Considerado não significativo	10,5 (0,14-21,4)	Fator de expansão de 0,15 (Barbosa; Fearnside, 1999)	90,2 (1,17-184)
Sa/Savana Arborizada	1,10	F	55,9 (0-187)	Idem	114,0 (0-382)	Fator de expansão de 2,04 (BS:BA) <i>Shrublands</i> (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	0,2 (0-0,65)	Fator de expansão de 0,0035 – madeira morta em pé e caída/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	3,0 (0-10,1)	Fator de expansão de 0,055 – folha e serapilheira/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	173,1 (0-579)

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
			(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
Sd/Savana Florestada	1,51	F	100,4 (0-180)	Idem	22,1 (0-39,7)	Fator de expansão de 0,22 (BS:BA) <i>Forestlands</i> (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	11,1 (0-19,9)	Fator de expansão de 0,11 (IPCC, 2003, tab. 3.2.2)	16,3 (0-29,3)	Fator de expansão de 0,17 – serapilheira/AGB em Cerradão (Morais <i>et al.</i> , 2013)	150,0 (0-269)
Sg/Savana Gramíneo- Lenhosa	0,40	G	11,2 (0,47-157)	Idem	37,4 (1,57-523)	Fator de expansão de 3,34 (BS:BA) (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	0,4 (0,02-6,14)	Fator de expansão de 0,037 – madeira morta em pé e caída/AGB (Barbosa; Fearnside 2005)	0,8 (0,03-10,9)	Fator de expansão de 0,082 – folha e serapilheira/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	49,8 (2,09-696)
Sp/Savana Parque	1,50	OFL	25,7 (0,47-197)	Idem	85,8 (1,57-658)	Fator de expansão de 3,34 (BS:BA) (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	0,8 (0,01-5,83)	Fator de expansão de 0,029 – madeira morta em pé e caída/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	1,8 (0,03-13,8)	Fator de expansão de 0,072 – folha e serapilheira/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	114,0 (2,09-874)
* Ta/Savana Estépica Arborizada	0,0001	F	46,4 (1,41-88)	Idem	77,1 (2,34-147)	Fator de expansão de 1,66 (BS:BA) <i>Shrublands</i> (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	2,4 (0,07-4,56)	Fator de expansão de 0,052 – madeira morta em pé e caída/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	3,0 (0,09-5,74)	Fator de expansão de 0,066 – folha e serapilheira/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	128,9 (3,91-245)
Td/Savana Estépica Florestada	0,12	F	8,7 (0,94-117)	Idem	14,5 (1,56-193)	Fator de expansão de 1,66 (BS:BA) <i>Shrublands</i> (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	1,0 (0,10-12,8)	Fator de expansão de 0,11 (IPCC, 2003, tab. 3.2.2)	0,9 (0,10-12,5)	Fator de expansão de 0,11 – serapilheira/AGB (Barbosa; Fearnside, 1999)	25,2 (2,71-335)
* Tg/Savana Estépica Gramíneo Lenhosa	0,02	G	3,9 (0,94-83)	Idem	13,1 (3,14-276)	Fator de expansão de 3,34 (BS:BA) (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	0,1 (0,03-2,29)	Fator de expansão de 0,026 – madeira morta em pé e caída/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	0,3 (0,08-6,93)	Fator de expansão de 0,098 – folha e serapilheira/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	17,5 (4,18-368)
Tp/Savana Estépica Parque	0,07	OFL	6,0 (0,94-100)	Idem	19,9 (3,14-334)	Fator de expansão de 3,34 (BS:BA) (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	0,1 (0,02-1,63)	Fator de expansão de 0,016 – madeira morta em pé e caída/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	0,6 (0,09-9,90)	Fator de expansão de 0,101 – madeira morta em pé e caída/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	26,5 (4,18-446)
Am/Floresta Ombrófila Aberta Montana	0,0002	F	31,6 (3,29-63)	Idem	3,2 (0,33- 6,35)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	2,6 (0,27-5,14)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	1,8 (0,19-3,66)	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	39,2 (4,08-79)
Ca/Floresta Estacional Decidual Aluvial	0,004	F	86,9 (14,1-93)	Idem	8,7 (1,41- 9,26)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	7,0 (1,14-7,50)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	5,0 (0,81-5,35)	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	107,7 (17,5-115)
* RI/Refúgio Alto-Montano	0,001	OFL	62,9 (10,3-87)	Idem	210,1 (34,5-290)	Fator de expansão de 3,34 (BS:BA) (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	0	Considerado não significativo	9,1 (1,50-12,6)	Fator de expansão de 0,15 (Barbosa; Fearnside, 1999)	282,1 (46,4-390)
* Rs/Refúgio Submontano	0,0004	OFL	148,7 (4,7-198)	Idem	14,9 (0,47- 19,8)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	0	Considerado não significativo	21,6 (0,68-28,7)	Fator de expansão de 0,15 (Barbosa; Fearnside, 1999)	185,1 (5,85-246)

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
			(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
SP/Contato Savana/Formações Pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga)	0,001	F	16,0 (2,82-54)	Idem	53,5 (9,42-179)	Fator de expansão de 3,34 (BS:BA) (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	0,6 (0,11-2,10)	Proporção 3.69% – madeira morta em pé e caída/AGB razão: 0.03691874 (Barbosa; Fearnside, 2005)	1,1 (0,20-3,74)	Fator de expansão de 0,082 – folha e serapilheira/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	71,2 (12,5-238)
SN/Contato Savana/Floresta Estacional SN	0,43	F	46,5 (0-118)	Idem	4,7 (0-11,8)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	3,8 (0-9,59)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	2,7 (0-6,84)	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	57,6 (0-147)
SO/Contato Savana/Floresta Ombrófila SO	0,39	F	90,9 (0,47-169)	Idem	28,2 (0,15-52,5)	Fator de expansão de 0,31 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	8,5 (0,04-15,9)	Fator de expansão de 0,094 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	3,7 (0,02-6,79)	Fator de expansão de 0,041 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	131,2 (0,68-244)
ST/Contato Savana/Savana-Estépica ST	0,07	F	11,2 (0,47-87)	Idem	37,3 (1,57-290)	Fator de expansão de 3,34 (BS:BA) (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	0,4 (0,02-3,41)	Fator de expansão de 0,037 – madeira morta em pé e caída/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	0,8 (0,03-6,08)	Fator de expansão de 0,082 – folha e serapilheira/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	49,7 (2,09-387)
TN/Contato Savana-Estépica/Floresta Estacional TN	0,01	F	17,9 (0,47-80)	Idem	29,8 (0,78-133)	Fator de expansão de 1,6 (BS:BA) <i>Shrublands</i> (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	2,0 (0,05-8,79)	Fator de expansão de 0,11 (IPCC, 2003, tab. 3.2.2)	1,9 (0,05-8,60)	Fator de expansão de 0,11 – serapilheira/AGB (Barbosa; Fearnside, 1999)	51,6 (1,35-230)
LO/Contato Campinarana/Floresta Ombrófila LO	0,42	F	103,1 (1,41-141)	Idem	12,4 (0,17-16,9)	Fator de expansão de 0,12 (Woortmann <i>et al.</i> , 2018)	8,4 (0,11-11,4)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	6,2 (0,08-8,39)	Fator de expansão de 0,061 (Woortmann <i>et al.</i> , 2018)	130,0 (1,78-177)
ON/Contato Floresta Ombrófila/Floresta Estacional ON	0,85	F	47,1 (0-113)	Idem	4,7 (0-11,3)	Fator de expansão de 0,1 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008).	3,8 (0-9,14)	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	2,7 (0-6,51)	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	58,4 (0-140)
T/Savana-Estépica	0,0001	F	69,6 (21-78)	Idem	115,6 (34,3-130)	Fator de expansão de 1,6 (BS:BA) <i>Shrublands</i> (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	3,6 (1,07-4,03)	Fator de expansão de 0,052 – madeira morta em pé e caída/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	4,5 (1,35-5,07)	Fator de expansão de 0,066 – folha e serapilheira/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	193,4 (57,4-217)
S/Savana	0,01	F	45,0 (0,94-95)	Idem	91,9 (1,92-195)	Fator de expansão de 2,04 (BS:BA) <i>Shrublands</i> (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	0,2 (0,003-0,33)	Fator de expansão de 0,0035 – madeira morta em pé e caída/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	2,4 (0,05-5,13)	Fator de expansão de 0,055 – folha e serapilheira/AGB (Barbosa; Fearnside, 2005)	139,5 (2,91,296)
P/Áreas das Formações Pioneira	0,0003	F	43,9 (2,35-141)	Idem	16,2 (0,87-52,3)	Fator de expansão de 0,37 para floresta tropical úmida (IPCC, 2006, tab. 4.4)	4,8 (0,26-15,6)	Fator de expansão de 0,11 (IPCC, 2003, tab. 3.2.2)	1,6 (0,08-5,11)	Fator de expansão de 0,037 – serapilheira/AGB (IPCC, 2006, cap. 2, tab. 2.2)	66,6 (3,56-214)
L/Campinarana	0,001	F	53,2 (1,9-123)	Idem	88,3 (3,12-204)	Fator de expansão de 1,66 (BS:BA) <i>grasslands</i>	0	Considerado não significativo	28,9 (1,02-66,9)	Fator de expansão de 0,64 – serapilheira/AGB (Open	170,4 (6,02-394)

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total	
			(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)	
						(Miranda <i>et al.</i> , 2014)				Bana) (Bongers <i>et al.</i> , 1985)		

Notas: Estoques de carbono (percentil 75 obtido a partir do mapa de AGB do EBA para áreas antropizadas) por unidade de área (tC/ha) total e nos diferentes reservatórios (biomassa aérea – AGB, biomassa subterrânea – BGB, madeira morta em pé – DW e serapilheira) das fitofisionomias do bioma Amazônia. Os valores em parênteses representam os estoques mínimos e máximos de carbono. Todos os valores de estoques de carbono para os diferentes reservatórios têm como local de estudo o bioma Amazônia. * Indica as quatro fitofisionomias que ocorreram exclusivamente em áreas naturais. As linhas destacadas (em cinza) representam as fitofisionomias de maior representatividade no bioma, que juntas somam acima de 75%. Representação da fitofisionomia no bioma (%), local do estudo, referências e metodologia utilizada para cálculo biomassa/estoque. A classe água ocupa 2,49. F= Floresta; G= Campo; OFL= Outras Terras Florestadas. As linhas destacadas (em cinza) representam as fitofisionomias de maior representatividade no bioma que, juntas, somam 79,7%. Os valores de estoques de carbono aqui apresentados foram obtidos com o valor de percentil 75 da AGB do mapa EBA para áreas naturais. O somatório da porcentagem de cada fitofisionomia (% no bioma) é inferior a 100% em razão de categoria água, que foi desconsiderada. NA – não aplicável.

Tabela A.VII.3. Estoques de carbono das fitofisionomias do bioma Cerrado.

Sigla/Nome da fitofisionomia	UF	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo / Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
					(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
Aa/Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	valor único	0,05	F	Amazônia	117,29	Idem Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (Aa) da Amazônia	11,73	Idem Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (Aa) da Amazônia	9,50	Idem Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (Aa) da Amazônia	6,77	Idem Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (Aa) da Amazônia	145,3
Ab/Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	valor único	0,05	F	Amazônia	133,92	Idem Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas (Ab) da Amazônia	13,39	Idem Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas (Ab) da Amazônia	10,85	Idem Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas (Ab) da Amazônia	7,73	Idem Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas (Ab) da Amazônia	165,89
As/Floresta Ombrófila Aberta Submontana	valor único	0,21	F	Cerrado (TO)	71,1	Árvores: equação alométrica (Brown, 1997) aplicada a parcelas (98) desta fitofisionomia (6) e de Floresta Ombrófila Densa (1) (Haidar <i>et al.</i> , 2013). Fator de expansão de florestas não densas para sub- bosque (3,9%), lianas (2,1%) e palmeiras (8,6%) (Nogueira <i>et al.</i> 2008)	7,11	Fator de expansão de 0,10 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	5,76	Fator de expansão de 0,081 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	4,11	Fator de expansão de 0,059 para floresta não densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	88,08
Ca/Floresta Estacional Decidual Aluvial	valor único	0,06	F	Caatinga	88,36	Idem Floresta Estacional Decidual Aluvial (Ca) da Caatinga	21,27	Idem Floresta Estacional Decidual Aluvial (Ca) da Caatinga	9,75	Idem Floresta Estacional Decidual Aluvial (Ca) da Caatinga	2,08	Idem Floresta Estacional Decidual Aluvial (Ca) da Caatinga	121,46
Cb/Floresta Estacional Decidual das Terras Baixas	valor único	0,09	F	Pantanal	69,38	Idem Floresta Estacional Decidual das Terras Baixas (Cb) do Pantanal	16,65	Idem Floresta Estacional Decidual das Terras Baixas (Cb) do Pantanal	7,63	Idem Floresta Estacional Decidual das Terras Baixas (Cb) do Pantanal	11,21	Idem Floresta Estacional Decidual das Terras Baixas (Cb) do Pantanal	104,87
Cm/Floresta Estacional Decidual Montana	BA/GO /MG/PI	1,55	F	Caatinga	31,10	Idem Floresta Estacional Decidual Montana (Cm) da Caatinga	11,50	Idem Floresta Estacional Decidual Montana (Cm) da Caatinga	4,67	Idem Floresta Estacional Decidual Montana (Cm) da Caatinga	4,67	Idem Floresta Estacional Decidual Montana (Cm) da Caatinga	51,94
	MS/TO		F	Pantanal	84,38	Idem Floresta Estacional Decidual Montana (Cm) do Pantanal	20,25	Idem Floresta Estacional Decidual Montana (Cm) do Pantanal	9,28	Idem Floresta Estacional Decidual Montana (Cm) do Pantanal	13,63	Idem Floresta Estacional Decidual Montana (Cm) do Pantanal	127,54
Cs/Floresta Estacional Decidual Submontana	BA/GO /MA/M G/PI/ TO	4,04	F	Caatinga	41,4	Idem Floresta Estacional Decidual Submontana (Cs) da Caatinga	15,3	Idem Floresta Estacional Decidual Submontana (Cs) da Caatinga	6,21	Idem Floresta Estacional Decidual Submontana (Cs) da Caatinga	6,1	Idem Floresta Estacional Decidual Submontana (Cs) da Caatinga	69,01

Sigla/Nome da fitofisionomia	UF	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo / Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
					(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
	MS/MT /SP		F	Pantanal	84,38	Idem Floresta Estacional Decidual Submontana (Cs) do Pantanal	20,25	Idem Floresta Estacional Decidual Submontana (Cs) do Pantanal	9,28	Idem Floresta Estacional Decidual Submontana (Cs) do Pantanal	13,63	Idem Floresta Estacional Decidual Submontana (Cs) do Pantanal	127,54
Da/Floresta Ombrófila Densa Aluvial	valor único	0,04	F	Amazônia	90,51	Idem Floresta Ombrófila Densa Aluvial (Da) da Amazônia	28,06	Idem Floresta Ombrófila Densa Aluvial (Da) da Amazônia	8,51	Idem Floresta Ombrófila Densa Aluvial (Da) da Amazônia	3,63	Idem Floresta Ombrófila Densa Aluvial (Da) da Amazônia	130,71
Db/Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	valor único	0	F	Mata Atlântica	85,73	Idem Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (Db) da Mata Atlântica	45,38	Idem Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (Db) da Mata Atlântica (ver Tabela A.VII.2)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (Db) da Mata Atlântica (ver Tabela A.VII.2)	4,11	Idem Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (Db) da Mata Atlântica (ver Tabela A.VII.2)	138,2
Ds/Floresta Ombrófila Densa Submontana	valor único	0,06	F	Cerrado (TO)	81,99	Árvores: equação alométrica (Brown,1997) aplicada a parcelas (29) de Floresta Ombrófila Densa (Haidar <i>et al.</i> 2013). Fator de expansão de florestas densas para sub- bosque (4,3%), lianas (3,4%) e palmeiras (1,9%) (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	25,42	Fator de expansão de 0,31 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	7,71	Fator de expansão 0,094 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	3,29	Fator de expansão de 0,041 para floresta densa (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	118,41
Eg/Estepe Gramíneo-Lenhosa	valor único	0,01	G	Pampa	0,73	Idem Estepe Gramíneo-Lenhosa (Eg) do Pampa	0,77	Idem Estepe Gramíneo-Lenhosa (Eg) do Pampa	0	Idem Estepe Gramíneo-Lenhosa (Eg) do Pampa	3,63	Idem Estepe Gramíneo-Lenhosa (Eg) do Pampa	5,13
Fa/Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	MA/PA /TO	2,03	F	Amazônia	52,99	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa) da Amazônia	5,3	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa) da Amazônia	4,29	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa) da Amazônia	3,06	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa) da Amazônia	65,64
	BA/GO /MG/P I		F	Cerrado (MG)	56,89	Árvores: média de 30 áreas de "Floresta Semidecidual Ciliar Madura" em MG (Scolforo <i>et al.</i> , 2008b)	11,38	Fator de expansão de 0,20 para <i>Tropical Moist Deciduous Forest</i> com biomassa acima do solo < 125 ton/ha) (IPCC, 2006a)	6,26	Fator de expansão de 0,11 para <i>Tropical forest</i> (IPCC, 2003)	1,34	Fator de expansão de 0,024 para "mata mesófila ciliar" (Moreira-Burger; Delitti, 1999).	75,86

Sigla/Nome da fitofisionomia	UF	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo / Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
					(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
	PR/SP		F	Mata Atlântica	58,05	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa) da Mata Atlântica	13,66	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa) da Mata Atlântica	2,98	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa) da Mata Atlântica	5,24	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa) da Mata Atlântica	79,93
	MS/MT		F	Pantanal	121,92	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa) do Pantanal	29,26	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa) do Pantanal	13,41	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa) do Pantanal	2,87	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa) do Pantanal	167,46
Fb/Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas	MA/M T	0,05	F	Amazônia	65,98	Idem Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas (Fb) da Amazônia	6,60	Idem Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas (Fb) da Amazônia	5,34	Idem Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas (Fb) da Amazônia	3,81	Idem Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas (Fb) da Amazônia	81,73
	GO		F	Mata Atlântica	63,07	Idem Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas (Fb) da Mata Atlântica	14,84	Idem Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas (Fb) da Mata Atlântica	2,98	Idem Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas (Fb) da Mata Atlântica	3,03	Idem Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas (Fb) da Mata Atlântica	83,92
	PI		F	Mata Atlântica			33,4	Idem Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas (Fb) da Mata Atlântica					102,48
Fm/Floresta Estacional Semidecidual Montana	BA/PI	1,36	F	Mata Atlântica	50,48	Idem Floresta Estacional Semidecidual Montana (Fm) da Mata Atlântica	26,73	Idem Floresta Estacional Semidecidual Montana (Fm) da Mata Atlântica	2,98	Idem Floresta Estacional Semidecidual Montana (Fm) da Mata Atlântica	2,42	Idem Floresta Estacional Semidecidual Montana (Fm) da Mata Atlântica	82,61
	GO/M G/MS/ PR/SP /TO		F	Mata Atlântica			11,88	Idem Floresta Estacional Semidecidual Montana (Fm) da Mata Atlântica					67,76
Fs/Floresta Estacional Semidecidual Submontana	BA/MA /PI	2,9	F	Cerrado (PI, MA)	39,96	Árvores: equação alométrica (Brown, 1997) aplicada a parcelas (38) de Floresta Estacional Semidecidual (Haidar <i>et al.</i> , 2008; França <i>et al.</i> 2013)	7,99	Fator de expansão de 0,20 para floresta tropical úmida decídua (com biomassa acima do solo < 125 ton/ha) (IPCC, 2006a)	4,4	Fator de expansão de 0,11 para <i>Tropical Forest</i> (IPCC, 2003)	2,58	Fator de expansão de 0,066 para Floresta Estacional Semidecidual Montana (Amaro <i>et al.</i> , 2013)	54,93

Sigla/Nome da fitofisionomia	UF	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo / Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
					(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
	GO/MG/MS/MT/SP/TO		F	Mata Atlântica	62,23	Idem Floresta Estacional Semidecidual Submontana (Fs) da Mata Atlântica	14,64	Idem Floresta Estacional Semidecidual Submontana (Fs) da Mata Atlântica	2,98	Idem Floresta Estacional Semidecidual Submontana (Fs) da Mata Atlântica	3,63	Idem Floresta Estacional Semidecidual Submontana (Fs) da Mata Atlântica	83,48
Ma/Floresta Ombrófila Mista Aluvial	valor único	0	F	Mata Atlântica	64,25	Idem Floresta Ombrófila Mista Aluvial (Ma) da Mata Atlântica	15,12	Idem Floresta Ombrófila Mista Aluvial (Ma) da Mata Atlântica	2,98	Idem Floresta Ombrófila Mista Aluvial (Ma) da Mata Atlântica	3,08	Idem Floresta Ombrófila Mista Aluvial (Ma) da Mata Atlântica	85,43
MI/Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana	valor único	0,01	F	Mata Atlântica	78,82	Idem Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana (MI) da Mata Atlântica	18,54	Idem Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana (MI) da Mata Atlântica	2,98	Idem Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana (MI) da Mata Atlântica	3,78	Idem Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana (MI) da Mata Atlântica	104,12
Mm/Floresta Ombrófila Mista Montana	valor único	0,03	F	Mata Atlântica	60,11	Idem Floresta Ombrófila Mista Montana (Mm) da Mata Atlântica	14,15	Idem Floresta Ombrófila Mista Montana (Mm) da Mata Atlântica	2,98	Idem Floresta Ombrófila Mista Montana (Mm) da Mata Atlântica	2,88	Idem Floresta Ombrófila Mista Montana (Mm) da Mata Atlântica	80,12
ON/Contato Floresta Ombrófila/Floresta Estacional	valor médio	0,12	F	Amazônia Caatinga Cerrado Mata Atlântica e Pantanal	72,88	Média entre Floresta Ombrófila Aberta e a subclasse Floresta Estacional (média entre Decidual e Semidecidual, excluídas as formações aluviais)	15,48	Média entre Floresta Ombrófila Aberta e a subclasse Floresta Estacional (média entre Decidual e Semidecidual, excluídas as formações aluviais)	6,06	Média entre Floresta Ombrófila Aberta e a subclasse Floresta Estacional (média entre Decidual e Semidecidual, excluídas as formações aluviais)	7,77	Média entre Floresta Ombrófila Aberta e a subclasse Floresta Estacional (média entre Decidual e Semidecidual, excluídas as formações aluviais)	102,18
P/Formação Pioneira	valor médio	0,00	F	Amazônia	24,64	Média entre as Formações Pioneira com influência fluvio-marinha (mangue) (Pf) e Pioneira com Influência Marinha (restinga) (Pm)	9,12	Média entre as Formações Pioneira com influência fluvio-marinha (mangue) (Pf) e Pioneira com Influência Marinha (restinga) (Pm)	2,71	Média entre as Formações Pioneira com influência fluvio-marinha (mangue) (Pf) e Pioneira com Influência Marinha (restinga) (Pm)	0,04	Média entre as Formações Pioneira com influência fluvio-marinha (mangue) (Pf) e Pioneira com Influência Marinha (restinga) (Pm)	36,51
Pa/Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre	valor único	0,35	OFL	Cerrado	25,63	Árvores: equação alométrica (Brown, 1997) aplicada a duas veredas (Bahia <i>et al.</i> , 2009). Componente herbáceo: Valor dos componentes "forbs, graminoids, dead" em vereda (Fidelis <i>et al.</i> , 2013)	7,28	Fator de expansão de 0,22 de "Forestland" (Miranda <i>et al.</i> , 2014) aplicado ao componente arbóreo, somado ao valor fixo obtido sobre vegetação herbácea (Fidelis <i>et al.</i> , 2013)	2,29	Fator de expansão de 0,11 para <i>Tropical forest</i> (IPCC, 2003) aplicado ao componente arbóreo	1,0	Fator de expansão de 0,024 para mata mesófila ciliar (Moreira-Burger; Delitti, 1999) aplicado ao componente arbóreo. Fator de expansão de 0,11 para campo limpo	36,21

Sigla/Nome da fitofisionomia	UF	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo / Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
					(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
											(Ottmar <i>et al.</i> , 2001) aplicado ao estrato herbáceo		
Pf/Formação Pioneira com influência fluvio-marinha (mangue)	valor único	0,06	F	Amazônia	25,82	Idem Formação Pioneira com influência fluvio-marinha (mangue) (Pf) da Amazônia	9,55	Idem Formação Pioneira com influência fluvio-marinha (mangue) (Pf) da Amazônia	2,84	Idem Formação Pioneira com influência fluvio-marinha (mangue) (Pf) da Amazônia	0,04	Idem Formação Pioneira com influência fluvio-marinha (mangue) (Pf) da Amazônia	38,26
Pm/Formação Pioneira com Influência Marinha (restinga)	valor único	0,03	F	Amazônia	23,46	Idem Formação Pioneira com Influência Marinha (restinga) (Pm) da Amazônia	8,68	Idem Formação Pioneira com Influência Marinha (restinga) (Pm) da Amazônia	2,58	Idem Formação Pioneira com Influência Marinha (restinga) (Pm) da Amazônia	0,04	Idem Formação Pioneira com Influência Marinha (restinga) (Pm) da Amazônia	34,76
Rm/Refúgio Montano	valor único	0,09	OFL	Cerrado	4,17	Estrato herbáceo (gramíneas, dicotiledôneas e palmeiras) de sete áreas de campo limpo (DF, GO) (Ottmar <i>et al.</i> , 2001)	13,94	Fator de expansão de 3,34 para <i>Grasslands</i> (Miranda <i>et al.</i> , 2014).	0	Assumi-se o valor nulo para madeira morta, por ser uma fitofisionomia campestre. A madeira morta caída foi incorporada no componente serapilheira	0,44	Serapilheira e material lenhoso (diâmetro < 2,5 cm) de campo limpo (Ottmar <i>et al.</i> , 2001)	18,55
S/Savana	valor médio	1,28	F	Cerrado Pantanal	26,69	Média entre as formações Savana Arborizada (Sa) (média da ecorregião) e Savana Florestada (Sd)	16,94	Média entre as formações Savana Arborizada (Sa) (média da ecorregião) e Savana Florestada (Sd)	3,12	Média entre as formações Savana Arborizada (Sa) (média da ecorregião) e Savana Florestada (Sd)	4,88	Média entre as formações Savana Arborizada (Sa) (média da ecorregião) e Savana Florestada (Sd)	51,63
Sa/Savana Arborizada	valor médio	48,69	F	Cerrado	12,03	Árvores: interpolação com regressão de dados de biomassa 150 áreas no Cerrado (Roitman <i>et al.</i> , não publicado)	24,54	Fator de expansão de 2,04 obtido com a média de dez áreas (Abdala <i>et al.</i> , 1998; Castro; Kauffman, 1998; Castro-Neves, 2007; Lilienfein; Wickle, 2003; Miranda, 2012)	1,68	Fator de expansão de 0,14 obtido a partir da média de estimativas de biomassa arbórea (<i>trees with foliage</i>) e madeira morta em pé (<i>trees with foliage</i>) em 18 áreas (Ottmar <i>et al.</i> , 2001)	3,06	Fator de expansão de 0,26 obtido com estimativas de 18 áreas para compartimentos de serapilheira e de gramíneas e dicotiledôneas (Ottmar <i>et al.</i> , 2001)	41,31

Sigla/Nome da fitofisionomia	UF	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo / Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo / Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
					(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
Sd/Savana Florestada	PR/SP	8,53	F	Cerrado (SP)	46,14	Biomassa de árvores (dap $\geq$ 5 cm) de cerradão (SP) estimada por (Pinheiro, 2008)	10,15	Fator de expansão de 0,22 para <i>Forestlands</i> (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	5,08	Fator de expansão de 0,11 para <i>Tropical forest</i> (IPCC, 2003)	7,45	Fator de expansão de 0,165, obtido a partir de estimativas em cerradão (MG) (Morais <i>et al.</i> , 2013)	68,82
	BA/DF /GO/ MG		F	Cerrado (MG)	35,06	Árvores: Média de estimativas para cerradão em três áreas (Scolforo <i>et al.</i> , 2008b)	7,71	Fator de expansão de 0,22 para <i>Forestlands</i> (Miranda <i>et al.</i> , 2014).	3,86	Fator de expansão de 0,11 para <i>Tropical forest</i> (IPCC, 2003)	5,66	Fator de expansão de 0,165, obtido a partir de estimativas de cerradão (Morais <i>et al.</i> , 2013)	52,29
	MS/MT		F	Pantanal	69,2	Idem Savana Florestada (Sd) do Pantanal	15,22	Idem Savana Florestada (Sd) do Pantanal	7,61	Idem Savana Florestada (Sd) do Pantanal	11,17	Idem Savana Florestada (Sd) do Pantanal	103,21
	MA/PI /TO		F	Cerrado (TO)	33,29	Árvores: equação alométrica (Brown, 1997) aplicada a parcelas (64) de seis áreas de Cerradão em (Haidar <i>et al.</i> , 2013)	7,32	Fator de expansão de 0,22 para <i>Forestlands</i> (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	3,66	Fator de expansão de 0,11 para <i>Tropical forest</i> (IPCC, 2003)	5,38	Fator de expansão de 0,165, obtido a partir de estimativas em cerradão (MG) (Morais <i>et al.</i> , 2013)	49,64
Sg/Savana Gramíneo-lenhosa	valor único	4,97	G	Cerrado (GO, DF)	4,17	Estrato herbáceo (gramíneas e dicotiledôneas) e palmeiras para campo limpo (Ottmar <i>et al.</i> , 2001)	13,94	Fator de expansão de 3,34 para <i>Grasslands</i> (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	0	Valor nulo para madeira morta em pé de campo limpo (Ottmar <i>et al.</i> , 2001)	0,38	Média de serapilheira acumulada, material lenhoso em sete áreas de campo limpo (Ottmar <i>et al.</i> , 2001)	18,49
SM/Contato Savana/Floresta Ombrófila Mista	valor médio	0,1	F	Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal	44,16	Média entre Savana (S) e Floresta Ombrófila Mista (excluída a aluvial)	16,07	Média entre Savana (S) e Floresta Ombrófila Mista (excluída a aluvial)	3,21	Média entre Savana (S) e Floresta Ombrófila Mista (excluída a aluvial)	4,15	Média entre Savana (S) e Floresta Ombrófila Mista (excluída a aluvial)	67,57
SN/Contato Savana/Floresta Estacional	valor médio	5,64	F	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal	43,49	Média entre Savana (S) e Floresta Estacional (média entre formação Decidual e Semidecidual, excluídas as formações aluviais)	15,42	Média entre Savana (S) e Floresta Estacional (média entre formação Decidual e Semidecidual, excluídas as formações aluviais)	4,26	Média entre Savana (S) e Floresta Estacional (média entre formação Decidual e Semidecidual, excluídas as formações aluviais)	5,33	Média entre Savana (S) e Floresta Estacional (média entre formação Decidual e Semidecidual, excluídas as formações aluviais)	68,5
SO/Contato Savana/Floresta Ombrófila	valor médio	0,03	F	Amazônia, Cerrado e Pantanal	39,01	Média entre Savana (S) e Floresta Ombrófila Aberta (excluída a aluvial)	17,61	Média entre Savana (S) e Floresta Ombrófila Aberta (excluída a aluvial)	4,12	Média entre Savana (S) e Floresta Ombrófila Aberta (excluída a aluvial)	5,59	Média entre Savana (S) e Floresta Ombrófila Aberta (excluída a aluvial)	66,33

Sigla/Nome da fitofisionomia	UF	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo / Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total	
					(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)	
Sp/Savana Parque	valor único	15,58	OFL	Cerrado (GO, DF, MG)	3,81	Estrato herbáceo (gramíneas e dicotiledôneas) e palmeiras para campo sujo (Ottmar <i>et al.</i> , 2001)	12,72	Fator de expansão de 3,34 para <i>Grasslands</i> (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	0	Média material lenhoso grosso em sete áreas de campo sujo (Ottmar <i>et al.</i> , 2001).	1,25	Média de serapilheira acumulada, material lenhoso caído em sete áreas de campo sujo (Ottmar <i>et al.</i> 2001).	26,79	
			OFL	Cerrado (TO)	11	Árvores: equação alométrica (Delliti <i>et al.</i> , 2006) aplicada a parcelas (Haidar <i>et al.</i> 2013). Estrato herbáceo (gramíneas, dicotiledôneas) e palmeiras de cerrado ralo (Ottmar <i>et al.</i> , 2001)	22,44	Fator de expansão de 2,04 obtido com a média de estimativas em dez áreas (Abdala <i>et al.</i> , 1998; Castro; Kauffman, 1998; Castro-Neves, 2007; Lilienfein; Wickle, 2003; Miranda, 2012)	0,06	Média material lenhoso grosso em nove áreas de cerrado ralo (Ottmar <i>et al.</i> , 2001)	2,31	Média de serapilheira acumulada e material lenhoso caído em nove áreas de cerrado ralo (Ottmar <i>et al.</i> , 2001).		
ST/Contato Savana/Savana-Estépica	valor médio	0,24	F	Cerrado e Caatinga	18,64	Média entre Savana (S) e Savana-Estépica Arborizada (Sa)	13,26	Média entre formação Savana (S) e Savana-Estépica Arborizada (Sa)	3,21	Média entre Savana (S) e Savana-Estépica Arborizada (Sa)	4,34	Média entre Savana (S) e Savana-Estépica Arborizada (Sa)	36,11	
STN/Contato Savana/Savana-Estépica/Floresta Estacional	valor médio	0,15	F	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal	25,27	Média entre Savana (S), Floresta Estacional (média entre a formação Decidual e Semidecidual, excluídas as formações aluviais) e Savana- Estépica Arborizada (Ta)	15,5	Média entre Savana (S), Floresta Estacional (média entre a formação Decidual e Semidecidual, excluídas as formações aluviais) e Savana- Estépica Arborizada (Ta)	3,2	Média entre Savana (S), Floresta Estacional (média entre a formação Decidual e Semidecidual, excluídas as formações aluviais) e Savana- Estépica Arborizada (Ta)	4,44	Média entre Savana (S), Floresta Estacional (média entre a formação Decidual e Semidecidual, excluídas as formações aluviais) e Savana- Estépica Arborizada (Ta)	47,57	
T/Savana-Estépica	valor médio	0	F	Cerrado e Caatinga	17,8	Média entre Savana-Estépica Arborizada (Ta) e Savana- Estépica Florestada (Td)	7,7	Média entre Savana-Estépica Arborizada (Ta) e Savana-Estépica Florestada (Td)	2,97	Média entre Savana-Estépica Arborizada (Ta) e Savana- Estépica Florestada (Td)	2,33	Média entre Savana-Estépica Arborizada (Ta) e Savana-Estépica Florestada (Td)	30,8	
Ta/Savana Estépica Arborizada	valor único	0,49	F	Caatinga	9,6	Idem Savana Estépica Arborizada (Ta) da Caatinga	5,8	Idem Savana Estépica Arborizada (Ta) da Caatinga	1,25	Idem Savana Estépica Arborizada (Ta) da Caatinga	1,25	Idem Savana Estépica Arborizada (Ta) da Caatinga	17,9	
Td/Savana Estépica Florestada	valor único	0,14	F	Caatinga	26	Idem Savana Estépica Florestada (Td) da Caatinga	9,6	Idem Savana Estépica Florestada (Td) da Caatinga	4,68	Idem Savana Estépica Florestada (Td) da Caatinga	3,05	Idem Savana Estépica Florestada (Td) da Caatinga	43,33	
Tg/ Savana Estépica Gramíneo-lenhosa	valor único	0,02	G	Amazônia	3,93	Idem Savana Estépica Gramíneo-lenhosa (Tg) da Amazônia	13,12	Idem Savana Estépica Gramíneo-lenhosa (Tg) da Amazônia	0,11	Idem Savana Estépica Gramíneo-lenhosa (Tg) da Amazônia	0,33	Idem Savana Estépica Gramíneo-lenhosa (Tg) da Amazônia	17,49	

Sigla/Nome da fitofisionomia	UF	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo / Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo / Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira / Metodologia / referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
					(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
TN/Contato Savana-Estépica/Floresta Estacional	valor médio	0,79	F	Todos os biomas	30,03	Média entre a formação Savana-Estépica Arborizada (Ta) e Floresta Estacional (excluídas as aluviais)	10,28	Média entre Savana- Estépica Arborizada e Floresta Estacional	4,46	Média entre Savana-Estépica Arborizada e Floresta Estacional	4,15	Média entre Savana- Estépica Arborizada e Floresta Estacional	45,83
Tp/Savana Estépica Parque	valor único	0,16	OFL	Amazônia	5,95	Idem Savana Estépica Parque (Tp) da Amazônia	19,87	Idem Savana Estépica Parque (Tp) da Amazônia	0,1	Idem Savana Estépica Parque (Tp) da Amazônia	0,59	Idem Savana Estépica Parque (Tp) da Amazônia	26,51

Notas: Estoques de carbono por unidade de área (tC/ha) total e nos diferentes reservatórios (biomassa aérea – AGB, biomassa subterrânea – BGB, madeira morta em pé – DW e serapilheira) Representação da fitofisionomia no bioma (%), local do estudo, referências e metodologia utilizada para cálculo biomassa/estoque. A classe água, dunas e afloramento rochoso ocupam 0,9 do bioma. Para a subclasse de formação Savana, formação Savana Arborizada e zonas de contato (Contato Floresta Ombrófila/Floresta Estacional), Contato Savana/Floresta Estacional, Contato Savana/Floresta Ombrófila, Contato Savana/Floresta Ombrófila Mista, Contato Savana/Savana-Estépica, Contato Savana/Savana-Estépica/Floresta Estacional e Contato Savana-Estépica/Floresta Estacional) os valores variaram por polígono. Por essa razão, foram apresentadas as médias das estimativas. As linhas destacadas (em cinza) representam as fitofisionomias de maior representatividade no bioma, que juntas somam 77,7%. F= Floresta; GC = Campo/Pastagem; OFL= Outras Terras Florestadas). O somatório da porcentagem de cada fitofisionomia (% no bioma) é inferior a 100% em razão da categoria água, que foi desconsiderada. NA – não aplicável.

Tabela A.VII.4. Estoques de carbono das fitofisionomias do bioma Mata Atlântica.

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
Aa/Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial	0,07	F	Mata Atlântica	35,06	AGB (Silveira, 2009; Ferraz; Rodal, 2006; Gama <i>et al.</i> , 2007; equação alométrica; Brown, 1997). Fator de expansão 1,2 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida (APNE, NP)	7,19	Razão 0,205 para BAA <125 Mg ha ⁻¹ (Mokany <i>et al.</i> , 2006)	2,98	Média ponderada (Proceke de Deus, 2015; Sanqueta <i>et al.</i> , 2014; Silva, 2013; Cardoso <i>et al.</i> , 2012; Vieira <i>et al.</i> , 2011; Luccas, 2011)	1,86	Albuquerque (2015); APNE- UFPE/DEN; (Rede C-NE, NP)	47,09
Ab/Floresta Ombrófila Aberta – Terras Baixas	0,22	F	Mata Atlântica	35,06	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	7,19	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	1,86	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	47,09
Am/Floresta Ombrófila Aberta – Montana	0,01	F	Mata Atlântica	35,06	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	7,19	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	1,68	Razão Serapilheira (0,05): biomassa aérea (Albuquerque, 2015); APNE-UFPE/DEN; REDE C-NE, NP	46,91
As/Floresta Ombrófila Aberta – Submontana	0,51	F	Mata Atlântica	35,06	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	7,19	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	4,19	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	49,42
Ca/Floresta Estacional Decidual – Aluvial	0,14	F	Caatinga	88,6	Média dos valores de peso da matéria seca (Tabela 8.8; Scolforo <i>et al.</i> , 2008c)	21,3	Razão 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	9,8	Razão estoque madeira morta/estoque madeira viva (0,11) – tabela 3.2.2, IPCC (2003)	2,1	Razão de 0,024 (Moreira Burger; Delitti, 1999)	121,8
Cb/Floresta Estacional Decidual – Terras Baixas	0,01	F	Mata Atlântica	52,08	Média de parcelas (41) de floresta estacional decidual (APNE, NP)	10,68	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,5	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	68,24
Cm/Floresta Estacional Decidual – Montana	2,86	F	Mata Atlântica	58,14	Média das parcelas (24) desta fitofisionomia com 100% de cobertura vegetal do IFN, IFFSC.	11,92	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,79	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	75,83

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
IFMG e APNE (NP)												
Cs/Floresta Estacional Decidual –Submontana	3,22	F	Mata Atlântica	74,1	Brun, 2004	19,60	Brun, 2004	8,2	IPCC, 2003	4,6	Brun, 2004	106,5
D/Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Pluvial)	0	F	Mata Atlântica	63,17	Média das parcelas (256) de floresta ombrófila densa (APNE, NP)	14,84	Razão 0,235 para BAA <125 Mg ha ⁻¹ (Mokany <i>et al.</i> , 2006)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,03	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	84,02
Da/Floresta Ombrófila Densa – Aluvial	0,32	F	Mata Atlântica	127,1	Britez <i>et al.</i> , 2006	29,9	Mokany <i>et al.</i> , 2006	14	IPCC, 2003	2,9	Socher <i>et al.</i> , 2008	173,9
Db/Floresta Ombrófila Densa – Terras Baixas	2,32	F	Mata Atlântica	85,73	Média das parcelas (49) desta fitofisionomia com 100% de cobertura vegetal do IFN, IFFSC, IFMG e APNE (NP)	20,15	Idem Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	4,11	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	112,97
DI/Floresta Ombrófila Densa – Alto-Montana	0,16	F	Mata Atlântica	64,63	Média das parcelas (4) desta fitofisionomia com 100% de cobertura vegetal do IFN, IFFSC, IFMG e APNE (NP)	15,19	Idem Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,1	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	85,9
Dm/Floresta Ombrófila Densa – Montana	5,85	F	Mata Atlântica	140	Média de biomassa aérea em vegetação com estágio sucessional classificado como vegetação madura (Cunha <i>et al.</i> , 2009; Silva Neto, 2017; Stefani, 2017; Vieira <i>et al.</i> , 2011)	32,9	Idem Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	7,0	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	182,88
Ds/Floresta Ombrófila Densa – Submontana	8,34	F	Mata Atlântica	141,1	Média de biomassa aérea em vegetação com estágio sucessional classificado como vegetação madura (Ruthner, 2010; Silva Neto, 2017;	33,16	Idem Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,41	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	180,65

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
Stefani, 2017; Vieira <i>et al.</i> , 2011)												
E/Estepe	0,4	F	Mata Atlântica	0,8	Média das parcelas (3) desta fitofisionomia com 100% de cobertura vegetal do IFN, IFFSC, IFMG e APNE (NP)	0,16	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	0,04	Fator 0,05 (APNE, NP)	0,04	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	1,04
Eg/Estepe – Gramíneo-Lenhosa	3,99	G	Mata Atlântica	0,72	AGB (Fidelis <i>et al.</i> , 2006). Fator de expansão 1,2 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida (APNE, NP)	4,64	Paruelo <i>et al.</i> , 2010	0,78	Paruelo <i>et al.</i> , 2010	2,85	Paruelo <i>et al.</i> , 2010	8,99
EM/Contato Estepe/ Floresta Ombrófila Mista	1,18	F	Mata Atlântica	49,26	Média das parcelas (17) desta fitofisionomia com 100% de cobertura vegetal do IFN, IFFSC, IFMG e APNE (NP)	10,1	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,36	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	64,70
EN/Contato Estepe/Floresta Estacional	0,57	F	Mata Atlântica	52,17	Média das parcelas (153) destas fitofisionomias com 100% de cobertura vegetal do IFN, IFFSC, IFMG e APNE (NP)	10,69	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,50	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	68,34
F/Floresta Estacional Semidecidual	0	F	Mata Atlântica	57,86	Média das subclasses das fitofisionomias de floresta estacional Semidecidual	11,86	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,78	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	75,48
Fa/Floresta Estacional Semidecidual – Aluvial	1,59	F	Mata Atlântica	58,05	Scolforo <i>et al.</i> , 2008a. Fator de expansão 1,2 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida	11,90	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	5,24	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Aa)	78,17

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
					(APNE, NP)							
Fb/Floresta Estacional Semidecidual – Terras Baixas	1,07	F	Mata Atlântica	63,07	Idem Floresta Estacional Semidecidual – Aluvial (Fa)	14,82	Idem Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,03	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	83,90
Fm/Floresta Estacional Semidecidual – Montana	13,17	F	Mata Atlântica	75,10	Média de biomassa aérea em vegetação com estágio sucessional classificado como vegetação madura (Amaro <i>et al.</i> , 2013; Gaspar, 2014; Ribeiro <i>et al.</i> , 2009)	17,65	Idem Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,76	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	99,49
Fs/Floresta Estacional Semidecidual – Submontana	21,68	F	Mata Atlântica	96,50	Médias de biomassa aérea em vegetação com estágio sucessional classificado como vegetação madura (Diniz <i>et al.</i> , 2015; Ferez, 2010; Metzker <i>et al.</i> , 2011; Souza <i>et al.</i> , 2012; Tiepolo <i>et al.</i> , 2002)	22,68	Idem Floresta Ombrófila Densa (D))	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,63	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Aa)	125,79
L/Campinarana	0	F	Mata Atlântica	4,89	Média ponderada das parcelas (33) de fitofisionomias de estepe (E) e savana-estépica (T)	2,59	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	0,24	Fator 0,05 (APNE, NP)	0,23	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	7,95
La/Campinarana – arborizada	0	F	Mata Atlântica	8,88	Média de Ea (9,44) e Ta (7,99)	4,7	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	0,44	Fator 0,05 (APNE, NP)	0,43	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	14,45
Lg/Campinarana – Gramíneo-Lenhosa	0,07	G	Mata Atlântica	0,89	Média Eg (0,80) e Tg (0,99)	0,48	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	0,05	Fator 0,05 (APNE, NP)	0,05	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	1,47
M/Floresta Ombrófila Mista	0	F	Mata Atlântica	62,51	Média ponderada das subclasses da floresta ombrófila mista (IFN, APNE (NP)	12,81	Idem Floresta Ombrófila Densa (D))	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,00	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	81,3
Ma/Floresta Ombrófila Mista – Aluvial	0,11	F	Mata Atlântica	64,25	Média das parcelas (216) de floresta ombrófila mista (IFN, APNE NP)	15,10	Idem Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,08	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	85,41

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
MI/Floresta Ombrófila Mista – Alto-Montana	1,83	F	Mata Atlântica	78,82	Média das parcelas (50) desta fitofisionomia com 100% de cobertura vegetal do IFN, IFFSC, IFMG e APNE (NP)	18,52	Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,78	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	104,10
Mm/Floresta Ombrófila Mista – Montana	12,56	F	Mata Atlântica	108,3	Média de biomassa aérea em vegetação com estágio sucessionar classificado como vegetação madura (Alves <i>et al.</i> , 2010; Brites <i>et al.</i> , 2006; Vieira <i>et al.</i> , 2011; Watzlawick <i>et al.</i> , 2012)	25,45	Idem Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	5,42	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	142,15
Ms/Floresta Ombrófila Mista – Submontana	0,08	F	Mata Atlântica	108,0	Watzlawick <i>et al.</i> , 2012	19,00	Watzlawick <i>et al.</i> , 2012	11,9	IPCC, 2003	3,8	Watzlawick <i>et al.</i> , 2012	142,7
NM/Contato Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista	1,71	F	Mata Atlântica	58,28	Média ponderada das parcelas (368) da fitofisionomia floresta estacional e floresta ombrófila	11,95	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,80	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	76,01
NP/Contato Floresta Estacional/ Formações Pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga)	0	F	Mata Atlântica	57,95	Média ponderada das parcelas (146) das classes de fitofisionomias de formações pioneiras e floresta estacional	11,88	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,78	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	75,59
OM/Contato Floresta Ombrófila Densa /Floresta Ombrófila Mista	0,75	F	Mata Atlântica	62,89	Média ponderada das parcelas (472) de floresta ombrófila densa e floresta ombrófila mista	14,78	Idem Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,02	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	83,67
ON/Contato Floresta Ombrófila/Floresta Estacional	0,98	F	Mata Atlântica	59,13	Média ponderada das parcelas (378) classes de floresta ombrófila densa e floresta estacional	13,89	Idem Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,84	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	78,84

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
OP/Contato Floresta Ombrófila/ Formações Pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga)	0,05	F	Mata Atlântica	63,26	Média ponderada das parcelas (276) de fitofisionomias ombrófila densa e formação pioneira	14,87	Idem Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,04	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	84,15
P/Áreas das Formações Pioneiras	0,15	F	Mata Atlântica	79,15	Média ponderada das subclasses das formações pioneiras	18,6	Idem Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,80	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	104,53
Pa/Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre	1,37	OFL	Mata Atlântica	78,54	AGB (Britez <i>et al.</i> , 2006). Fator de expansão 1,2 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida (APNE, NP)	18,46	Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,77	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	103,75
Pf/Vegetação com influência fluviomarinha	0,31	F	Mata Atlântica	62,42	Média de parcelas (22) desta fitofisionomia (IFN, IFFSC, APNE dados não publicados). Fator de expansão 1,2 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida (APNE, NP)	14,67	Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,99	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	83,06
Pm/Vegetação com influência marinha (Restinga)	0,68	F	Mata Atlântica	79,71	AGB (Alves <i>et al.</i> 2010). Fator de expansão 1,2 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida (APNE, NP)	18,73	Idem Floresta Ombrófila Densa (D)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,28	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	104,70
RI/Refúgios Alto–Montanos	0,12	OFL	Mata Atlântica	3,34	AGB (Ottmar <i>et al.</i> , 2001). Fator de expansão 1,2 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida (APNE, NP)	5,34	Fator 1,6 (IPCC, 2006)	0,16	Fator 0,05 (APNE, NP)	0,16	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	9,00
Rm/Refúgios montanos	0,03	OFL	Mata Atlântica	4,28	Idem Refúgios Altos-Montanos (RI)	6,85	Fator 1,6 (IPCC, 2006)	0,21	Fator 0,05 (APNE, NP)	0,21	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	11,55

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
S/Savana	0,27	F	Mata Atlântica	26,69	ponderada das subclasses (Cerrado)	16,94	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	3,12	Fator 0,05 (APNE, NP)	4,88	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	51,63
Sa/Savana – arborizada	1,85	F	Cerrado	12,03	Idem Cerrado	24,54	Idem Cerrado	1,68	Idem Cerrado	3,06	Idem Cerrado	41,31
Sd/Savana – florestada	1,08	F	Mata Atlântica	69,2	Idem Cerrado	15,22	Idem Cerrado	7,61	Idem Cerrado	11,17	Idem Cerrado	103,2
Sg/Savana – Gramíneo-Lenhosa	1,39	G	Mata Atlântica	4,17	Idem Cerrado	13,94	Idem Cerrado	0,00	Idem Cerrado	0,38	Idem Cerrado	18,49
SM/Contato Savana/Floresta Ombrófila Mista	0,32	F	Mata Atlântica	44,16	Idem Cerrado	16,07	Idem Cerrado	3,21	Idem Cerrado	4,15	Idem Cerrado	67,59
SN/Contato Savana/Floresta Estacional	3,68	F	Mata Atlântica	43,49	Idem Cerrado	15,42	Idem Cerrado	4,26	Idem Cerrado	5,33	Idem Cerrado	68,50
SO/Contato Savana/Floresta Ombrófila	0,14	F	Mata Atlântica	39,01	Idem Cerrado	17,61	Idem Cerrado	4,12	Idem Cerrado	5,59	Idem Cerrado	66,33
SP/Contato Savana/Formações Pioneiras	0	F	Mata Atlântica	36,94	Idem Cerrado	7,57	Idem Cerrado	2,98	Idem Cerrado	1,78	Idem Cerrado	49,27
Sp/Savana – parque	1,15	OFL	Mata Atlântica	7,4	Idem Cerrado	17,58	Idem Cerrado	0,03	Idem Cerrado	1,78	Idem Cerrado	26,79
ST/Contato Savana/Formações pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga)	0,05	F	Mata Atlântica	18,64	Idem Cerrado	13,26	Idem Cerrado	3,21	Idem Cerrado	4,34	Idem Cerrado	36,11
T/Contato Savana/Savana-Estépica	0	F	Mata Atlântica	8,13	Média das fitofisionomias Ta	4,31	Média das fitofisionomias Ta	0,40	fitofisionomias Ta	0,39	Média das fitofisionomias Ta	13,23
Ta/Savana- Estépica arborizada	0,87	F	Caatinga	8,13	Idem Caatinga: Fator de expansão 1,2 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida (APNE, NP)	4,31	Usado fator de ajuste da Caatinga (0,54)	0,40	Usado fator de ajuste da Caatinga (0,05)	0,40	Usado fator de ajuste da Caatinga (0,05)	13,23

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
Td/Savana- Estépica – florestada	0,01	F	Caatinga	18,94	Idem. Fator de expansão 1,2 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida (APNE, NP)	10,03	Usado fator de ajuste da Caatinga (0,54)	0,93	Usado fator de ajuste da Caatinga (0,05)	0,9	Usado fator de ajuste da Caatinga (0,05)	30,81
Tg/Savana- Estépica – Gramíneo-Lenhosa	0	G	Mata Atlântica	1,03	AGB (Paruelo <i>et al.</i> , 2010). Fator de expansão 1,2 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida (APNE, NP)	2,88	Fator de 2,8 (IPCC, 2006)	0,15	Fator 0,15 (APNE, NP)	0,15	Razão Serapilheira (0,15):biomassa aérea (Albuquerque, 2015); APNE-UFPE/DEN; REDE C-NE, NP)	4,21
TN/Contato Savana- Estépica/Floresta Estacional	0,63	F	Mata Atlântica	55,88	Média das classes Savana- Estépica/Floresta Estacional	11,70	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,98	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Aluvial (Aa)	2,68	Idem Floresta Ombrófila Aberta – Montana (Am)	73,24

Notas: Estoques de carbono por unidade de área (tC/ha) total e nos diferentes reservatórios (biomassa aérea – AGB, biomassa subterrânea – BGB, madeira morta em pé – DW, e serapilheira). Representação da fitofisionomia no bioma (%), local do estudo, referências e metodologia utilizada para cálculo biomassa/estoque. A classe água ocupa 1,9% do bioma. F = Floresta; G = Campo; OFL = Outras Terras Florestadas; APNE = Associação Plantas do Nordeste; NP = dados não publicados; NE = Região Nordeste; OR = Outras regiões da Mata Atlântica. As linhas destacadas (em cinza) representam as fitofisionomias de maior representatividade no bioma, que juntas somam 77,7%. O somatório da porcentagem de cada fitofisionomia (% no bioma) é inferior a 100% em razão da categoria água, que foi desconsiderada. NA – não aplicável.

Tabela A.VII.5. Estoques de carbono das fitofisionomias do bioma Caatinga.

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
Aa/Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	0,004	F	Mata Atlântica, Cerrado, Amazônia	44,69	Valores Médios de AGB (Silveira, 2009; Ferraz; Rodal, 2006; Gama <i>et al.</i> , 2007) e equação alométrica (Brown, 1997). Fator de expansão de 1,3 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras	8,08	Razão Mokany <i>et al.</i> 2006 (compilação de vários estudos, citado no IPCC como fonte). Tab 2 para <i>Tropical / subtropical moist forest / plantation</i> (>125 ton/ha): 0,235	3,78	Razão (0,11) <i>dead wood stock/live – tropical forest</i> – tab. 3.2.2 IPCC (2003)	0,77	Razão (0,023) Socher <i>et al.</i> 2008 – floresta ombrófila mista aluvial	57,33

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
					formas de vida (APNE, NP)							
Ab/Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas	0,0002	F	Mata Atlântica, Cerrado, Amazônia	44,69	IDEM Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (Aa)	8,08	IDEM Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (Aa)	3,78	Razão (0,11) <i>dead wood stock/live – tropical forest – tab. 3.2.2 IPCC (2003)</i>	0,77	Razão (0,023) Socher <i>et al.</i> , 2008 – floresta ombrófila mista aluvial	57,33
Am/Floresta Ombrófila Aberta Montana	0,01	F	Mata Atlântica, Cerrado, Amazônia	44,69	IDEM Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (Aa)	8,08	IDEM Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (Aa)	3,78	Razão (0,11) <i>dead wood stock/live – tropical forest – tab. 3.2.2 IPCC (2003)</i>	0,77	Razão (0,023) Socher <i>et al.</i> , 2008 – floresta ombrófila mista aluvial	57,33
Ar/Afloramento Rochoso	0,0008	NA	Caatinga	NA	NA	NA	NA	0,00	0,00	0,00	NA	0,00
As/Floresta Ombrófila Aberta Submontana	0,33	F	Caatinga	76,38	IDEM Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (Aa)	28,26	Razão BS: biomassa aérea total (0,37) (APNE, NP)	11,46	Razão necromassa/biomassa aérea total (0,15) (APNE, NP)	11,21	Razão serapilheira: biomassa aérea total (0,15) (APNE, NP)	127,3
Ca/Floresta Estacional Decidual – Aluvial	0,008	F	Caatinga	88,62	Média dos valores de peso da matéria seca (Scolforo <i>et al.</i> , 2008c)	21,27	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com AGB superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	9,75	Razão estoque madeira morta/estoque madeira viva (0,11) – tab. 3.2.2, IPCC (2003).	2,08	Razão de 0,024 (Moreira-Burger; Delitti, 1999)	121,72
Cb/Floresta Estacional Decidual Terras Baixas	0,002	F	Caatinga	55,26	Peso da matéria seca (Scolforo <i>et al.</i> , 2008c). Fator de expansão de 1,3 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida (APNE, NP)	8,50	Razão BS: biomassa aérea arbórea (0,20) – IPCC (2006, tab. 4.4) – Biomassa aérea <125 t/ha – <i>Tropical moist deciduous forest</i>	4,68	Razão (0,11) <i>dead wood stock/live – tropical forest – tab. 3.2.2 IPCC (2003)</i>	6,86	Razão (0,165) Morais <i>et al.</i> , 2013 p/ Cerrado-MG (biomassa aérea 70,49)	75,30

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
Cm/Floresta Estacional Decidual Montana	1,03	F	Caatinga	31,10	Média a partir do Inventário Florestal de MG (Scolforo <i>et al.</i> , 2008c). Fator de expansão 1,3 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida	11,51	IDEM Floresta Ombrófila Aberta Submontana (As)	4,66	Razão necromassa: biomassa aérea total (0,15) (APNE, NP)	4,57	Razão serapilheira: biomassa aérea total (0,15) APNE, dados não publicados	51,84
Cs/Floresta Estacional Decidual Submontana	1,79	F	Caatinga	41,43	IDEM Floresta Estacional Decidual Montana (cm)	15,33	IDEM Floresta Ombrófila Aberta Submontana (As)	6,21	Razão necromassa: biomassa aérea total (0,15) (APNE, NP)	6,08	Razão serapilheira: biomassa aérea total (0,15) (APNE, NP)	69,05
Da/Floresta Ombrófila Densa Aluvial	0,02	F	Mata Atlântica	148,84	AGB (Britez <i>et al.</i> , 2006). Fator de expansão 1,3 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida	22,54	Raízes finas coletadas de 0-10cm de profundidade e raízes (estimada por equação)	10,9	Árvores mortas em pé ou até 45° de inclinação + necromassa caída ($\geq 7,5$ cm de diâmetro)	3,43	Serapilheira	185,70
Dm/Floresta Ombrófila Densa Montana	0,07	F	Mata Atlântica	148,84	IDEM Floresta Ombrófila Densa Aluvial (Da)	22,54	raízes finas coletadas de 0-10cm de profundidade e raízes (estimada por equação)	10,9	Árvores mortas em pé ou até 45° de inclinação + necromassa caída (≥ 7.5 cm de diâmetro)	3,43	Serapilheira	185,70
Dn/Dunas	0,08	-	Caatinga	NA	NA	NA	NA	0,00	0,00	0,00	NA	0,00
Ds/Floresta Ombrófila Densa Submontana	0,04	F	Mata Atlântica	148,84	IDEM Floresta Ombrófila Densa Aluvial (Da)	22,54	raízes finas coletadas de 0-10cm de profundidade e raízes (estimada por equação)	10,9	Árvores mortas em pé ou até 45° de inclinação + necromassa caída ($\geq 7,5$ cm de diâmetro)	3,43	Serapilheira	185,70
Fa/Floresta Estacional Semidecidual aluvial	0,32	F	Caatinga	73,96	AGB (Scolforo <i>et al.</i> , 2008c). Fator de expansão 1,3 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras	11,38	Razão BS: biomassa aérea (0.20) – Tabela 4.4 IPCC (2006) – Biomassa aérea	6,26	Razão (0,11) <i>dead wood stock/live – tropical forest</i> – tab. 3.2.2 IPCC (2003)	1,34	Razão (0,024) mata mesófila ciliar mata atlântica/SP – Moreira-Burger;	92,94

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total	
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)	
					formas de vida		<125 t/ha – <i>Tropical moist deciduous forest</i>				Delitti 1999		
Fb/Floresta Estacional Semidecidual de terras baixas	0,04	F	Caatinga	80,38	Matéria seca acima do solo (Scolforo <i>et al.</i> , 2008c). Fator de expansão 1,3 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida	14,84	Razão BS: biomassa aérea usado valor padrão IPCC (2006) Tabela 4.4 para Tropical Moist Deciduous Forest >125ton/ha: 0,24	6,80	Razão (0,11) <i>dead wood stock/live – tropical forest</i> – tab. 3.2.2 IPCC (2003)	3,99	Serapilheira (0,066) – Amaro <i>et al.</i> 2013 – Floresta Estacional Semidecidual Montana – MG	106,01	
Fm/Floresta Estacional Semidecidual Montana	0,82	F	Caatinga	59,33	IDEM Floresta Estacional Decidual Montana (Cm)	21,95	IDEM Floresta Ombrófila Aberta Submontana (As)	8,90	Razão necromassa: biomassa aérea total (0,15) (APNE, NP)	8,71	Serapilheira: Biomassa aérea total (0,15) APNE, dados não publicados	98,89	
Fs/Floresta Estacional Semidecidual Submontana	2,24	F	Caatinga	82,73	IDEM Floresta Estacional Decidual Montana (Cm)	30,61	IDEM Floresta Ombrófila Aberta Submontana (As)	12,41	Razão necromassa: biomassa aérea total (0,15) (APNE, NP)	12,15	Serapilheira: Biomassa aérea total (0,15) (APNE, NP)	137,89	
Pa/Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre	0,34	OFL	Caatinga	65,17	Média de 10 valores em planície de inundação (Pereira, 2013) – densidade e área basal; Brown, 1997 (equação alométrica)	10,03	Razão BS: biomassa aérea (0.20) – Tab. 4.4, IPCC (2006) – Biomassa aérea <125 t/ha – <i>Tropical moist deciduous forest</i>	5,51	Razão (0,11) <i>dead wood stock/live – tropical forest</i> – tab. 3.2.2 IPCC (2003)	1,18	Razão (0,024) mata mesófila ciliar mata atlântica/SP – Moreira-Burger; Delitti 1999	81,89	
Pf/Pioneiras com influência fluviomarinha (mangue)	0,27	F	Amazônia/ Guiana Francesa, Nordeste brasileiro e outros	123,08	Média a partir de Fromard <i>et al.</i> (1998). Fator de expansão 1,3 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida	37,75	Utilizada a equação de Hutchison <i>et al.</i> 2013	9,53	Percentual de 10% calculado a partir do trabalho de Fernandes (1997)	0,18	Ramos e Silva <i>et al.</i> 2007; Nordeste brasileiro	170,54	

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
Pm/Pioneiras com influênciaMarinha (restinga)	0,55	F	Mata Atlântica	101,61	AGB (Assis <i>et al.</i> , 2011). Fator de expansão 1,3 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida	21,89	Razão LULUCF 28% – <i>tropical dry forest</i> >20t/ha – tab. 4.4 IPCC, 2006	22,18	Veiga, 2010	1,41	Coefficiente k de Pires 0,92	147,09
Rm/Refúgio Montano	0,64	OFL	Cerrado – campo limpo	5,42	Ottmar <i>et al.</i> 2001	11,69	Razão BS: biomassa aérea (2.8) IPCC (2006, v.6, Tab. 6.1) – <i>Semi arid grasslands</i> – <i>tropical dry</i>	0	Compartimento inexistente para essa fitofisionomia	0,44	Ottmar <i>et al.</i> 2001 – serapilheira acumulada, material lenhoso fino e grosso (diâmetro < 2,5 cm) – campo limpo	17,55
Sa/Savana Arborizada	4,57	F	Cerrado	12,03	Idem Cerrado	24,54	Idem Cerrado	1,68	Idem Cerrado	3,06	Idem Cerrado	41,31
Sd/Savana Florestada	0,06	F	Caatinga	39,47	IDEM Floresta Estacional Decidual Montana (Cm)	14,60	IDEM Floresta Ombrófila Aberta Submontana (As)	5,92	Razão necromassa: biomassa aérea total (0,15) (APNE, NP)	5,79	Razão serapilheira: biomassa aérea total (0,15) (APNE, NP)	65,79
Sg/Savana Gramíneo- Lenhosa	0,29	G	Cerrado	5,42		13,94	Razão BS: biomassa aérea (3.34) Miranda <i>et al.</i> 2014 – <i>Grasslands</i>	0	Ottmar <i>et al.</i> 2001 – material lenhoso grosso (diâmetro 7,7 a 22,9 cm)	0,38	Ottmar <i>et al.</i> 2001 – serapilheira acumulada, material lenhoso fino e grosso (diâmetro < 2,5 cm) – campo limpo	19,74
SN/Contato Savana / Floresta	0,99	F	Contato Caatinga -cerrado	44,72	Média ponderada de acordo com o percentual de cobertura das fitofisionomias de savana e floresta	14,73	Média ponderada de acordo com o percentual de cobertura das fitofisionomias de savana e floresta da BS: Biomassa aérea total (0,37) (APNE, NP)	5,32	Média ponderada de acordo com o percentual de cobertura das fitofisionomias de savana e formações pioneiras	4,89	Média ponderada de acordo com o percentual de cobertura das fitofisionomias de savana e formações pioneiras	69,66
Sp/Savana Parque	0,92	OFL	Cerrado	4,95	Ottmar <i>et al.</i> 2001	12,72	Razão BS: biomassa aérea (3.34) Miranda <i>et al.</i> 2014 – <i>Grasslands</i>	0	Ottmar <i>et al.</i> 2001 – material lenhoso grosso (diâmetro 7,7 a 22,9 cm)	1,25	Ottmar <i>et al.</i> 2001 – serapilheira acumulada, material lenhoso fino e grosso (diâmetro < 7,7 cm) –	18,92

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
										campo sujo		
ST/Contato Savana / Formações pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga)	3,97	F	Contato Caatinga -cerrado	13,53	Média ponderada de acordo com o percentual de cobertura das fitofisionomias de savana e formações pioneiras	9,24	Média ponderada de acordo com o percentual de cobertura das fitofisionomias de savana e formações pioneiras da BS: Biomassa aérea total (0,37) (APNE, NP)	1,82	Média ponderada de acordo com o percentual de cobertura das fitofisionomias de savana e formações pioneiras	1,88	Média ponderada de acordo com o percentual de cobertura das fitofisionomias de savana e formações pioneiras	26,47
Ta/Savana Estépica Arborizada (caatinga aberta)	59,67	F	Caatinga	9,59	Média de AGB: Projeto PNUD/FAO para Região Nordeste (serapilheira, estrato herbáceo, outras formas de vida e regeneração arbórea); inventários e banco de dados dos PMFS da Caatinga (APNE); Albuquerque, 2015; Costa, 2017; Nascimento, 2015; Scolforo <i>et al.</i> , 2008c; Lima Junior, 2014. Fator de expansão 1,4 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida	5,85	Razão BS: biomassa aérea total (0,61) (APNE, NP)	1,25	Razão necromassa: biomassa aérea total (0,13) (APNE, NP)	1,60	Razão serapilheira: biomassa aérea total (0,12) (APNE, NP)	18,28
Td/Savana Estépica Florestada (caatinga densa)	6,89	F	Caatinga	25,99	Média de AGB: Projeto PNUD/FAO para Região Nordeste (serapilheira, estrato herbáceo, outras formas de vida e regeneração arbórea); inventários e banco de	9,62	IDEM Floresta Ombrófila Aberta Submontana (As)	4,68	Razão necromassa: biomassa aérea total (0,18) (APNE, NP)	3,05	Razão serapilheira: biomassa aérea total (0,18) (APNE, NP)	43,34

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
dados dos												
PMFS da Caatinga (APNE); Albuquerque, 2015; Costa, 2017; Nascimento, 2015; Scolforo <i>et al.</i> , 2008c; Lima Junior, 2014. Fator de expansão 1,2 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida												
Tg/Savana Estépica Gramíneo Lenhosa	0,26	G	Amazônia	1,53	Barbosa; Fearnside, 2005. Fator de expansão 1,3 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida) (APNE, NP)	3,32	Razão BS: biomassa aérea (2.8) IPCC (2006, v.6, Tabela 6.1) – Semi arid grasslands – tropical dry	0,03	Madeira morta em pé e caída	0,10	Folha, serapilheira, madeira caída e em pé – provavelmente <10 cm	4,98
TN/Contato Savana/Floresta Estacional	8,17	F	Caatinga	42,11	Média entre as fitofisionomias de savana e floresta estacional	13,10	Média ponderada de acordo com o percentual de cobertura das fitofisionomias de savana e floresta estacional da BS: Biomassa aérea total (0,37) (APNE, NP)	5,05	Média entre as fitofisionomias de Savana e Floresta Estacional	3,90	Média entre as fitofisionomias de Savana e Floresta Estacional	64,16
Tp/Savana Estépica Parque	5,59	OFL	Amazônia	3,35	Paruelo <i>et al.</i> , 2010. Fator de expansão 1,3 para os compartimentos: regeneração arbórea, herbáceas e outras formas de vida) (APNE, NP)	7,22	Razão BS: biomassa aérea (2.8) IPCC (2006, v.6, Tabela 6.1) – <i>Semi arid grasslands</i> – tropical dry	0,04	Madeira morta em pé e caída	0,25	Folha e serapilheira	10,87

Notas: Estoques de carbono por unidade de área (tC/ha) total e nos diferentes reservatórios (biomassa aérea – AGB, biomassa subterrânea – BGB, madeira morta em pé – DW, e serapilheira). *Valores mantidos do inventário da Terceira Comunicação Nacional. Representação da fitofisionomia no bioma (%), local do estudo, referências e metodologia utilizada para cálculo biomassa/estoque. A classe água ocupa 0,9% do bioma. F= Floresta; G= Campo; OFL= Outras Terras Florestadas; APNE= Associação Plantas do Nordeste; NP = dados não publicados. PMFS= Planos de Manejo Florestal Sustentável da Caatinga. As linhas destacadas (em cinza) representam as fitofisionomias de maior representatividade no bioma, que juntas somam 88,86%. O somatório da porcentagem de cada fitofisionomia (% no bioma) é inferior a 100% em razão da categoria água, que foi desconsiderada. NA – não aplicável.

Tabela A.VII.6. Estoques de carbono das fitofisionomias do bioma Pampa.

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)
Ca/Floresta Estacional Decidual – Aluvial	0,84	F	Pampa	98,7	Vogel <i>et al.</i> , 2015	23,69	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	10,86	Razão de 0,11 (IPCC 2003, cap. 3, tab. 3.2.2)	2,93	Média entre valores encontrados por Moreira-Burger; Delitti (1999) e Cardoso <i>et al.</i> (2012)	136,17
Cb/Floresta Estacional Decidual – Terras Baixas	0,33	F	Mata Atlântica	52,08	Idem Floresta Estacional Decidual – Terras Baixas (Cb) da Mata Atlântica (ver Tabela VII.A.3)	12,25	Idem Floresta Estacional Decidual – Terras Baixas (Cb) da Mata Atlântica	2,98	Idem Floresta Estacional Decidual – Terras Baixas (Cb) da Mata Atlântica	2,50	Idem Floresta Estacional Decidual – Terras Baixas (Cb) da Mata Atlântica	69,80
Cm/Floresta Estacional Decidual – Montana	0,006	F	Pampa	120,58	Valor médio entre dois estudos no Pampa (Brun, 2004; Balbinot <i>et al.</i> , 2017)	28,94	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4).	13,26	Valor médio entre dois estudos no Pampa (Brun, 2004; Balbinot <i>et al.</i> , 2017)	4,51	Brun, 2004	167,29
Cs/Floresta Estacional Decidual – Submontana	3,93	F	Pampa	120,58	Valor médio entre dois estudos no Pampa (Brun, 2004; Balbinot <i>et al.</i> 2017)	28,94	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	13,26	Razão de 0,11 (IPCC 2003, cap. 3, tab. 3.2.2)	4,38	Média entre valores encontrados por Vogel <i>et al.</i> (2013) e Brun (2004)	167,16
Da/Floresta	0.0003	F	Mata	64.625	Idem Floresta	15.21	Idem Floresta	2.98	Idem Floresta	3.10	Idem Floresta Ombrófila	85.91

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
Ombrófila Densa – Aluvial			Atlântica		Ombrófila Densa – Aluvial (Da) da Mata Atlântica (		Ombrófila Densa – Aluvial (Da) da Mata Atlântica		Ombrófila Densa – Aluvial (Da) da Mata Atlântica		Densa – Aluvial (Da) da Mata Atlântica	
Db/Floresta Ombrófila Densa – Terras Baixas	0,004	F	Mata Atlântica	85,728	Idem Floresta Ombrófila Densa – Terras Baixas (Db) da Mata Atlântica	20,17	Idem Floresta Ombrófila Densa – Terras Baixas (Db) da Mata Atlântica	2,98	Idem Floresta Ombrófila Densa – Terras Baixas (Db) da Mata Atlântica	4,11	Idem Floresta Ombrófila Densa – Terras Baixas (Db) da Mata Atlântica	112,98
Dm/Floresta Ombrófila Densa – Montana	0,0002	F	Pampa	114,38	Valor médio entre dois estudos no Pampa e que possuem uma diferença menor que 30% (Mass, 2015; Alves <i>et al.</i> , 2011)	28,97	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	12,53	Valor médio entre trabalhos de Vieira <i>et al.</i> (2011) e Luccas (2011)	3,53	Mass, 2015	159,41
Dn/Dunas	0,62	-	Pampa	NA	NA	NA	NA	0,00	0,00	0,00	NA	0,00
Ds/Floresta Ombrófila Densa – Submontana	0,03	F	Pampa	126,30	Valor médio entre dois estudos realizados no Pampa e que possuem uma diferença menor que 30% (Scaranello, 2015; Alves <i>et al.</i> , 2011)	30,31	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4).	13,89	Valor médio entre trabalhos de Vieira <i>et al.</i> (2011) e Scaranello (2015). Este último utilizou a razão 0,11 (IPCC, 2003, cap. 3, tab. 3.2.2)	3,87	Média entre valores encontrados por Cardoso <i>et al.</i> (2012) e Vieira <i>et al.</i> (2011)	174,38
E/Estepe	21,65	F	Pampa	1,03	Valor Tg: Classe dominante (89,8%) – Leidinger <i>et al.</i> , 2017; Mônaco <i>et al.</i> , 2017; Altensor <i>et al.</i> , 2005	4,74	Paruelo <i>et al.</i> , 2010	0,00	Não significativo para esse tipo de fitofisionomia	3,63	Paruelo <i>et al.</i> , 2010	9,40

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
Ea/Estepe Arborizada	6,27	F	Pampa	37,74	Gasparri <i>et al.</i> , 2008	10,58	Razão de 0,28 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 20 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	5,12	Razão de 0,14 (IPCC, 2003, cap. 3., tab. 3.2.2)	2,07	Gasparri <i>et al.</i> , 2008 e razão de 0,14 (IPCC, 2003, cap. 3, tab. 3.2.2)	55,51
Eg/Estepe Gramíneo Lenhosa	26,78	G	Pampa	0,73	Valor médio entre dois estudos realizados no Pampa e que possuem uma diferença menor que 30% (Trentin, 2015; Fidelis <i>et al.</i> , 2006)	0,77	Fidelis <i>et al.</i> , 2006	0,00	Não significativo para esse tipo de fitofisionomia	3,63	Paruelo <i>et al.</i> , 2010	5,13
Ep/Estepe Parque	3,96	G	Pampa	120,58	Valor de Cs: Classe dominante. Valor médio entre dois estudos realizados no Pampa (Brun, 2004; Balbinot <i>et al.</i> , 2017)	28,94	Valor de Cs: Classe dominante. Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	13,26	Razão de 0,11 (IPCC, 2003, cap. 3, Tabela 3.2.2)	4,38	Média entre valores encontrados por Vogel <i>et al.</i> (2013) e Brun (2004)	167,16
EM/Contato Estepe-Floresta Ombrófila Mista	0,14	F	Pampa	1,03	Valor Tg: Classe dominante (64%). Valor médio entre três estudos. (Leidinger <i>et al.</i> 2017; Mônaco <i>et al.</i> 2017; Altesor <i>et al.</i> 2005)	4,74	Paruelo <i>et al.</i> , 2010	0,00	Não significativo para esse tipo de fitofisionomia	3,63	Paruelo <i>et al.</i> , 2010	9,40

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)	Valor Eg: Classe dominante (31,06 %). Valor médio entre dois estudos realizados no Pampa e que possuem uma diferença menor que 30% (Trentin 2015; Fidelis <i>et al.</i> 2006)	(tC/ha)	Valor Eg: Classe dominante 3ª CN (31,06 %) (Fidelis <i>et al.</i> , 2006)	(tC/ha)	Não significativo para esse tipo de fitofisionomia	(tC/ha)	Paruelo <i>et al.</i> , 2010	(tC/ha)
EN/Contato Estepe-Floresta Estacional	4,98	F	Pampa	0,73		0,77		0,00		3,63		5,13
EP/Contato Estepe-Formações	3,11	F	Pampa	37,74	Valor Ea: classe dominante (33,97 %) (Gasparri <i>et al.</i> , 2008)	10,58	Valor Ea: classe dominante da 3ª CN (33,97 %). Razão de 0,28 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 20 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	5,12	Razão de 0,14 (IPCC, 2003, cap. 3, tab. 3.2.2)	2,07	Razão de 0,14 (IPCC, 2003, cap. 3, tab. 3.2.2)	55,51
Fa/Floresta Estacional Semidecidual – Aluvial	0,10	F	Mata Atlântica	58,04	Idem Floresta Estacional Semidecidual – Aluvial (Fa) da Mata Atlântica	13,66	Idem Floresta Estacional Semidecidual – Aluvial (Fa) da Mata Atlântica	2,98	Idem Floresta Estacional Semidecidual – Aluvial (Fa) da Mata Atlântica	5,24	Idem Floresta Estacional Semidecidual – Aluvial (Fa) da Mata Atlântica	79,92
Fb/Floresta Estacional Semidecidual – Terras Baixas	0,43	F	Pampa	62,65	Moreira-Burger; Delitti, 1999	15,04	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	6,89	Razão de 0,11 (IPCC, 2003, cap. 3, tab. 3.2.2)	1,47	Moreira-Burguer; Delitti (1999)	86,05
Fm/Floresta Estacional Semidecidual – Montana	0,08	F	Pampa	82,24	Amaro <i>et al.</i> , 2013	16,12	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha	3,06	Amaro <i>et al.</i> (2013)	5,35	Vogel <i>et al.</i> (2013)	106,76

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
							(IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)					
Fs/Floresta Estacional Semidecidual – Submontana	4,56	F	Pampa	78,82	Valor médio entre dois estudos realizados no Pampa e que possuem uma diferença menor que 30% (Souza <i>et al.</i> , 2012; Metzker <i>et al.</i> , 2011)	18,92	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	8,48	Razão de 0,11 (IPCC, 2003, cap. 3, tab. 3.2.2)	3,07	Vogel <i>et al.</i> (2013)	109,29
Ma – Floresta Ombrófila Mista – Aluvial	0,0008	F	Mata Atlântica	64,249	Idem Floresta Ombrófila Mista – Aluvial (Ma) da Mata Atlântica	15,12	Idem Floresta Ombrófila Mista – Aluvial (Ma) da Mata Atlântica	2,98	Idem Floresta Ombrófila Mista – Aluvial (Ma) da Mata Atlântica	3,08	Idem Floresta Ombrófila Mista – Aluvial (Ma) da Mata Atlântica	85,42
Ms/Floresta Ombrófila Mista – Submontana	0,006	F	Pampa	92,77	Valor médio entre dois estudos (Watzlawick <i>et al.</i> , 2012; Mognor <i>et al.</i> , 2013)	23,49	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	10,77	Razão de 0,11 (IPCC, 2003, cap. 3, Tabela 3.2.2)	3,68	Média entre valores encontrados por Watzlawick <i>et al.</i> (2012) e Mognon <i>et al.</i> (2013)	130,71
NM/Contato Floresta Estacional- Floresta Ombrófila Mista	0,03	F	Pampa	120,58	Valor de Cs. Classe dominante (30,03%). Valor médio entre dois estudos realizados no Pampa (Brun, 2004; Balbinot <i>et al.</i> , 2017)	28,94	Valor de Cs. Classe dominante (30,03%). Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	13,26	Valor de Cs. Classe dominante (30,03%). Razão de 0,11 (IPCC, 2003, cap. 3, tab. 3.2.2)	4,38	Média entre valores encontrados por Vogel <i>et al.</i> (2013) e Brun (2004)	167,16

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
NP/Contato Floresta Estacional- Formações Pioneiras com Influência Marinha (Restinga)	2,20	F	Pampa	1,04	Valor de Pa. Classe dominante (68,85%) (Cunha <i>et al.</i> , 2005)	10,15	Valor de Pa. Classe dominante (68,85%) (Cunha <i>et al.</i> , 2005)	0,00	Não significativo para esse tipo de fitofisionomia	1,59	Cunha <i>et al.</i> , 2005	12,77
OM/Contato Floresta Ombrófila Densa- Floresta Ombrófila Mista	0,002	F	Pampa	120,58	Valor de Cs. Classe dominante (79,06%). Valor médio entre dois estudos realizados no Pampa (Brun, 2004; Balbinot <i>et al.</i> , 2017)	28,94	Valor de Cs. Classe dominante (79,06%). Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	13,26	Valor de Cs. Classe dominante (79,06%). Razão de 0,11 (IPCC, 2003, cap. 3, tab. 3.2.2)	4,38	Média entre valores encontrados por Vogel <i>et al.</i> (2013) e Brun (2004)	167,16
OP/Contato Floresta Ombrófila- Formações Pioneiras com Influência Marinha (Restinga)	0,12	F	Pampa	1,04	Valor de Pf. Classe dominante (89,04%) (Cunha <i>et al.</i> , 2005)	10,15	Valor de Pf. Classe dominante (89,04%) (Cunha <i>et al.</i> , 2005)	0,00	Não significativo para esse tipo de fitofisionomia	1,59	Cunha <i>et al.</i> , 2005	12,77
P/Áreas das Formações Pioneiras	2,87	F	Pampa	1,03	Valor de Tg. Classe dominante (81%) (Leidinger <i>et al.</i> , 2017; Mônaco <i>et al.</i> , 2017; Altesor <i>et al.</i> , 2005)	4,74	Paruelo <i>et al.</i> , 2010	0,00	Não significativo para esse tipo de fitofisionomia	3,63	Paruelo <i>et al.</i> , 2010	9,40
Pa/Vegetação com Influência Fluvial e/ou Lacustre	5,75	OFL	Pampa	1,04	Cunha <i>et al.</i> (2005)	10,15	Cunha <i>et al.</i> (2005)	0,00	Não significativo para esse tipo de fitofisionomia	1,59	Cunha <i>et al.</i> (2005)	12,77
Pf/Vegetação com Influência Fluviomarinha	0,01	F	Pampa	1,04	Cunha <i>et al.</i> (2005)	10,15	Cunha <i>et al.</i> (2005)	0,00	Não significativo para esse tipo de fitofisionomia	1,59	Cunha <i>et al.</i> (2005)	12,77
Pm/Vegetação com Influência Marinha (Restinga)	0,80	F	Pampa	1,04	Cunha <i>et al.</i> (2005)	10,15	Cunha <i>et al.</i> (2005)	0,00	Não significativo para esse tipo de fitofisionomia	1,59	Cunha <i>et al.</i> (2005)	12,77

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono subterrâneo /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono madeira morta /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque carbono serapilheira /Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
T/Savana Estépica	0,006	F	Pampa	120,58	Valor médio entre dois estudos no Pampa (Brun, 2004; Balbinot <i>et al.</i> , 2017)	28,94	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	13,26	Razão de 0,11 (IPCC, 2003, cap. 3, tab. 3.2.2)	4,38	Média entre valores encontrados por Vogel <i>et al.</i> (2013) e Brun (2004)	167,16
Tg/Savana Estépica – Gramíneo-Lenhosa	0,89	G	Pampa	1,03	Valor médio entre três estudos (Leidinger <i>et al.</i> , 2017; Mônaco <i>et al.</i> , 2017; Altesor <i>et al.</i> , 2005)	4,74	Paruelo <i>et al.</i> , 2010	0,00	Não significativo para esse tipo de fitofisionomia	3,63	Paruelo <i>et al.</i> , 2010	9,40
Tp/Savana Estépica – Parque	0,11	OFL	Amazônia	5,95	Idem Savana Estépica – Parque (Tp) da Amazônia	19,87	Idem Savana Estépica – Parque (Tp) da Amazônia	0,10	Idem Savana Estépica – Parque (Tp) da Amazônia	0,59	Idem Savana Estépica – Parque (Tp) da Amazônia	26,51

Notas: Estoques de carbono por unidade de área (tC/ha) total e nos diferentes reservatórios (biomassa aérea, biomassa subterrânea, madeira morta em pé e serapilheira). Representação da fitofisionomia no bioma (%), local do estudo, referências e metodologia utilizada para cálculo biomassa/estoque. A classe água ocupa 9,40% do bioma. F= Floresta; G= Campo; OFL= Outras Terras Florestadas. As linhas destacadas (em cinza) representam as fitofisionomias de maior representatividade no bioma, que juntas somam 81%.). O somatório da porcentagem de cada fitofisionomia (% no bioma) é inferior a 100% em razão da categoria água, que foi desconsiderada. NA – não aplicável.

Tabela A.VII.7. Estoques de carbono das fitofisionomias do bioma Pantanal.

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo [Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque]		Estoque carbono subterrâneo [Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque]		Estoque carbono madeira morta[Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque]		Estoque carbono serapilheira[Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque]		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
Ca/Floresta Estacional Decidual – Aluvial	0,003	F	Caatinga	88,62	Média dos valores de peso da matéria seca (Tabela 8.8 – Scolforo <i>et al.</i> , 2008c)	21,27	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	9,75	Razão estoque madeira morta/estoque madeira viva (0,11) – tabela 3.2.2, IPCC (2003)	2,08	Razão de 0,024 (Moreira-Burger; Delitti, 1999)	121,72
Cb/Floresta Estacional Decidual – Terras Baixas	1,80	F	Pantanal	69,38	Equação de Brown (1997, equação 3.2.1) a partir dos valores médios de área basal e densidade de indivíduos apresentados por Lima <i>et al.</i> (2009)	16,65	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	7,63	Razão estoque madeira morta/estoque madeira viva (0,11) – tab. 3.2.2, IPCC (2003)	11,21	Razão de 0,165 – Cerradão (biomassa aérea 70,49) (Morais <i>et al.</i> , 2013)	104,87
Cs/Floresta Estacional Decidual – Submontana	0,80	F	Pantanal	84,38	Equação de Brown (1997, equação 3.2.1) a partir dos valores médios de área basal e densidade de indivíduos apresentados por Lima <i>et al.</i> (2009)	20,25	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	9,28	Razão estoque madeira morta/estoque madeira viva (0,11) – tabela 3.2.2, IPCC (2003)	13,63	Razão de 0,165 – Cerradão (biomassa aérea 70,49) (Morais <i>et al.</i> , 2013)	127,54
Fa/Floresta Estacional Semidecidual – Aluvial	6,06	F	Pantanal	121,92	Utilizado o valor de biomassa aérea em floresta ripária sazonalmente inundada no Pantanal (Wittmann <i>et al.</i> , 2008)	29,26	Razão de 0,24 para florestas tropicais úmidas decíduas com biomassa acima do solo superior a 125 t/ha (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	13,41	Razão estoque madeira morta/estoque madeira viva (0,11) – tab. 3.2.2, IPCC (2003)	2,87	Razão de 0,024 – Mata mesófila semidecídua ciliar (Moreira-Burger; Delitti, 1999)	167,46
Fb/Floresta Estacional Semidecidual – Terras Baixas	1,60	F	Amazônia	65,98	Idem Floresta Estacional Semidecidual – Terras Baixas (Fb) da Amazônia	6,60	Idem Floresta Estacional Semidecidual – Terras Baixas (Fb) da Amazônia	5,34	Idem Floresta Estacional Semidecidual – Terras Baixas (Fb) da Amazônia	3,81	Idem Floresta Estacional Semidecidual – Terras Baixas (Fb) da Amazônia	81,73

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo [Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque]		Estoque carbono subterrâneo [Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque]		Estoque carbono madeira morta[Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque]		Estoque carbono serapilheira[Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque]		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
Fs/Floresta Estacional Semidecidual – Submontana	0,02	F	Mata Atlântica	62,23	Idem Floresta Estacional Semidecidual (FS) da Mata Atlântica	14,64	Idem Floresta Estacional Semidecidual (FS) da Mata Atlântica	2,98	Idem Floresta Estacional Semidecidual (FS) da Mata Atlântica	3,63	Idem Floresta Estacional Semidecidual (FS) da Mata Atlântica	83,48
SN/Contato Savana/Floresta Estacional	0,09	F	Cerrado	12,03	Idem Savana arborizada (Sa)	24,53	Idem Savana arborizada (Sa)	1,68	Idem Savana arborizada (Sa)	3,06	Idem Savana arborizada (Sa)	41,31
TN/Contato Savana-Estépica/ Floresta Estacional	0,06	F	Pantanal	121,92	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa)	29,26	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa)	13,41	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa)	2,87	Idem Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa)	167,46
S/Savana	0,08	F	Cerrado	69,20	Idem Savana-florestada (Sd)	15,22	Idem Savana-florestada (Sd)	7,61	Idem Savana-florestada (Sd)	11,17	Idem Savana-florestada (Sd)	103,21
Sa/Savana – arborizada	19,55	F	Cerrado	12,03	Idem Savana Arborizada (Sa) do Cerrado	24,53	Idem Savana Arborizada (Sa) do Cerrado	1,68	Idem Savana Arborizada (Sa) do Cerrado	3,06	Idem Savana Arborizada (Sa) do Cerrado	41,31
Sd/Savana florestada	10,62	F	Pantanal	69,20	Biomassa acima do solo (Embrapa/Probio, 2002)	15,22	Razão biomassa subterrânea/ biomassa aérea (0,22) – Floresta (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	7,61	Razão estoque madeira morta/ estoque madeira viva (0,11) – tabela 3.2.2, IPCC (2003)	11,17	Razão de 0,165 – Cerradão (biomassa aérea 70.49) (Moraís <i>et al.</i> , 2013)	103,21
ST/Contato Savana/Savana-Estépica	1,11	F	Pantanal	59,82	Média dos quatro estágios sucessionais de Cambarazal no Pantanal (Schöngart <i>et al.</i> , 2011)	13,76	Razão biomassa subterrânea/ biomassa aérea (0,23) (Stape <i>et al.</i> , 2011)	6,58	Razão estoque madeira morta/estoque madeira viva (0,11) – tab. 3.2.2, IPCC (2003)	1,40	Razão de 0,024 (Moreira-Burger; Delitti, 1999)	81,56
T/Savana-Estépica	0,003	F	Pampa	120,58	Idem Savana-Estépica (T) do Pampa	28,94	Idem Savana-Estépica (T) do Pampa	13,26	Idem Savana-Estépica (T) do Pampa	4,38	Idem Savana-Estépica (T) do Pampa	167,16
Ta/Savana-Estépica – arborizada	2,89	F	Savanas Amazônicas	4,31	Barbosa; Fearnside, 2005	7,15	Razão biomassa subterrânea/ biomassa aérea (1,66) – Savana (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	0,22	Barbosa; Fearnside, 2005	0,28	Barbosa; Fearnside, 2005	11,96

Sigla/Nome da fitofisionomia	% no bioma	Categoria	Local de Estudo	Estoque carbono aéreo [Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque]		Estoque carbono subterrâneo [Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque]		Estoque carbono madeira morta [Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque]		Estoque carbono serapilheira [Metodologia/referência para cálculo biomassa/estoque]		Estoque Total
				(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		(tC/ha)		
Td/Savana-Estépica – florestada	2,43	F	Pantanal	66,43	Média dos três valores de biomassa aérea encontrados em Padilha (2011)	14,62	Razão biomassa subterrânea/ biomassa aérea (0,22) – Florestas (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	7,31	Razão estoque madeira morta/ estoque madeira viva (0,11) – tabela 3.2.2, IPCC (2003)	10,73	Razão de 0,165 – Cerradão (biomassa aérea 70,49) (Morais <i>et al.</i> , 2013)	99,09
Sg/Savana – Gramíneo-Lenhosa	14,93	G	Cerrado	4,17	Idem Savana – Gramíneo-Lenhosa (Sg) do Cerrado	13,94	Idem Savana – Gramíneo-Lenhosa (Sg) do Cerrado (	0,00	Idem Savana – Gramíneo-Lenhosa (Sg) do Cerrado	0,38	Idem Savana – Gramíneo-Lenhosa (Sg) do Cerrado	18,49
Tg/Savana Estépica – Gramíneo-Lenhosa	6,03	G	Amazônia	3,93	Idem Savana Estépica Gramíneo Lenhosa (Tg) da Amazônia	13,12	Idem Savana Estépica Gramíneo Lenhosa (Tg) da Amazônia	0,11	Idem Savana Estépica Gramíneo Lenhosa (Tg) da Amazônia	0,33	Idem Savana Estépica Gramíneo Lenhosa (Tg) da Amazônia	17,49
Sp/Savana – parque	26,66	OFL	Cerrado	7,40	Idem Savana Parque (Sp) do Cerrado	17,58	Idem Savana Parque (Sp) do Cerrado	0,03	Idem Savana Parque (Sp) do Cerrado	1,78	Idem Savana Parque (Sp) do Cerrado	26,79
Tp/Savana-Estépica – parque	3,36	OFL	Amazônia	5,95	Idem Savana Estépica (Tp) da Amazônia	19,87	Idem Savana Estépica (Tp) da Amazônia	0,10	Idem Savana Estépica (Tp) da Amazônia	0,59	Idem Savana Estépica (Tp) da Amazônia	26,51

Notas: Estoque de carbono por unidade de área (tC/ha) total e nos diferentes reservatórios (biomassa aérea, biomassa subterrânea, madeira morta em pé e serapilheira). Representação da fitofisionomia no bioma (%), local do estudo, referências e metodologia utilizada para cálculo biomassa/estoque. Para a fitofisionomia de Savana (S) utilizou-se como base o mesmo valor da Savana Florestada (Sd); para o Contato Savana/Floresta Estacional (SN) utilizou-se o valor de Sa – classe dominante (50,79%); para a Savana Estépica (T) foi utilizado o valor desta fitofisionomia no Pampa – classe dominante (80,18%); para o Contato Savana/Savana estépica (ST) utilizou-se como base a Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre (Pa) da 3ª CN – classe dominante (65,4%); e para o Contato Savana-Estépica/Floresta Estacional (TN) utilizou-se a Floresta Estacional Semidecidual – Aluvial (Fa), classe dominante (30,5%). A classe água ocupa 1,89% do bioma. F= Floresta; G= Campo; OFL= Outras Terras Florestadas. As linhas destacadas (em cinza) representam as fitofisionomias de maior representatividade no bioma, que juntas somam 84%. O somatório da porcentagem de cada fitofisionomia (% no bioma) é inferior a 100% em razão da categoria água, que foi desconsiderada. NA – não aplicável.

Tabela A.VII.8. Fatores secundários para cálculos das estimativas de emissões e remoções de carbono para todos os biomas brasileiros.

Sigla do fator	Parâmetro	Fator Amazônia Metodologia/Referência	Fator Caatinga Metodologia/Referência	Fator Cerrado Metodologia/Referência	Fator Mata Atlântica Metodologia/Referência	Fator Pampa Metodologia/Referência	Fator Pantanal Metodologia/Referência
CAp	Estoque de pastagem (tC/ha)	10	1,19	7,57	2,60	7,57	7,57
		Valor de estoque aéreo (Silva Neto <i>et al.</i> , 2012.). Fator de expansão para biomassa	Estoque biomassa aérea e subterrânea. Não houve separação entre pastagem degradada e não degradada. APNE/Rede C do Nordeste	Componentes: biomassa acima e abaixo do solo para Tropical – Moist & Wet (IPCC, 2006, tab. 6.4)	Coleta de todo estrato herbáceo em parcela de 1x1m. Albuquerque, 2015; APNE (NP)	IPCC, 2006 (v. 4, cap. 6, tab.6.4)	IPCC (2006, v. 4, cap. 6, tab. 6.4)

Sigla do fator	Parâmetro	Fator Amazônia Metodologia/Referência	Fator Caatinga Metodologia/Referência	Fator Cerrado Metodologia/Referência	Fator Mata Atlântica Metodologia/Referência	Fator Pampa Metodologia/Referência	Fator Pantanal Metodologia/Referência
		subterrânea de 1,6 (IPCC, 2006)	(NP)				
CApD	Estoque de pastagem degradada (tC/ha)	3,67		3,67			
		Valor de estoque (Silva Neto <i>et al.</i> , 2012). Fator de expansão para biomassa subterrânea de 1,6 (IPCC, 2006)		Biomassa acima do solo estimado em parcelas. Fator de expansão para biomassa subterrânea de 1,6 e fator de conversão para carbono de 0,47 para todos os compartimentos (Silva Neto <i>et al.</i> , 2012; IPCC, 2006, tab. 6.1)			
CAc Anual	Estoque de agricultura anual (tC/ha)	6,18 (valores espacializados por UF)	0,56 (valores espacializados por UF)	5,00 (valores espacializados por UF)	3,83 (valores espacializados por UF)	5,00 (valores espacializados por UF)	5,00 (valores espacializados por UF)
		Média ponderada entre os estoques de biomassa acima (Gris, 2006; Brasileiro <i>et al.</i> , 2015; Assis <i>et al.</i> , 2014; Alvarez <i>et al.</i> , 2006; Ohland <i>et al.</i> , 2005; Almeida Filho <i>et al.</i> , 1999) e abaixo do solo (Mazzilli <i>et al.</i> , 2014) de soja e milho	Estimativa do estoque de raízes em trincheira de 0,7x0,7x1m nos estados PE, CE e SE. Rede C NE	IPCC (2006, tab. 5.9)	Média ponderada para as estimativas de cana-de-açúcar, banana e outros cultivos	IPCC (2006, v. 4, cap. 5, tab. 5.9)	IPCC (2006, v. 4, cap. 5, tab. 5.9)
		11,37	24,80	21,00	23,52	21,00	21,00
CAc Per	Estoque de agricultura perene (tC/ha)	Média entre os estoques de biomassa acima e abaixo do solo em cultivos de café (Meireles <i>et al.</i> 2016; Silva <i>et al.</i> 2013; Coltri <i>et al.</i> 2011; Bragança <i>et al.</i> 2010; Hutchinson <i>et al.</i> 2007). Razão de 21,97% (Bragança <i>et al.</i> 2010) para os estudos que não possuíam componente subterrâneo	Estimativa de estoque aéreo com base em MMA (2018) estimativa do subterrâneo a partir do fator 0,61 (APNE, NP)	IPCC (2006, Tabela 5.1)	Média ponderada de estimativa própria e MMA, 2018. Utilizado BS:BA (0,54)	IPCC (2006, v. 4, cap. 5, tab. 5.1)	IPCC (2006, v. 4, cap. 5, tab. 5.1)
		0,91	1,37	2,60	1,31	2,60	2,60
ΔCGAc Per	Remoção de agricultura perene (tC/ha ano)	Média de valores em cultivos de café (Meireles <i>et al.</i> , 2016; Silva <i>et al.</i> , 2013; Coltri <i>et al.</i> , 2011; Bragança <i>et al.</i> , 2010; Hutchinson <i>et al.</i> 2007). O valor obtido foi dividido pela quantidade média de anos da primeira poda drástica (12,5 anos)	Estimativa do somatório biomassa aérea e subterrânea	IPCC (2006, tab. 5.1)	Estimativa a partir do MMA, 2018.	O valor foi gerado após a multiplicação do fator 2,6 por 6 anos (período de 2010 a 2016) e dividido por 2, uma vez que não há a informação de quando a colheita aconteceu (2,6 x 6 /2=7,8)	IPCC (2006, v. 4, cap. 5, tab. 5.1)
ΔCGAc		0	0	0	0	0	0

Sigla do fator	Parâmetro	Fator Amazônia Metodologia/Referência	Fator Caatinga Metodologia/Referência	Fator Cerrado Metodologia/Referência	Fator Mata Atlântica Metodologia/Referência	Fator Pampa Metodologia/Referência	Fator Pantanal Metodologia/Referência
Semiperene	Remoção de agricultura semiperene (tC/ha ano)	Considerado zero, uma vez que o balanço entre a biomassa que é incorporada na cultura e a rotatividade das colheitas é frequente, propiciando a não remoção do carbono	Todo o estoque é perdido anualmente por meio da colheita (MMA, 2018)	Dados obtidos a partir de um guia da Conab (2016, 2017). Componentes (folhas, palha e raízes) estimados a partir de dados secundários publicados por Chohfi (2004)	Não existe remoção pela agricultura semiperene	Não existe remoção pela agricultura semiperene	Conab, 2016; Chohfi <i>et al.</i> , 2004
ΔCGFM	Remoção de floresta primária (tC/ha ano)	0,48	0,10	0,2	0,32	0,32	0,20
		Média de valores (Philips <i>et al.</i> , 2009; Baker <i>et al.</i> , 2004). Acréscimo de 25,8% relativo ao incremento abaixo do solo (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	Dados de rede de parcelas permanentes monitoradas entre 2004 até 2015. APNE – Rede de Manejo Florestal da Caatinga (NP)	Correlação dos vórtices turbulentos (<i>eddy correlation</i>) em torre micrometeorológica em Savana Arborizada (Rocha <i>et al.</i> , 2002)	Mantido o valor do inventário da Terceira Comunicação Nacional	Média ponderada a partir do trabalho de Scaranello (2010) – mantido valor do inventário da Terceira Comunicação Nacional	Média entre os valores máximo e mínimo encontrados por Rocha <i>et al.</i> (2002)
ΔCLFSec	Percentual de estoque de floresta secundária remanescente em relação ao carbono inicial (%)	44	44	44	44	44	44
		Média de valores da Amazônia (Fearnside; Guimarães, 1996; Alves <i>et al.</i> , 1997), Mata Atlântica (Melo; Durigan, 2006) e Pantanal (Schöngart <i>et al.</i> , 2011)	Média de valores da Amazônia (Fearnside; Guimarães, 1996; Alves <i>et al.</i> , 1997), Mata Atlântica (Melo; Durigan, 2006) e Pantanal (Schöngart <i>et al.</i> , 2011)	Média de estimativas de percentual em floresta secundárias na Amazônia (2 a 18 anos) (Alves <i>et al.</i> , 1997), na Amazônia e Para (5 a 80 anos) (Fearnside; Guimarães, 1996), mata ciliar em regeneração (1,1 a 28 anos) em São Paulo (Melo; Durigan, 2006) e Cambrazal no Mato Grosso (Schöngart <i>et al.</i> , 2011)	Média de valores da Amazônia (Fearnside; Guimarães, 1996; Alves <i>et al.</i> , 1997), Mata Atlântica (Melo; Durigan, 2006) e Pantanal (Schöngart <i>et al.</i> , 2011)	Média de valores da Amazônia (Fearnside; Guimarães, 1996; Alves <i>et al.</i> , 1997), Mata Atlântica (Melo; Durigan, 2006) e Pantanal (Schöngart <i>et al.</i> , 2011)	Média de valores da Amazônia (Fearnside; Guimarães, 1996; Alves <i>et al.</i> , 1997), Mata Atlântica (Melo; Durigan, 2006) e Pantanal (Schöngart <i>et al.</i> , 2011)
ΔCGFSecI	Remoção de floresta secundária com histórico de floresta (tC/ha ano)	4,97	1,03	1,72	1,66	1,76	2,77
		Média de valores encontrados por Alves <i>et al.</i> 1997 e Wandelli; Fearnside 2015 (3,94 tC/ha). Acréscimo de 25,8% relativo ao incremento abaixo do solo (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	Leal Junior <i>et al.</i> , 1999; Araújo; Arcaño-Silva, 2010 e Pareyn <i>et al.</i> , 2010; Riegelhaupt <i>et al.</i> , 2010; Sampaio <i>et al.</i> , 1998, Zákia <i>et al.</i> , 1991; Pareyn <i>et al.</i> , 2015; Lima <i>et al.</i> , 2009; Sampaio; Costa, 2011; Costa, 2013; Rocha <i>et al.</i> , 2002; Goedert <i>et al.</i> , 1980; Mello, 1999; Jesus; Garcia, 1992; Mews <i>et al.</i> , 2011; Aquino <i>et al.</i> , 2007; Silva Neto <i>et al.</i> , 2017; Roitman <i>et al.</i> , 2007; Felfili <i>et al.</i> , 2000; Figueredo <i>et al.</i> , 2010; Gomes <i>et al.</i> , 2004	Foi considerado o valor de biomassa acima do solo para vegetação secundária florestal (Cerradão em SP) de 1,41 tC/ha por ano (média entre 2 a 4 t/ha/ano) (Durigan, 2004), considerando fator de conversão para carbono de 0,47 (0,94 a 1,88 tC/ha/ano). Fator de expansão para biomassa subterrânea de 0,22 para florestas (Miranda <i>et al.</i> , 2014)	Estoque biomassa aérea e radicular	1,40 tC/ha para incremento anual de biomassa acima do solo. Acréscimo de 26% relativo ao incremento abaixo do solo (Brun <i>et al.</i> , 2004)	2,25 tC/ha para incremento anual de biomassa acima do solo (Schöngart <i>et al.</i> , 2011). Acréscimo de 23% relativo ao incremento abaixo do solo (Stape <i>et al.</i> , 2011)
ΔCGFSec2	Remoção de floresta	3,03	0,64	2,85	1,66	2,85	2,85
		Média de valores encontrados por Wandelli; Fearnside 2015 e Feldpausch <i>et al.</i> 2007 (2,40	Regeneração após pastagem. Considera	Média entre pastagens abandonadas entre 1 a 5 anos	Estoque biomassa aérea e radicular	2,37 tC/ha para incremento anual de biomassa acima	2,37 tC/ha para incremento anual de biomassa acima do solo

Sigla do fator	Parâmetro	Fator Amazônia Metodologia/Referência	Fator Caatinga Metodologia/Referência	Fator Cerrado Metodologia/Referência	Fator Mata Atlântica Metodologia/Referência	Fator Pampa Metodologia/Referência	Fator Pantanal Metodologia/Referência
	secundária com histórico de pastagem (tC/ha ano)	tC/ha). Acréscimo de 25,8% relativo ao incremento abaixo do solo (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	biomassa aérea e subterrânea. APNE (NP)	e 6 a 10 anos na Amazônia (Feldpausch <i>et al.</i> , 2007). Fator de expansão para biomassa subterrânea de 9,20 (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)		do solo (média de dois valores) (Feldpausch <i>et al.</i> , 2007). Acréscimo de 20% relativo ao incremento abaixo do solo (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	(média de dois valores) (Feldpausch <i>et al.</i> , 2007). Acréscimo de 20% relativo ao incremento abaixo do solo (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)
		5,22	0,66	4,73	1,66	4,73	4,73
ΔCGFSec3	Remoção de floresta secundária com histórico de agricultura (tC/ha ano)	Média de valores encontrados por Wandelli; Fearnside, 2015; Alves <i>et al.</i> , 1997; Fearnside; Guimarães, 1996 (4,15 tC/ha). Acréscimo de 25,8% relativo ao incremento abaixo do solo (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	Regeneração após agricultura. Considera biomassa aérea e subterrânea. APNE (NP)	Dados de biomassa de árvores (DAP ≥ 5cm) de 130 parcelas (10 x 10 m) em Roraima (Alves <i>et al.</i> , 1997)	Estoque biomassa aérea e radicular	3,94 tC/ha para o incremento anual da biomassa acima do solo (média de cinco valores) (Alves <i>et al.</i> , 1997). Acréscimo de 20% relativo ao incremento abaixo do solo (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	3,94 tC/ha para o incremento anual da biomassa acima do solo (média de cinco valores) (Alves <i>et al.</i> , 1997). Acréscimo de 20% relativo ao incremento abaixo do solo (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)
		0,62	0,59	0,59	1,66	0,59	0,59
ΔCGFSec4	Remoção de floresta secundária com outros históricos (tC/ha ano)	Calculado em uma área com idade de 9 anos que passou por restauração com plantio florestal e adição de solos após mineração a céu aberto (Salomão <i>et al.</i> , 2007), com aplicação da equação de Brown (1997) equação 3.2.4. Acréscimo de 25,8% relativo ao incremento abaixo do solo (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	Calculado em uma área com idade de 9 anos que passou por restauração com plantio florestal e adição de solos após mineração a céu aberto (Salomão <i>et al.</i> , 2007), com aplicação da equação de Brown (1997) equação 3.2.4. Acréscimo de 25,8% relativo ao incremento abaixo do solo (Nogueira <i>et al.</i> , 2008)	Estimativa a partir de uma área após 9 anos plantio florestal de restauração e adição de solos após mineração a céu aberto (Salomão <i>et al.</i> , 2007), com aplicação da equação de Brown (1997, equação 3.2.4) para estimativa de biomassa acima do solo, dividindo pelo número de anos da restauração florestal. Acréscimo de 20% referente à razão para biomassa abaixo do solo (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	Estoque biomassa aérea e radicular	Calculado em uma área com idade de 9 anos que passou por restauração com plantio florestal e adição de solos após mineração a céu aberto (Salomão <i>et al.</i> , 2007), com aplicação da equação de Brown (1997) equação 3.2.4. Acréscimo de 20% relativo ao incremento abaixo do solo (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)	Calculado em uma área com idade de 9 anos que passou por restauração com plantio florestal e adição de solos após mineração a céu aberto (Salomão <i>et al.</i> , 2007), com aplicação da equação de Brown (1997) equação 3.2.4. Acréscimo de 20% relativo ao incremento abaixo do solo (IPCC, 2006, v. 4, cap. 4, tab. 4.4)
ΔCLCS e ΔCGCS	Perda e ganho de carbono em área florestal submetida a corte seletivo	Tabela A.VII.15			NA		
		Tabela A.VII.16	Tabela A.VII.16	Tabela A.VII.16	Tabela A.VII.16	Tabela A.VII.16	Tabela A.VII.16
CRef	Estoque carbono médio em reflorestamento (tC/ha)	Valores médios de todas as UFs (Tabela A.VII.13), obtidos pela multiplicação dos valores de incremento anual médio de carbono e do estoque de carbono médio de cada cultura pela fração de área da cultura em cada UF	Valores médios de todas as UFs (Tabela A.VII.13), obtidos pela multiplicação dos valores de incremento anual médio de carbono e do estoque de carbono médio de cada cultura pela fração de área da cultura em cada UF	Valores médios de todas as UFs (Tabela A.VII.13), obtidos pela multiplicação dos valores de incremento anual médio de carbono e do estoque de carbono médio de cada cultura pela fração de área da cultura em cada UF	Valores médios de todas as UFs, obtidos pela multiplicação dos valores de incremento anual médio de carbono e do estoque de carbono médio de cada cultura pela fração de área da cultura em cada UF	Valores médios de todas as UFs (Tabela A.VII.13), obtidos pela multiplicação dos valores de incremento anual médio de carbono e do estoque de carbono médio de cada cultura pela fração de área da cultura em cada UF	Valores médios de todas as UFs (Tabela A.VII.13), obtidos pela multiplicação dos valores de incremento anual médio de carbono e do estoque de carbono médio de cada cultura pela fração de área da cultura em cada UF

Sigla do fator	Parâmetro	Fator Amazônia Metodologia/Referência	Fator Caatinga Metodologia/Referência	Fator Cerrado Metodologia/Referência	Fator Mata Atlântica Metodologia/Referência	Fator Pampa Metodologia/Referência	Fator Pantanal Metodologia/Referência
			de área da cultura em cada UF			fração de área da cultura em cada UF	
ΔCGR _{ref}	Remoção anual de carbono em reflorestamento (tC/ha ano ⁻¹)	Tabela A.VII.16	Tabela A.VII.16	Tabela A.VII.16	Tabela A.VII.16	Tabela A.VII.16	Tabela A.VII.16
		Valores médios de todas as UFs (Tabela A.VII.13), obtidos pela multiplicação dos valores de incremento anual médio de carbono e do estoque de carbono médio de cada cultura pela fração de área da cultura em cada UF	Valores médios de todas as UFs (Tabela A.VII.13), obtidos pela multiplicação dos valores de incremento anual médio de carbono e do estoque de carbono médio de cada cultura pela fração de área da cultura em cada UF	Valores médios de todas as UFs (Tabela A.VII.13), obtidos pela multiplicação dos valores de incremento anual médio de carbono e do estoque de carbono médio de cada cultura pela fração de área da cultura em cada UF	Valores médios de todas as UFs (Tabela A.VII.13), obtidos pela multiplicação dos valores de incremento anual médio de carbono e do estoque de carbono médio de cada cultura pela fração de área da cultura em cada UF	Valores médios de todas as UFs (Tabela A.VII.13), obtidos pela multiplicação dos valores de incremento anual médio de carbono e do estoque de carbono médio de cada cultura pela fração de área da cultura em cada UF	Valores médios de todas as UFs (Tabela A.VII.13), obtidos pela multiplicação dos valores de incremento anual médio de carbono e do estoque de carbono médio de cada cultura pela fração de área da cultura em cada UF
ΔCGGM	Remoção de campo primário (tC/ha ano)	0,44	0,10	0,44	0,44	0,44	0,44
		Estimativa realizada em área protegida no Parque Nacional das Emas para os componentes biomassa viva de gramíneas, arbóreas e biomassa seca (Cianciaruso <i>et al.</i> , 2010)	Dados de parcelas permanentes da Rede de Manejo da Caatinga (APNE, NP)	Estimativa realizada em área protegida no Parque Nacional das Emas para os componentes biomassa viva de gramíneas, arbóreas e biomassa seca (Cianciaruso <i>et al.</i> , 2010)	Mantido o valor do inventário apresentado no inventário da Terceira Comunicação	Estimativa realizada em área protegida no Parque Nacional das Emas para os componentes biomassa viva de gramíneas, arbóreas e biomassa seca (Cianciaruso <i>et al.</i> , 2010)	Estimativa realizada em área protegida no Parque Nacional das Emas para os componentes biomassa viva de gramíneas, arbóreas e biomassa seca (Cianciaruso <i>et al.</i> , 2010)
ΔCGGSec	Remoção de campo secundário (tC/ha ano)	1,70	0,60	1,70	0,60	1,70	1,70
		Estimativa realizada em área protegida no Parque Nacional das Emas para os componentes biomassa viva de gramíneas, arbóreas e biomassa seca (Cianciaruso <i>et al.</i> , 2010)	Foram utilizados dados dos Planos de Manejo Florestal Sustentável, APNE (NP); Zákia <i>et al.</i> , 1999	Estimativa realizada em área protegida no Parque Nacional das Emas para os componentes biomassa viva de gramíneas, arbóreas e biomassa seca (Cianciaruso <i>et al.</i> , 2010)	20 parcelas de 40 x 40m, DAP > 2 cm. Estoque biomassa aérea e radicular (Zákia <i>et al.</i> , 1991)	Estimativa realizada em área protegida no Parque Nacional das Emas para os componentes biomassa viva de gramíneas, arbóreas e biomassa seca (Cianciaruso <i>et al.</i> , 2010)	Estimativa realizada em área protegida no Parque Nacional das Emas para os componentes biomassa viva de gramíneas, arbóreas e biomassa seca (Cianciaruso <i>et al.</i> , 2010)
ΔCLGSec	Percentual de estoque de campo secundária remanescente em relação ao carbono inicial (%)	44	44	44	44	44	44
		Média de valores da Amazônia (Fearnside; Guimarães, 1996; Alves <i>et al.</i> , 1997), Mata Atlântica (Melo; Durigan, 2006) e Pantanal (Schöngart <i>et al.</i> , 2011)	Média de valores da Amazônia (Fearnside; Guimarães, 1996; ALVES <i>et al.</i> , 1997), Mata Atlântica (Melo; Durigan, 2006) e Pantanal (Schöngart <i>et al.</i> , 2011)	Média de valores da Amazônia (Alves <i>et al.</i> , 1997; Fearnside; Guimarães, 1996), Mata Atlântica (Melo; Durigan, 2006) e Cambrazal no Mato Grosso (Schöngart <i>et al.</i> , 2011)	Média de valores da Amazônia (Fearnside; Guimarães, 1996; Alves <i>et al.</i> , 1997), Mata Atlântica (Melo; Durigan, 2006) e Pantanal (Schöngart <i>et al.</i> , 2011)	Média de valores da Amazônia (Fearnside; Guimarães, 1996; Alves <i>et al.</i> , 1997), Mata Atlântica (Melo; Durigan, 2006) e Pantanal (Schöngart <i>et al.</i> , 2011)	Média de valores da Amazônia (Fearnside; Guimarães, 1996; Alves <i>et al.</i> , 1997), Mata Atlântica (Melo; Durigan, 2006) e Pantanal (Schöngart <i>et al.</i> , 2011)
CO	Estoque de C de outros usos (tC/ha)	0	0	0	0	0	0

Sigla do fator	Parâmetro	Fator Amazônia Metodologia/Referência	Fator Caatinga Metodologia/Referência	Fator Cerrado Metodologia/Referência	Fator Mata Atlântica Metodologia/Referência	Fator Pampa Metodologia/Referência	Fator Pantanal Metodologia/Referência
CRes	Estoque de C de reservatórios (tC/ha)	0	0	0	0	0	0

Nota: NA – não aplicável.

Tabela A.VII.9. Matriz de conversão de uso e cobertura da terra do Brasil de 1994 a 2002.

Conversões do BRASIL: 1994 - 2002 (ha)																																
Bioma	Floresta						Campo e Pastagem										Agricultura				Assenta-mento		Áreas alagadas		Outras Terras						Total em 1994 ↓	% do Brasil
	FNM	FM	FSEC	REF	CS		OFLNM	OFLM	OFLSec	GNM	GM	GSEC	AP	APD	AC	PER	CANA	S	A	RES			DnNM	DnM	ArNM	ArM	Min	SE	NO			
Floresta	FNM	389.397.616,3	55.997.294,0	872.477,6	205.357,0	238.862,7	-	-	-	-	-	-	27.230.764,2	-	2.761.972,4	-	-	127.267,4	26.435,9	366.453,1	-	-	-	-	-	19.485,4	594,0	212.969,2	477.457.549,1	54,6		
	FM	-	103.727.090,0	26.998,0	3.438,2	23.623,5	-	-	-	-	-	-	453.964,9	-	51.069,1	-	-	7.259,1	657,0	465,7	-	-	-	-	-	4.558,3	420,8	4.047,5	104.303.592,0	11,9		
	FSEC	-	-	796.078,0	634,8	-	-	-	-	-	-	-	636.868,2	-	4.382,2	-	-	1.169,0	19,2	0,6	-	-	-	-	-	-	827,9	-	-	1.439.979,9	0,2	
	REF	-	-	52.579,7	4.757.573,4	-	-	-	3.232,8	-	-	4.191,5	282.555,2	-	76.269,3	-	-	1.633,7	-	162,9	-	-	-	-	-	272,3	6,9	568,0	5.179.045,8	0,6		
	CS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	
Campo e Pastagem	OFLNM	-	-	-	12.095,1	-	29.291.377,6	5.156.222,6	15.755,9	-	-	-	1.973.621,3	-	593.219,8	-	-	18.614,8	2.042,1	14.455,1	-	-	-	-	-	391,2	1.016,8	5.249,4	37.084.061,7	4,2		
	OFLM	-	-	-	45,5	-	-	4.479.015,6	56,1	-	-	-	34.806,7	-	4.398,4	-	-	340,6	182,6	-	-	-	-	-	-	1,1	-	1.153,5	4.520.000,0	0,5		
	OFLSec	-	-	-	104,4	-	-	-	9.394,7	-	-	-	6.842,3	-	83,2	-	-	11,0	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7	-	16.437,3	0,0		
	GNM	-	-	-	28.041,4	-	-	-	-	14.857.474,1	1.445.406,0	5.580,0	547.145,5	-	468.950,2	-	-	2.580,9	6.126,5	1.790,3	-	-	-	-	-	439,7	533,6	3.747,6	17.367.815,9	2,0		
	GM	-	-	-	714,7	-	-	-	-	-	1.239.674,0	27,1	4.888,4	-	2.638,9	-	-	358,2	197,5	4,0	-	-	-	-	-	721,3	-	-	1.249.224,0	0,1		
	GSEC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.808,0	1.602,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.410,9	0,0		
	AP	-	-	4.023.588,0	650.680,8	-	-	-	174.690,0	-	-	169.820,2	146.126.051,8	-	3.965.115,2	-	-	287.313,4	6.111,2	59.343,3	-	-	-	-	-	11.191,8	506,5	232.968,7	155.707.380,8	17,8		
	APD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0		
Agricultura	AC	-	-	267.670,2	31.788,2	-	-	-	27.861,5	-	-	10.278,1	1.944.685,6	-	41.327.595,2	-	-	66.876,0	54.418,8	6.591,0	-	-	-	-	-	1.256,0	145,5	97.334,5	43.836.500,6	5,0		
	PER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0		
	CANA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0		
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.745.742,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34,7	2.745.776,7	0,3	
Áreas alagadas	A	18.000,2	2.011,8	-	-	-	919,3	74,9	-	2.862,2	-	-	1.420,3	-	5.427,7	-	-	16,2	17.621.133,8	85.499,1	-	-	94,2	153,7	-	-	3,5	25,9	51,9	17.737.694,7	2,0	
	RES	-	-	3.404,3	341,7	-	-	-	147,6	-	-	29,3	342,6	-	474,4	-	-	-	-	2.753.924,6	-	-	-	-	-	-	72,3	14,9	162,1	2.758.913,9	0,3	
	DnNM	-	-	-	1.598,6	-	-	-	-	-	-	-	795,4	-	153,7	-	-	496,1	-	36,9	-	-	308.009,5	17.806,4	-	-	-	-	-	328.896,7	0,0	
	DnM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	249,6	-	-	-	-	-	126.896,6	-	-	-	-	-	127.146,3	0,0	
	ArNM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.015,2	76,2	-	-	-	14.091,3	0,0	
	ArM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	697,3	-	-	-	697,3	0,0	
	Min	-	-	1.111,5	149,7	-	-	-	43,2	-	-	90,7	1.156,8	-	10,2	-	-	329,4	7,7	126,8	-	-	-	-	-	-	174.274,9	12,5	-	177.313,4	0,0	
	SE	-	-	6,3	11,8	-	-	-	-	-	-	-	633,6	-	156,5	-	-	139,0	0,1	206,6	-	-	-	-	-	-	-	194.795,7	-	195.949,7	0,0	
Total	332.395,7	46.185,6	25.639,3	2.514,2	321,1	7.808,3	9.290,2	-	1.360,3	-	25,5	1.118.931,4	-	222.207,2	-	-	4.951,9	164,4	1.185,0	-	-	-	-	-	1.740,1	114,8	73.598,9	1.848.433,9	0,2			

Tabela A.VII.10. Matriz de conversão de uso e cobertura da terra do Brasil de 2002 a 2010.

Conversões do BRASIL: 2002 - 2010 (ha)																														
Bioma	Floresta					Campo e Pastagem								Agricultura				Assenta-mento		Áreas alagadas			Outras Terras						Total em 1994 1	% do Brasil
	FNM	FM	FSEC	REF	CS	OFLNM	OFLM	OFLSec	GNM	GM	GSEC	AP	APD	AC	PER	CANA	S	A	RES	DnNM	DnM	ArNM	ArM	Min	SE	NO				
Floresta	FNM	278.356.745,7	59.766.987,6	2.069.130,7	775.383,9	1.134.344,9	-	-	-	-	-	26.595.873,1	-	3.718.751,1	-	-	75.108,3	453.722,5	320.892,9	-	-	-	-	50.021,1	2.100,1	16.428.950,2	389.748.012,2	44,6		
	FM	-	148.780.625,8	115.328,8	19.456,7	53.595,2	-	-	-	-	-	1.112.867,2	-	80.751,3	-	-	5.733,8	313.165,7	36.783,8	-	-	-	-	8.219,1	42,3	9.246.011,8	159.772.581,4	18,3		
	FSEC	-	-	4.399.583,1	43.162,4	3.634,4	-	-	-	-	-	1.388.111,6	-	118.257,4	-	-	4.202,1	5.564,6	4.426,8	-	-	-	-	998,7	2,1	101.609,7	6.069.552,8	0,7		
	REF	-	-	206.245,9	4.689.505,6	-	-	-	31.768,3	-	26.931,3	395.591,9	-	198.769,7	-	-	3.496,2	7,7	720,1	-	-	-	-	1.222,9	141,8	140.688,2	5.695.089,5	0,7		
	CS	-	-	155.851,6	-	15.335,0	-	-	-	-	-	64.115,7	-	26.386,9	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.117,6	262.807,3	0,0	
Campo e Pastagem	OFLNM	-	-	-	49.981,3	-	25.112.516,0	1.114.593,2	42.928,9	-	-	1.906.956,9	-	361.507,3	-	-	9.056,0	71.422,5	49.658,3	-	-	-	-	1.763,3	35,4	579.686,2	29.300.105,2	3,4		
	OFLM	-	-	-	3.059,0	-	-	9.160.920,1	2.285,2	-	-	166.272,6	-	32.733,3	-	-	2.851,4	8.334,4	1.945,7	-	-	-	-	702,4	-	265.499,1	9.644.603,2	1,1		
	OFLSec	-	-	-	2.409,1	-	-	-	173.810,3	-	-	42.562,1	-	10.896,7	-	-	109,4	20,8	256,7	-	-	-	-	25,9	-	1.090,9	231.182,0	0,0		
	GNM	-	-	-	224.836,4	-	-	-	-	12.153.585,4	537.545,6	14.332,6	1.063.912,5	-	516.493,0	-	-	2.725,2	82.363,7	10.458,9	-	-	-	2.061,5	51,6	253.330,2	14.861.696,6	1,7		
	GM	-	-	-	11.144,5	-	-	-	-	-	2.476.797,7	1.060,3	45.353,9	-	6.838,5	-	-	372,4	39.331,3	263,3	-	-	-	1.716,7	5,8	102.195,7	2.685.080,0	0,3		
	GSEC	-	-	-	3.949,9	-	-	-	-	-	-	125.509,3	48.463,7	-	14.207,4	-	-	92,2	60,1	163,5	-	-	-	40,7	-	363,7	192.850,5	0,0		
	AP	-	-	13.184.600,1	2.765.648,1	1.818,0	-	-	968.080,3	-	-	450.160,4	148.264.899,5	8.978.434,3	-	-	365.695,4	63.196,9	194.050,9	-	-	-	-	40.344,3	2.383,2	5.087.766,2	180.367.077,4	20,6		
	APD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0		
	AC	-	-	1.054.823,6	380.962,2	7,7	-	-	107.695,6	-	-	28.541,9	3.530.854,3	43.899.632,7	-	-	103.655,4	6.953,4	31.662,7	-	-	-	-	7.204,5	906,0	331.223,8	49.484.123,7	5,7		
	PER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0		
Agricultura	CANA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0		
	S	-	-	177,0	-	-	-	-	-	-	-	92,5	-	-	-	-	3.261.882,3	-	1,3	-	-	-	-	87,6	-	3.107,5	3.265.348,2	0,4		
Áreas alagadas	A	451.146,9	143.008,4	23.569,8	767,4	1,6	14.411,1	5.773,6	893,1	22.698,9	3.287,5	932,0	116.923,5	84.418,6	-	-	3.270,7	15.720.667,1	124.311,0	2.640,7	1.721,2	-	5.168,8	271,9	991.613,1	17.717.496,8	2,0			
	RES	-	-	25.921,2	98,1	-	-	-	1.167,2	-	1.555,7	11.173,6	-	7.257,0	-	-	48,4	5,7	3.225.436,2	-	-	-	-	1.105,9	927,2	15.548,8	3.290.244,9	0,4		
Outras Terras	DnNM	-	-	-	8.063,7	-	-	-	-	-	-	1.353,1	-	515,4	-	-	1.485,5	879,3	1.417,6	260.558,3	15.880,6	-	-	-	-	17.950,1	308.103,7	0,0		
	DnM	-	-	-	92,6	-	-	-	-	-	-	2,5	-	3,7	-	-	19,1	33,9	0,0	-	137.316,3	-	-	-	-	7.388,7	144.856,7	0,0		
	ArNM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.782,9	1.232,2	-	-	-	14.015,2	0,0		
	ArM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	773,5	-	-	-	773,5	0,0		
	Min	-	-	20.908,0	612,1	-	-	-	128,5	-	87,9	3.821,8	-	-	-	-	444,6	7,8	641,4	-	-	-	-	184.773,6	1.793,2	2.018,7	215.237,5	0,0		
	SE	-	-	1.510,6	55,0	-	-	-	632,2	-	-	2.049,3	-	981,8	-	-	122,4	-	226,7	-	-	-	-	15,4	192.554,9	39,4	198.187,9	0,0		

Tabela A.VII.11. Matriz de conversão de uso e cobertura da terra do Brasil de 2010 a 2016.

Conversões do BRASIL: 2010 – 2016 (ha)																													
Bioma	Uso da Terra em 2016																									Total em 2010 ↓	% do Brasil		
	Floresta					Campo e Pastagem							Agricultura				Assenta-mento		Áreas alagadas		Outras Terras								
	FSM	FM	FSEC	REF	CS	OFLNM	OFLM	OFLSec	GNM	GM	GSEC	AP	APD	AC	PER	CANA	S	A	RES	DeNM	DeM	ArNM	ArM	Min	SE	NO			
Floresta	FSM	257.171.319,7	10.160.649,5	405.566,1	285.050,6	625.003,0	-	-	-	-	-	8.172.928,5	-	1.646.550,5	61.846,1	132.187,6	30.033,3	2.768,7	83.418,1	-	-	-	-	26.538,0	11.755,1	47.475,0	278.863.089,8	31,9	
	FM	-	207.739.044,6	54.762,2	4.215,7	45.681,3	-	-	-	-	-	668.818,4	-	106.725,1	1.271,4	4.513,8	4.270,1	1.437,4	3.789,3	-	-	-	-	28.367,5	331,0	30.840,6	208.694.068,4	23,9	
	FSEC	-	-	18.724.013,4	68.042,0	33.848,6	-	-	-	-	-	2.059.974,0	-	323.392,6	50.522,7	22.124,6	8.834,3	209,0	8.834,3	-	-	-	-	12.375,7	1.018,2	5.495,6	21.318.565,6	2,4	
	REF	-	-	60.935,3	8.477.083,5	-	-	-	3.003,1	-	-	3.047,2	-	317.028,0	-	85.332,6	10.700,6	22.387,5	2.219,3	-	1.103,3	-	-	904,3	89,1	102	8.993.843,9	1,0	
	CS	-	-	1.070.157,0	0,3	102.680,6	-	-	-	-	-	30.547,2	-	4.884,9	76,8	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8	-	388,2	1.208.736,8	0,1	
Campo e Pastagem	OFLNM	-	-	-	49.845,6	-	23.595.941,9	192.582,9	25.521,3	-	-	913.946,8	-	316.290,8	5.586,2	10.956,5	4.236,5	126,2	10.177,4	-	-	-	-	1.423,6	736,5	1.352,2	25.128.744,8	2,9	
	OFLM	-	-	-	3.690,4	-	10.164.428,3	5.714,6	-	-	-	73.931,0	-	30.924,3	260,2	-	387,0	512,4	201,6	-	-	-	-	1.277,6	-	206,2	10.281.533,5	1,2	
	OFLSec	-	-	-	2.758,5	-	-	-	1.167.573,9	-	-	124.489,8	-	33.633,4	1.260,7	1.114,8	711,4	0,9	519,8	-	-	-	-	230,0	16,5	18,5	1.332.328,2	0,2	
	GNM	-	-	-	73.023,0	-	-	-	11.523.628,0	54.630,3	6.053,7	234.576,6	-	272.444,6	2.193,2	3.986,6	1.048,0	10,5	5.330,0	-	-	-	-	2.044,9	58,8	-	12.179.048,0	1,4	
	GM	-	-	-	3.034,0	-	-	-	-	2.991.663,7	44,3	16.496,4	-	5.908,9	6,0	79,6	284,3	12,1	56,4	-	-	-	-	45,3	-	-	3.017.630,8	0,3	
	GSEC	-	-	-	12.269,6	-	-	-	-	-	563.911,1	44.604,2	-	25.658,6	3.746,7	886,9	71,3	-	386,8	-	-	-	-	47,7	-	-	651.582,8	0,1	
	AP	-	-	3.190.386,9	1.772.277,2	-	-	-	204.265,4	-	-	77.660,4	168.774.184,0	785.471,0	7.662.151,2	288.574,2	1.884.239,2	261.625,3	-	72.919,2	-	-	-	30.777,9	2.899,1	23.939,9	185.031.330,9	21,2	
	APD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	
Agriculturas	AC	-	-	251.125,5	217.196,7	-	-	-	10.080,9	-	-	7.578,1	2.056.435,0	-	41.168.857,9	3.454.510,9	10.877.269,1	51.696,7	-	12.026,8	-	-	-	1.983,7	1.064,5	3.845,6	58.113.671,4	6,6	
	PER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	
	CANA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	
	S	-	-	48,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.842.810,6	-	22,5	-	-	-	-	-	169,4	3.843.051,3	0,4	
Áreas alagadas	A	2.419,3	469,5	5.359,0	-	-	6,9	-	30,1	18,9	0,0	3.592,1	-	2.480,9	219,5	0,6	192,9	16.689.870,9	60.386,1	-	-	-	-	44,0	50,6	834,1	16.765.975,3	1,9	
	RES	-	-	168.001,5	4,2	-	-	-	26.858,3	-	-	428,8	58.248,6	-	6.128,6	81,2	-	-	-	3.742.755,2	-	-	-	322,4	1.786,4	272,7	4.004.887,9	0,5	
Outras Terras	DeNM	-	-	634,3	-	-	-	-	-	-	-	52,5	-	5,1	295,9	-	979,4	-	316,0	260.033,7	882,2	-	-	-	-	-	263.199,0	0,0	
	DeM	-	-	-	24,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	154.893,9	-	-	-	0,0	-	-	154.918,1	0,0	
	ArNM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.782,9	-	-	-	-	12.782,9	0,0	
	ArM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.005,7	-	-	-	-	2.005,7	0,0	
	Min	-	-	4.030,5	151,0	-	-	-	63,1	-	-	29,2	85,2	-	-	-	177,1	-	802,3	-	-	-	-	299.863,4	289,8	-	305.491,4	0,0	
	SE	-	-	325,5	74,3	-	-	-	-	-	-	16,7	1.033,7	-	41,8	-	-	350,2	-	1.040,3	-	-	-	-	-	198.333,1	-	201.215,5	0,0
	NO	11.030.445,8	13.274.110,1	1.512.947,6	102.347,2	42.212,1	503.272,3	295.080,3	55.763,5	200.002,7	132.004,3	8.214,8	4.816.014,5	-	439.402,8	226.936,3	17.955,4	35.950,1	951.315,0	36.656,5	15.901,8	8.350,9	-	-	9.803,4	608,1	27.914,8	33.743.210,5	3,9
Total em 2016 →	268.204.184,8	231.174.273,7	25.447.659,4	11.071.722,2	849.425,7	24.099.221,2	10.652.091,5	1.498.874,3	11.723.649,6	3.178.298,3	666.984,1	188.366.986,5	785.471,0	52.130.814,4	4.108.088,5	12.977.702,1	4.245.758,1	17.666.263,1	4.040.761,9	275.935,5	164.127,0	12.782,9	2.005,7	416.050,9	219.016,6	142.763,1	874.100.912,1		
% do Brasil	30,7	26,4	2,9	1,3	0,1	2,8	1,2	0,2	1,3	0,4	0,1	21,5	0,1	6,0	0,5	1,5	0,5	2,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			

Tabela A.VII.12. Lógica de cálculo aplicada ao Corte Seletivo na Amazônia.

Possíveis conversões de F-CS								
1994	2002	2005	2010	2016	Tempo (anos)	ΔC_L CS AGB (%)	ΔC_G CS CWD (%)	Observações
F	CS	-	-	-	4	-29%	112%	Perda de CS com 3 anos (Huang; Asner, 2010)
F	F	CS	-	-	2	-29%	128%	Perda de CS com 2 anos (Huang; Asner, 2010)
F	F	F	CS	-	3	-29%	128%	Perda de CS com 2 anos (Huang; Asner, 2010)
F	F	F	F	CS	3	-29%	112%	Perda de CS com 3 anos (Huang; Asner, 2010)
Possíveis conversões de CS-CS								
1994	2002	2005	2010	2016	Tempo (anos)	ΔC_L CS AGB (%)	ΔC_G CS CWD (%)	Observações
NA	CS	CS	-	-	7	-27%	67%	CS com 6 anos (Huang; Asner, 2010)
NA	F	CS	CS	-	7	-27%	67%	CS com 6 anos (Huang; Asner, 2010)
NA	F	F	CS	CS	8	-27%	67%	CS com 6 anos (Huang; Asner, 2010)
Possíveis conversões de CS-CS-CS								
1994	2002	2005	2010	2016	Tempo (anos)	ΔC_L CS AGB (%)	ΔC_G CS CWD (%)	Observações
NA	CS	CS	CS	-	12	-26%	32%	CS com 11 anos (Huang; Asner, 2010)
NA	-	CS	CS	CS	13	-26%	32%	CS com 11 anos (Huang; Asner, 2010)
Possíveis conversões de CS-CS-CS-CS								
1994	2002	2005	2010	2016	Tempo (anos)	ΔC_L CS AGB (%)	ΔC_L CS CWD (%)	Observações
NA	CS	CS	CS	CS	18	-22%	-1%	CS com 21 anos (Huang; Asner, 2010)
Pós CS (CposCS) -> consideram-se 44% de ganho somente sobre o C perdido								

Tabela A.VII.13. Valores de remoção anual de carbono (ΔC_{Ref}) e de estoque de carbono médio (C_{Ref}) em reflorestamentos por UF, para os anos de 1994, 2002, 2005, 2010 e 2016.

UF	1994		2002		2005		2010		2016		
	ΔC_{Ref}	C_{Ref}	ΔC_{Ref}	C_{Ref}	ΔC_{Ref}	C_{Ref}	ΔC_{Ref}	C_{Ref}	ΔC_{Ref}	C_{Ref}	Carbono total
	(tC/ha ano ⁻¹)	(tC/ha)	(tC/ha ano ⁻¹)	(tC/ha)	(tC/ha ano ⁻¹)	(tC/ha)	(tC/ha ano ⁻¹)	(tC/ha)	(tC/ha ano ⁻¹)	(tC/ha ¹)	(Mt)
AP			10,87	50,85	11,09	50,67	11,16	39,08	11,55	40,43	2,63
BA			11,85	42,16	11,64	44,27	11,12	40,59	11,54	40,59	24,98
ES			11,90	41,69	11,82	42,24	11,14	39,71	11,53	40,74	9,62
GO			-	-	11,33	47,86	11,00	45,55	11,41	42,28	5,74
MA			11,90	41,68	11,88	41,57	11,16	39,07	11,55	40,43	8,97
MT			-	-	11,88	41,60	11,16	39,07	11,55	40,63	7,49
MS			11,90	41,68	11,24	48,91	11,13	40,40	11,54	40,56	35,90
MG			11,85	42,17	11,58	44,96	11,08	42,41	11,49	41,19	58,77
PA			11,74	43,15	11,88	41,61	11,16	39,07	11,55	40,43	5,41
PR			9,53	62,86	9,73	66,14	10,41	69,55	9,99	60,90	58,87
PI			-	-	-	-	11,16	39,07	11,55	40,43	1,05
RS			7,77	29,04	9,33	47,20	10,02	48,08	10,01	46,86	27,28
SC			9,21	65,70	10,98	65,51	11,13	69,22	9,71	64,68	42,82
SP			11,60	44,34	11,49	46,06	11,04	44,12	11,29	43,85	46,92
SP									11,55	40,43	0,13
TO			-	-	11,88	41,57	11,14	39,73	11,55	40,48	4,73
Demais UFs			-	-	11,56	45,24	11,16	39,07	11,55	40,43	0,77
Valor médio todas as UFs	7,39	28,24	10,92	45,9	11,3	47,7	11,0	44,6	11,2	43,8	342,01

Nota: Acácia-negra está contabilizada apenas no Estado do Rio Grande do Sul.

Tabela A.VII.14. Equações e variáveis utilizadas para as estimativas de CO₂ por mudança do uso e cobertura da terra.

Subsetor	Categoria	Subcategoria	Subdivisão (Divisão)	Equação
4.A. Floresta	4.A.1. Floresta permanecendo Floresta	4.A.1. Floresta permanecendo Floresta	a. Floresta Não Manejada para Floresta Manejada (FNM-FM) ¹	$\Delta C = A \times \Delta C_{GFM} \times t$
			b. Floresta Não Manejada para Floresta Secundária (FNM-FSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GFSec1} \times t/2) - CF]$
			c. Floresta Não Manejada para Reflorestamento (FNM-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GRef} \times t/2) - CF]$
			d. Floresta Manejada permanecendo Floresta Manejada (FM-FM) ²	$\Delta C = A \times \Delta C_{GFM} \times t$
			e. Floresta Manejada para Floresta Secundária (FM-FSec) ³	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GFSec1} \times t/2) - CF]$
			f. Floresta Manejada para Reflorestamento (FM-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GRef} \times t/2) - CF]$
			g. Floresta Não Manejada para Corte Seletivo (FNM-CS) ⁴	$\Delta C = A \times (\Delta CLCSAGB + \Delta CGCSCWD)$
			h. Floresta Manejada para Corte Seletivo (FM-CS)	$\Delta C = A \times (\Delta CLCSAGB + \Delta CGCSCWD)$
			i. Floresta Secundária para Reflorestamento (FSec-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GRef} \times t/2) - (\Delta CLFSec \times CF)]$
			j. Floresta Secundária para Corte Seletivo (FSec-CS)	$\Delta C = A \times [(\Delta CLCSAGB + \Delta CGCSCWD) \times (\Delta CLFSec \times CF)]$
			k. Reflorestamento para Floresta Secundária (Ref-FSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GFSec1} \times t/2) - CRef]$
			l. Corte Seletivo para Floresta Secundária (CS-FSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta CLCSAGB + \Delta CGCSCWD) \times \Delta CLFSec]$
			m. Corte Seletivo para Floresta Reflorestamento (CS-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GRef} \times t/2) - CposCS]$
			n. Corte Seletivo permanecendo Corte Seletivo (CS-CS)	$\Delta C = A \times (\Delta CLCSAGB + \Delta CGCSCWD)$
	4.A.2 Área convertida para Floresta	4.A.2.a. Agricultura para Floresta	i. Agricultura para Floresta Secundária (Ac-FSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GFSec3} \times t/2) - CAc]$
			ii. Agricultura para Reflorestamento (Ac-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GRef} \times t/2) - CAc]$
			i. Pastagem para Floresta Secundária (Ap-FSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GFSec2} \times t/2) - CAp]$
		4.A.2.b. Campo e Pastagem para Floresta	ii. Pastagem para Reflorestamento (Ap-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GRef} \times t/2) - CAp]$
			iii. Outras Formações Lenhosas Manejadas para Reflorestamento (OFLM- Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta COFLRef \times t/2) - COFL]$
			iv. Outras Formações Lenhosas Secundárias para Reflorestamento (OFLSec-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta COFLRef \times t/2) - COFL]$
		4.A.2.c. Outras Terras para Floresta	v. Campo Não Manejado para Reflorestamento (GNM-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GRef} \times t/2) - CG]$
			vi. Campo Manejado para Reflorestamento (GM-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GRef} \times t/2) - CG]$
			vii. Campo Secundário para Reflorestamento (GSec-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta CGGSec \times t/2) - CRef]$
			viii. Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Reflorestamento (OFLNM-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta CGOFLSec \times t/2) - CRef]$
			i. Duna Não Manejada para Reflorestamento (DnNM-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GFSec1} \times t/2) - CO]$
			ii. Duna Manejada para Reflorestamento (DnM-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GFSec1} \times t/2) - CO]$
			iii. Mineração para Floresta Secundária (Min-FSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GFSec1} \times t/2) - CO]$
			iv. Mineração para Reflorestamento (Min-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GFSec1} \times t/2) - CO]$
			v. Solo exposto para Floresta Secundária (SE-FSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GFSec1} \times t/2) - CO]$
			vi. Solo exposto para Reflorestamento (SE-Ref)	$\Delta C = A \times [(\Delta C_{GFSec1} \times t/2) - CO]$

Subsetor	Categoria	Subcategoria	Subdivisão (Divisão)	Equação
4.B. Agricultura	4.B.2. Área convertida para Agricultura	4.B.2.a. Floresta para Agricultura	i. Floresta Não Manejada para Agricultura Anual (FNM-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CF]$
			ii. Floresta Não Manejada para Agricultura Perene (FNM-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CF]$
			iii. Floresta Não Manejada para Agricultura Semiperene (FNM-CANA)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CF]$
			iv. Floresta Manejada para Agricultura Anual (FM-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CF]$
			v. Floresta Manejada para Agricultura Perene (FM-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CF]$
			vi. Floresta Manejada para Agricultura Semiperene (FM-CANA)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CF]$
			vii. Floresta Secundária para Agricultura Anual (FSec-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - (\Delta C L F S e c \times C F)]$
			viii. Floresta Secundária para Agricultura Perene (FSec-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - (\Delta C L F S e c \times C F)]$
			ix. Floresta Secundária para Agricultura Semiperene (FSec-CANA)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - (\Delta C L F S e c \times C F)]$
			x. Reflorestamento para Agricultura Anual (Ref-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - C R e f]$
			xi. Reflorestamento para Agricultura Perene (Ref-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - C R e f]$
			xii. Reflorestamento para Agricultura Semiperene (Ref-CANA)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - C R e f]$
			xiii. Corte Seletivo para Agricultura Anual (CS-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - C p o s C S]$
			xiv. Corte Seletivo para Agricultura Perene (CS-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - C p o s C S]$
		4.B.2.b. Campo e Pastagem para Agricultura	i. Campo Secundário para Agricultura Perene (GSec-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - (\Delta C L G S e c \times C G)]$
			ii. Campo Secundário para Agricultura Semiperene (Gsec-CANA)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - (\Delta C L G S e c \times C G)]$
			iii. Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Agricultura Anual (OFLNM-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - C O F L]$
			iv. Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Agricultura Perene (OFLNM-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - C O F L]$
			v. Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Agricultura Semiperene (OFLNM-CANA)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - C O F L]$
			vi. Pastagem para Agricultura Anual (Ap-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - C A p]$
			vii. Pastagem para Agricultura Perene (Ap-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - C A p]$
			viii. Pastagem para Agricultura Semiperene (Ap-CANA)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - C A p]$
			ix. Outras Formações Lenhosas Manejadas para Agricultura Anual (OFLM- Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - C O F L]$
			x. Outras Formações Lenhosas Manejadas para Agricultura Perene (OFLM-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - C O F L]$
			xi. Outras Formações Lenhosas Secundárias para Agricultura Anual (OFLSec-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - (\Delta C L O F L S e c \times C O F L)]$
			xii. Outras Formações Lenhosas Secundárias para Agricultura Perene (OFLSec-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - (\Delta C L O F L S e c \times C O F L)]$
			xiii. Outras Formações Lenhosas Secundárias para Agricultura Semiperene (OFLSec-CANA)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - (\Delta C L O F L S e c \times C O F L)]$

Subsetor	Categoria	Subcategoria	Subdivisão (Divisão)	Equação
4.C Campo e Pastagem	4.C.1 Campo e Pastagem permanecendo Campo e Pastagem	4.B.2.e Outras Terras para Agricultura	xiv. Campo Não Manejado para Agricultura Anual (GNM-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CG]$
			xv. Campo Não Manejado para Agricultura Perene (GNM-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CG]$
			xvi. Campo Não Manejado para Agricultura Semiperene (GNM-CANA)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CG]$
			xvii. Campo Manejado para Agricultura Anual (GM-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CG]$
			xviii. Campo Manejado para Agricultura Perene (GM-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CG]$
			xix. Campo Manejado para Agricultura Semiperene (GM-CANA)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CG]$
			xx. Campo Secundário para agricultura anual (GSec-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - (\Delta C L G S e c \times C G)]$
			i. Duna Não Manejada para Agricultura Anual (DnNM-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CO]$
			ii. Duna Manejada para Agricultura Perene (DnM-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CO]$
			iii. Duna Manejada para Agricultura Anual (DnM-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CO]$
			iv. Duna Não Manejada para Agricultura Perene (DnNM-PER)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CO]$
			v. Mineração para Agricultura Anual (Min-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CO]$
			vi. Solo exposto para Agricultura Anual (SE-Ac)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G A c \times t/2) - CO]$
	4.C.2.a Floresta para Campo e	4.C.1 Campo e Pastagem permanecendo Campo e Pastagem	a. Campo Secundário para Pastagem (GSec-Ap)	$\Delta C = A \times [C A p - (\Delta C L G S e c \times C G)]$
			b. Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Pastagem (OFLNM- Ap)	$\Delta C = A \times [C A p - C O F L]$
			c. Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Outras Formações Lenhosas Manejadas (OFLNM-OFLM)	$\Delta C = A \times \Delta C G O F L M \times t$
			d. Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Outras Formações Lenhosas Secundárias (OFLNM-OFLSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G O F L S e c 1 \times t/2) - C O F L]$
			e. Pastagem para Campo Secundário (Ap-GSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G G S e c \times t/2) - C A p]$
			f. Pastagem para Pastagem Degradada (Ap-Apd)	$\Delta C = A \times [C A p d - C A p]$
			g. Pastagem para Outras Formações Lenhosas Secundárias (Ap-OFLSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G O F L S e c \times t/2) - C A p]$
			h. Outras Formações Lenhosas Manejadas para Pastagem (OFLM-Ap)	$\Delta C = A \times [C A p - C O F L]$
			i. Outras Formações Lenhosas Manejadas permanecendo Outras Formações Lenhosas Manejadas (OFLM-OFLM)	$\Delta C = A \times \Delta C G O F L M \times t$
			j. Outras Formações Lenhosas Manejadas para Outras Formações Lenhosas Secundárias (OFLM-OFLSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G O F L S e c \times t/2) - C O F L]$
			k. Outras Formações Lenhosas Secundárias para Pastagem (OFLSec-Ap)	$\Delta C = A \times [C A p - (\Delta C L O F L S e c \times C O F L)]$
			l. Campo Não Manejado para Campo Secundário (GNM-GSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G G S e c \times t/2) - CG]$
			m. Campo Não Manejado para Pastagem (GNM-Ap)	$\Delta C = A \times [C A p - CG]$
			n. Campo Não Manejado para Campo Manejado (GNM-GM)	$\Delta C = A \times \Delta C G G M \times t$
			o. Campo Manejado para Campo Secundário (GM-GSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta C G G S e c \times t/2) - CG]$
			p. Campo Manejado para Pastagem (GM-Ap)	$\Delta C = A \times [C A p - CG]$
			q. Campo Manejado permanecendo Campo Manejado (GM-GM)	$\Delta C = A \times \Delta C G G M \times t$
		4.C.2.a Floresta para Campo e	i. Floresta Não Manejada para Pastagem (FNM-Ap)	$\Delta C = A \times [C A p - C F]$
			ii. Floresta Manejada para Pastagem (FM-Ap)	$\Delta C = A \times [C A p - C F]$

Subsetor	Categoria	Subcategoria	Subdivisão (Divisão)	Equação
		Pastagem	iii. Floresta Manejada para Pastagem Degradada (FM-Apd)	$\Delta C = A \times [CApd - CF]$
		4.C.2.b Agricultura para Campo e Pastagem	iv. Floresta Secundária para Pastagem (FSec-Ap)	$\Delta C = A \times [CAp - (\Delta CLFSec \times CF)]$
			v. Reflorestamento para Campo Secundário (Ref-GSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta CGGSec \times t/2) - CRef]$
			vi. Reflorestamento para Pastagem (Ref-Ap)	$\Delta C = A \times [CAp - CRef]$
			vii. Reflorestamento para Outras Formações Lenhosas Secundárias (Ref- OFLSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta CGOFLSec \times t/2) - CRef]$
			viii. Corte Seletivo para Pastagem (CS-Ap)	$\Delta C = A \times [CAp - CposCS]$
			i. Agricultura para Campo Secundário (Ac-GSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta CGGSec \times t/2) - CAc]$
			ii. Agricultura para Pastagem (Ac-Ap)	$\Delta C = A \times [CAp - CAc]$
			iii. Agricultura para Outras Formações Lenhosas Secundárias (Ac-OFLSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta CGOFLSec \times t/2) - CAc]$
		4.C.2.e Outras Terras para Campo e Pastagem	i. Duna Não Manejada para Pastagem (DnNM-Ap)	$\Delta C = A \times [CAp - CO]$
			ii. Duna Manejada para Pastagem (DnM-Ap)	$\Delta C = A \times [CAp - CO]$
			iii. Mineração para Campo secundário (Min-GSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta CGGSec \times t/2) - CO]$
			iv. Mineração para Pastagem (Min-Ap)	$\Delta C = A \times [CAp - CO]$
			v. Mineração para Outras Formações Lenhosas Secundárias (Min-OFLSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta CGOFLSec \times t/2) - CO]$
			vi. Solo exposto para Campo Secundário (SE-GSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta CGGSec \times t/2) - CO]$
			vii. Solo exposto para Pastagem (SE-Ap)	$\Delta C = A \times [CAp - CO]$
			viii. Solo exposto para Outras Formações Lenhosas Secundárias (SE- OFLSec)	$\Delta C = A \times [(\Delta CGOFLSec \times t/2) - CO]$
4.D. Áreas Úmidas	4.D.2 Área convertida para Áreas Úmidas	4.D.2.a Floresta para Áreas Úmidas	i. Floresta Não Manejada para Reservatório (FNM-Res)	$\Delta C = A \times [CRes - CF]$
			ii. Floresta Manejada para Reservatório (FM-Res)	$\Delta C = A \times [CRes - CF]$
			iii. Floresta Secundária para Reservatório (FSec-Res)	$\Delta C = A \times [CRes - (\Delta CLFSec \times CF)]$
			iv. Reflorestamento para Reservatório (Ref-Res)	$\Delta C = A \times (CRes - CRef)$
			v. Corte Seletivo para Reservatório (CS-Res)	$\Delta C = A \times [CO - CposCS]$
		4.D.2.b Agricultura para Áreas Úmidas	i. Agricultura para Reservatório (Ac-Res)	$\Delta C = A \times (CRes - CAc)$
		4.D.2.c Campo e Pastagem para Áreas Úmidas	i. Campo Secundário para Reservatório (GSec-Res)	$\Delta C = A \times [CRes - (\Delta CLFGSec \times CF)]$
			ii. Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Reservatório (OFLNM-Res)	$\Delta C = A \times (CRes - COFL)$
			iii. Pastagem para Reservatório (Ap-Res)	$\Delta C = A \times (CRes - CAp)$
			iv. Outras Formações Lenhosas Manejadas para Reservatório (OFLM-Res)	$\Delta C = A \times (CRes - COFL)$
			v. Outras Formações Lenhosas Secundárias para Reservatório (OFLSec- Res)	$\Delta C = A \times [CRes - (\Delta CLFOFLSec \times COFL)]$
			vi. Campo Não Manejado para Reservatório (GNM-Res)	$\Delta C = A \times (CRes - CG)$

Subsetor	Categoria	Subcategoria	Subdivisão (Divisão)	Equação
			vii. Campo Manejado para Reservatório (GM-Res)	$\Delta C = A \times (C_{Res} - CG)$
4.E. Assentamentos	4.E.2 Área convertida para Assentamentos	4.E.2.a Floresta para Assentamentos	i. Floresta Não Manejada para Assentamentos (FNM-S)	$\Delta C = A \times (C_{Set} - CF)$
			ii. Floresta Manejada para Assentamentos (FM-S)	$\Delta C = A \times (C_{Set} - CF)$
			iii. Floresta Secundária para Assentamentos (FSec-S)	$\Delta C = A \times [C_{Set} - (\Delta CLF_{Sec} \times CF)]$
			iv. Reflorestamento para Assentamentos (Ref-S)	$\Delta C = A \times (C_{Set} - C_{Ref})$
		4.E.2.b Agricultura para Assentamentos	i. Agricultura para Assentamentos (Ac-S)	$\Delta C = A \times (C_{Set} - C_{Ac})$
			i. Campo Secundário para Assentamentos (GSec-S)	$\Delta C = A \times [(C_{Set} - (\Delta CLF_{Sec} \times CF))]$
		4.E.2.c Campo e Pastagem para Assentamentos	ii. Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Assentamentos (OFLNM-S)	$\Delta C = A \times (C_{Set} - COFL)$
			iii. Pastagem para Assentamentos (Ap-S)	$\Delta C = A \times (C_{Set} - C_{Ap})$
			iv. Outras Formações Lenhosas Manejadas para Assentamentos (OFLM-S)	$\Delta C = A \times (C_{Set} - COFL)$
			v. Outras Formações Lenhosas Secundárias para Assentamentos (OFLSec- S)	$\Delta C = A \times [(C_{Set} - (\Delta COFL_{Sec} \times COFL))]$
		4.E.2.e Outras Terras para Assentamentos	vii. Campo Não Manejado para Assentamentos (GNM-S)	$\Delta C = A \times (C_{Set} - CG)$
			viii. Campo Manejado para Assentamentos (GM-S)	$\Delta C = A \times (C_{Set} - CG)$
			i. Dunas Não Manejadas para Assentamentos (DnNM-S)	$\Delta C = A \times (C_{Set} - CO)$
			ii. Dunas Manejadas para Área Construída (DnM-S)	$\Delta C = A \times (C_{Set} - CO)$
4.F. Outras Terras	4.F.2 Área convertida para Outras Terras	4.F.2.a Floresta para Outras Terras	i. Floresta Não Manejada para Mineração (FNM-Min)	$\Delta C = A \times (CO - CF)$
			ii. Floresta Não Manejada para Solo Exposto (FNM-SE)	$\Delta C = A \times (CO - CF)$
			iii. Floresta Manejada para Mineração (FM-Min)	$\Delta C = A \times (CO - CF)$
			iv. Floresta Manejada para Solo Exposto (FM-SE)	$\Delta C = A \times (CO - CF)$
			v. Floresta Secundária para Mineração (FSec-Min)	$\Delta C = A \times [(CO - (\Delta CLF_{Sec} \times CF))]$
			vi. Floresta Secundária para Solo Exposto (FSec-SE)	$\Delta C = A \times [(CO - (\Delta CLF_{Sec} \times CF))]$
			vii. Reflorestamento para Mineração (Ref-Min)	$\Delta C = A \times (CO - C_{Ref})$
			viii. Reflorestamento para Solo Exposto (Ref-SE)	$\Delta C = A \times (CO - C_{Ref})$
		4.F.2.b Agricultura para Outras Terras	ix. Corte Seletivo para Mineração (CS-Min)	$\Delta C = A \times [CO - C_{posCS}]$
			i. Agricultura para Mineração (Ac-Min)	$\Delta C = A \times (CO - C_{Ac})$
			ii. Agricultura para Solo exposto (Ac-SE)	$\Delta C = A \times (CO - C_{Ac})$
			i. Campo Secundário para Mineração (GSec-Min)	$\Delta C = A \times [(CO - (\Delta CLG_{Sec} \times CF))]$

Subsetor	Categoria	Subcategoria	Subdivisão (Divisão)	Equação
		4.F.2.c Campo e Pastagem para Outras Terras	ii. Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Mineração (OFLNM- Min)	$\Delta C = A \times (CO - COFL)$
			iii. Outras Formações Lenhosas Manejadas para Mineração (OFLM-Min)	$\Delta C = A \times (CO - COFL)$
			iv. Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Solo Exposto (OFLNM-SE)	$\Delta C = A \times (CO - COFL)$
			v. Pastagem para Mineração (Ap-Min)	$\Delta C = A \times (CO - CAp)$
			vi. Pastagem para Solo exposto (Ap-SE)	$\Delta C = A \times (CO - CAp)$
			vii. Outras Formações Lenhosas Secundárias para Mineração (OFLSec- Min)	$\Delta C = A \times [(CO - (\Delta CLOFLSec \times COFL))]$
			viii. Outras Formações Lenhosas Secundárias para Solo Exposto (OFLSec- SE)	$\Delta C = A \times [(CO - (\Delta CLOFLSec \times COFL))]$
			ix. Campo Não Manejado para Mineração (GNM-Min)	$\Delta C = A \times (CO - CG)$
			x. Campo Não Manejado para Solo exposto (GNM-SE)	$\Delta C = A \times (CO - CG)$
			xi. Campo Manejado para Mineração (GM-Min)	$\Delta C = A \times (CO - CG)$
			xii. Campo Manejado para Solo exposto (GM-SE)	$\Delta C = A \times (CO - CG)$

Nota: ¹ Para casos em que consta somente ganho de carbono, significa que não há perda de carbono, ou seja, ΔCL é igual a zero; ² Para (t) considera-se a data de criação da UC ou TI; ³ Como há um espaço de tempo entre os mapas de uso da terra, considera-se que a conversão ocorreu na metade do período e, por isso, divide-se o tempo de remoção por 2. Nota: Cabe ressaltar que, quando a variação de carbono é negativa, ou seja, indica uma perda de carbono, há emissões de CO₂. Quando a variação de carbono é positiva, há ganho de carbono e, consequentemente, remoção de CO₂. Para as conversões não apresentadas, assume-se que não há ganho e perda de carbono, ou seja, ΔCG e ΔCL são iguais a zero.

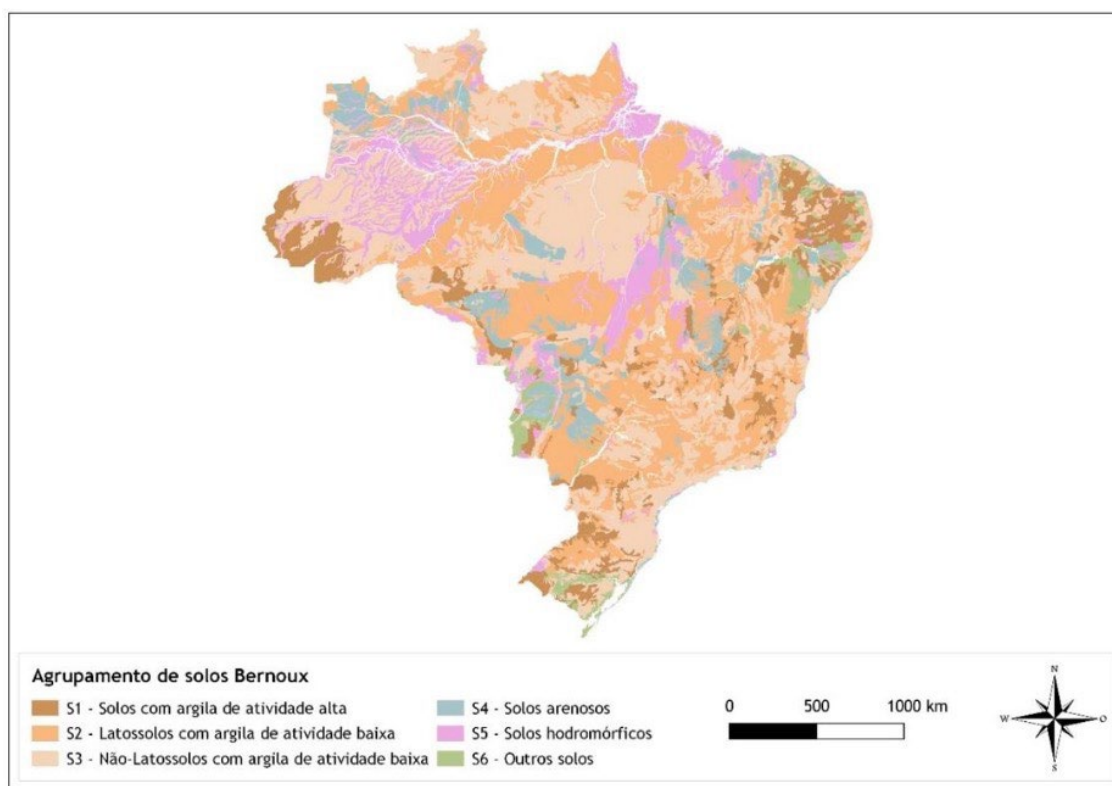


Figura A.VII.26. Distribuição das classes de solo agrupadas no território nacional, adaptada de Bernoux *et al.* (2002).

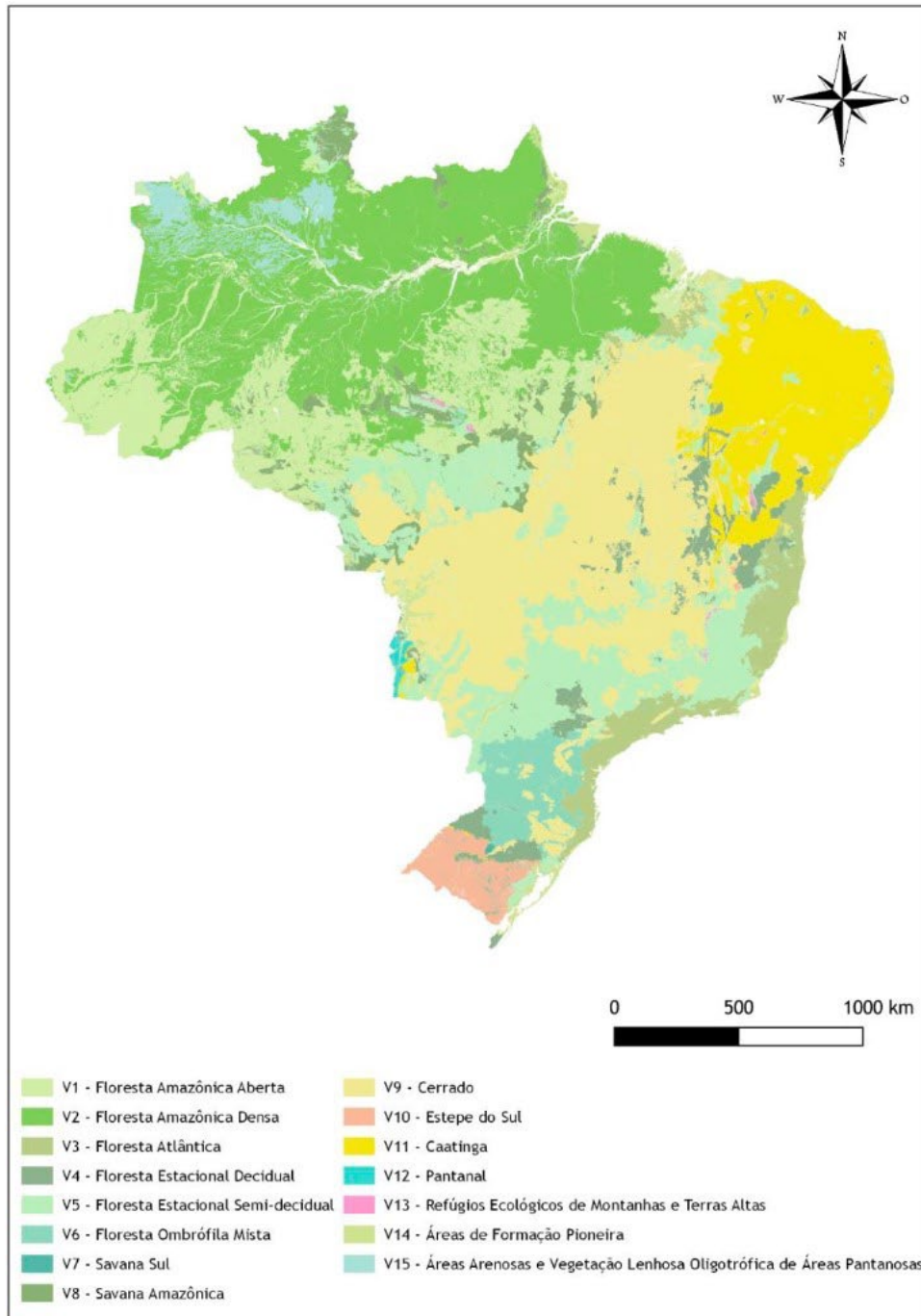


Figura A.VII.27. Distribuição das classes agregadas de vegetação no território nacional, adaptada de Bernoux *et al.* (2002).

Tabela A.VII.15. Estoque de carbono nos solos por associação solo-vegetação.

Categorias de Vegetação	Categorias de Solo					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	(t C/ha)					
V1	50,9	47,5	48,9	41,1	43,6	78,7
V2	32,2	51,9	46,9	50,6	52,7	48,1
V3	58,3	52,3	42,9	63,3	35,8	417,8
V4	46,7	30,8	40	25,9	32,7	31,8
V5	40,9	44,3	37,4	27	53,6	31,6
V6	98,8	102,5	56,8	-	85,4	-
V7	64,2	90,9	51,6	-	74,2	32,8
V8	48	19,8	38,1	43,7	34,6	29
V9	24,4	43,1	36	19,2	66,5	32,9
V10	66	46,6	61,2	-	33,8	49,9
V11	24,2	25,8	26,2	15,1	25,1	20,9
V12	33,8	-	35,2	35,4	105,2	21,7
V13	34,1	50,4 ¹	39,9	-	-	-
V14	73	41,3 ²	33,1	50,2	59,2	37,2
V15	50,9 ²	46,8	48,1	61,7	90,5	120,9

Legenda: ¹ Valor único relatado. ² Vide particularidades descritas em Bernoux *et al.* (2002). Nota: Os estoques de carbono correspondem aos valores medianos apresentados por Bernoux *et al.* (2002).

Tabela A.VII.16. Fatores de alteração de carbono orgânico do solo em função da mudança do uso da terra.

Uso da terra	f_{IU}	f_{MG}	f_I	f_c
FNM	1	1	1	1
FM	1	1	1	1
Fsec	1	1	1	1
Ref	0,94	1	1	0,94
CS	1	1	1	1
GNM	1	1	1	1
GM	1	1	1	1
Gsec	1	1	1	1
S	0	0	0	0
A	0	0	0	0
Res	0	0	0	0
O	0	0	0	0
Ap	Tabela A.VII.17			
ApD	0,70	1	1	0,70
Ac anual	Tabela A.VII.18			
Ac semiperene	0,74	1,24	1	0,92
Ac perene – demais biomas	0,98	1	1	0,98
Ac perene – Caatinga	0,71	1	1	0,71

Legenda: ¹ Apenas para os biomas Cerrado e Amazônia. Nota: As siglas das categorias de uso e cobertura da terra estão descritas no Quadro 7.4. f_{IU} : fator de mudança de estoque devido ao tipo de uso

ou mudança de uso da terra; f_{MG} : fator de mudança de estoque devido ao regime de manejo; f_I : fator de mudança de estoque devido à adição de matéria orgânica; f_C : fator de alteração do carbono do solo (ver Equação 7.2).

Tabela A.VII.17. Fatores de alteração de carbono orgânico do solo para diferentes condições de pastagem por bioma.

Classificação da pastagem/ bioma	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica	Pantanal	Pampa
Naturais	1,00					
Plantadas em boas condições	1,11	1,11	1,00	1,11	1,11	1,11
Plantadas em más condições	0,94	0,94	0,77	0,94	0,94	0,94
Severamente degradadas ¹	0,70	0,70	-	-	-	-

Notas: ¹ Valor-padrão do IPCC (2006).

Tabela A.VII.18. Fatores de alteração de carbono orgânico do solo de pastagens ponderados por condições e UF.

UFs	Fator ponderado por condições da pastagem	
	Bioma Caatinga	Demais biomas
Acre	-	0,98
Alagoas	1,03	0,99
Amazonas	-	0,99
Amapá	-	0,93
Bahia	1,04	0,96
Ceará	1,00	-
Distrito Federal	-	0,99
Espírito Santo	-	0,98
Goiás	-	0,99
Maranhão	1,07	0,98
Minas Gerais	1,06	0,98
Mato Grosso do Sul	-	0,99
Mato Grosso	-	0,98
Pará	-	0,98
Paraíba	1,01	0,97
Pernambuco	1,01	0,96
Piauí	1,02	0,96
Paraná	-	1,00
Rio de Janeiro	-	0,99
Rio Grande do Norte	1,00	0,98
Rondônia	-	1,00
Roraima	-	0,99
Rio Grande do Sul	-	1,00
Santa Catarina	-	0,99

UFs	Fator ponderado por condições da pastagem	
	Bioma Caatinga	Demais biomas
Sergipe	1,05	0,98
São Paulo	-	1,00
Tocantins	-	0,98

Tabela A.VII.19. Fatores de alteração de carbono orgânico do solo para diferentes sistemas de preparo do solo por bioma.

Plantio/ bioma	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica	Pantanal	Pampa
Convencional ¹	0,86	0,90	0,83	0,86	0,86	0,86
Direto ²	0,96	0,92	0,96	0,96	0,96	0,96

Notas: ¹ Valores com base em 109 registros (Caatinga = 66, Cerrado = 32, Mata Atlântica = 8, Amazônia = 2, Pampa = 1 (Tabela A.VII.21). ² Valores com base em 180 registros (Cerrado = 112, Amazônia = 31, Mata Atlântica = 27, Pampa = 10 – Tabela A.VII.22). O valor de 0,96 também foi aplicado para os biomas Caatinga e Pantanal, em razão da ausência de dados.

Tabela A.VII.20. Fatores de alteração de carbono orgânico do solo aplicados para agricultura anual, ponderados em função do preparo do solo, por UF e bioma.

UF/ bioma	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica	Pantanal	Pampa
Acre	0,87	-	-	-	-	-
Alagoas	-	-	0,83	0,86	-	-
Amapá	0,87	-	-	-	-	-
Amazonas	0,87	-	-	-	-	-
Bahia	-	0,91	0,88	0,90	-	-
Ceará	-	-	0,83	-	-	-
Distrito Federal	-	0,91	-	-	-	-
Espírito Santo	-	-	-	0,86	-	-
Goiás	-	0,91	-	0,91	-	-
Maranhão	0,92	0,91	0,91	-	-	-
Mato Grosso	0,91	0,91	-	-	0,91	-
Mato Grosso do Sul	-	0,91	-	0,90	0,90	-
Minas Gerais	-	0,91	0,88	0,90	-	-
Pará	0,88	0,90	-	-	-	-
Paraíba	-	-	0,83	0,86	-	-
Paraná	-	0,91	-	0,91	-	-
Pernambuco	-	-	0,83	0,86	-	-
Piauí	-	0,91	0,88	-	-	-
Rio de Janeiro	-	-	-	0,87	-	-
Rio Grande do Norte	-	-	0,83	0,86	-	-
Rio Grande do Sul	-	-	-	0,93	-	0,93
Rondônia	0,89	0,91	-	-	-	-
Roraima	0,91	-	-	-	-	-
Santa Catarina	-	-	-	0,92	-	-
São Paulo	-	0,90	-	0,87	-	-
Sergipe	-	-	0,83	0,86	-	-
Tocantins	0,90	0,91	-	-	-	-

Tabela A.VII.21. Estudos usados para avaliar a conversão de vegetação nativa (VN) para plantio convencional (PC) nos diferentes biomas brasileiros.

Estudo	Localização	Bioma	Cobertura vegetal	Tipo de solo	Camada (cm)	Tempo de conversão	Estoque de carbono (Mg ha ⁻¹)	
							VN	PC
Leite <i>et al.</i> , 2010	Baixa Grande do Ribeiro – PI	Cerrado	Arroz/Soja	Latossolo	40	12	62,40	70,72
Campos <i>et al.</i> , 2013	Bom Jesus – PI	Cerrado	Arroz/Soja	Latossolo	40	3	68,84	66,68
Campos <i>et al.</i> , 2013	Bom Jesus – PI	Cerrado	Arroz/Soja	Latossolo	40	3	42,18	38,42
Araújo <i>et al.</i> , 2017	Uruçuí – PI	Cerrado	Soja/Milheto	Latossolo	20	2	5,95	5,73
Pavinato, 2009	Tasso Fragoso – MA	Cerrado	Algodão/Milho/Soja	Latossolo	20	15	40,30	37,10
Corazza <i>et al.</i> , 1999	Planaltina – DF	Cerrado	Soja	Latossolo	20	15	39,77	30,55
Jantalia <i>et al.</i> , 2007	Planaltina – DF	Cerrado	Arroz/Milho/Soja	Latossolo	30	20	96,60	71,60
Jantalia <i>et al.</i> , 2007	Planaltina – DF	Cerrado	Arroz/Milho/Soja	Latossolo	30	20	96,60	77,50
Jantalia <i>et al.</i> , 2007	Planaltina – DF	Cerrado	Arroz/Milho/Soja	Latossolo	30	20	96,60	64,80
Jantalia <i>et al.</i> , 2007	Planaltina – DF	Cerrado	Arroz/Milho/Soja	Latossolo	30	20	96,60	69,50
Ferreira <i>et al.</i> , 2016	Planaltina – DF	Cerrado	Arroz/Milho/Soja	Latossolo	100	30	164,30	140,20
Ferreira <i>et al.</i> , 2016	Planaltina – DF	Cerrado	Arroz/Milho/Soja	Latossolo	100	30	164,30	125,80
Marchão <i>et al.</i> , 2009	Planaltina – DF	Cerrado	Milho/Soja	Latossolo	30	13	60,87	53,30
Figueiredo <i>et al.</i> , 2018	Planaltina – DF	Cerrado	Soja	Latossolo	20	18	57,20	42,21
Freitas <i>et al.</i> , 2000	Goiânia – GO	Cerrado	Milho/Feijão	Latossolo	40	5	81,90	80,29
Bayer <i>et al.</i> , 2006	Luziânia – GO	Cerrado	Milho/Soja	Latossolo	20	8	35,40	38,60
Bayer <i>et al.</i> , 2006	Luziânia – GO	Cerrado	Milho/Soja	Latossolo	20	8	35,40	37,72
Pavinato, 2009	Luziânia – GO	Cerrado	Milho/Soja	Latossolo	20	28	54,30	53,70
D'Andréa <i>et al.</i> 2004	Morrinhos – GO	Cerrado	Milho/Soja	Latossolo	40	17	61,10	61,78
Costa Jr <i>et al.</i> , 2013	Rio Verde – GO	Cerrado	Milho/Soja	Latossolo	20	26	47,10	34,90
Costa Jr <i>et al.</i> , 2013	Rio Verde – GO	Cerrado	Milho/Soja	Latossolo	20	30	47,30	34,40
Pavinato, 2009	Sapezal – MT	Cerrado	Algodão/Milho/Soja	Latossolo	20	8	64,60	55,10
Maia <i>et al.</i> , 2010	Sapezal – MT	Cerrado	Milho/Soja	Neossolo	30	5	27,93	29,43
Sá <i>et al.</i> , 2013	Lucas do Rio Verde – MT	Cerrado	Arroz/Soja	Latossolo	100	19	130,30	104,10
Maia <i>et al.</i> , 2010	Itiquira – MT	Cerrado	Algodão/Soja	Latossolo	30	15	67,10	62,60
Maia <i>et al.</i> , 2010	Novo S. Joaquim – MT	Cerrado	Algodão/Soja	Latossolo	30	19	52,95	45,48

Estudo	Localização	Bioma	Cobertura vegetal	Tipo de solo	Camada (cm)	Tempo de conversão	Estoque de carbono (Mg ha ⁻¹)	
							VN	PC
Bayer <i>et al.</i> , 2006	Costa Rica – MS	Cerrado	Algodão/Milho/Soja	Latossolo	20	6	54,00	49,35
Bayer <i>et al.</i> , 2006	Costa Rica – MS	Cerrado	Algodão/Milho/Soja	Latossolo	20	6	54,00	48,96
Pavinato, 2009	Costa Rica – MS	Cerrado	Algodão/ Soja	Latossolo	20	31	64,60	48,90
Seben Jr <i>et al.</i> , 2014	Jaboticabal – SP	Cerrado	Milho/Soja	Latossolo	10	44	28,16	10,98
Dieckow <i>et al.</i> , 2009	Dourados – MS	Cerrado	Milho/Soja	Latossolo	20	34	44,55	41,43
Roscoe; Buurman, 2003	Sete Lagoas – MG	Cerrado	Milho/Feijão	Latossolo	45	30	100,00	102,00
Hickmann <i>et al.</i> , 2012	Coimbra – MG	Mata Atlântica	Milho/Feijão/Soja/Trigo	Argissolo	40	78	46,42	24,39
Hickmann <i>et al.</i> , 2012	Coimbra – MG	Mata Atlântica	Milho/Feijão/Soja/Trigo	Argissolo	40	78	46,42	26,71
Hickmann <i>et al.</i> , 2012	Coimbra – MG	Mata Atlântica	Milho/Feijão/Soja/Trigo	Argissolo	40	78	46,42	26,15
Reis <i>et al.</i> , 2014	Guarapuava – PR	Mata Atlântica	Aveia/Trigo/Soja/Milho	Latossolo	100	59	137,90	132,90
Loss <i>et al.</i> , 2016	Marmeleiro – PR	Mata Atlântica	Tabaco/Milho/Aveia	Nitossolo	40	56	79,55	80,10
Gubiani, 2015	Pato Branco – PR	Mata Atlântica	Aveia/Soja/Milho	Latossolo	100	36	173,30	160,51
Tiecher <i>et al.</i> , 2012	Pato Branco – PR	Mata Atlântica	Trigo/Aveia/Ervilhaca	Latossolo	40	33	76,93	67,11
Bayer <i>et al.</i> , 2002	Oeste de Santa Catarina – SC	Mata Atlântica	Trigo/Soja	Latossolo	25	50	128,30	82,10
Reis <i>et al.</i> , 2014	Santo Ângelo – RS	Mata Atlântica	Trigo/Soja	Latossolo	100	40	124,90	90,90
Dieckow <i>et al.</i> , 2009	Santo Ângelo – RS	Mata Atlântica	Trigo/Soja	Latossolo	20	40	64,41	50,57
Dieckow <i>et al.</i> , 2009	Eldorado do Sul – RS	Pampa	Milho/Soja/Aveia	Argissolo	20	34	39,32	27,76
Carvalho <i>et al.</i> , 2009	Vilhena – RO	Amazônia	Arroz	Latossolo	30	1	49,00	47,60
Carvalho <i>et al.</i> , 2009	Vilhena – RO	Amazônia	Arroz	Latossolo	30	2	49,00	55,40
Medeiros, 2019	Santana do Ipanema – AL	Caatinga	Milho/Feijão/Algodão	Planossolo	50	47	103,39	53,51
Medeiros, 2019	Santana do Ipanema – AL	Caatinga	Milho/Feijão	Neossolo Litólico	50	2	97,44	110,78
Medeiros, 2019	Santana do Ipanema – AL	Caatinga	Milho/Feijão	Neossolo Litólico	50	38	97,44	57,83
Medeiros, 2019	Batalha – AL	Caatinga	Milho/Feijão/Palma	Luvissolo	70	11	90,87	97,10
Medeiros, 2019	América Dourada – BA	Caatinga	Milho/Feijão/Mamona	Cambissolo	100	5	160,61	177,99
Medeiros, 2019	América Dourada – BA	Caatinga	Milho/Feijão/Mamona	Cambissolo	100	15	160,61	193,05
Medeiros, 2019	América Dourada – BA	Caatinga	Milho/Feijão/Mamona	Cambissolo	100	20	160,61	171,59
Medeiros, 2019	América Dourada – BA	Caatinga	Milho/Feijão/Mamona	Cambissolo	100	30	160,61	153,76

Estudo	Localização	Bioma	Cobertura vegetal	Tipo de solo	Camada (cm)	Tempo de conversão	Estoque de carbono (Mg ha ⁻¹)	
							VN	PC
Medeiros, 2019	América Dourada – BA	Caatinga	Milho/Feijão/Mamona	Cambissolo	100	35	160,61	144,69
Medeiros, 2019	América Dourada – BA	Caatinga	Milho/Feijão/Mamona	Cambissolo	100	40	160,61	130,66
Medeiros, 2019	América Dourada – BA	Caatinga	Milho/Feijão/Mamona	Cambissolo	30	33	82,93	80,20
Medeiros, 2019	América Dourada – BA	Caatinga	Milho/Feijão/Mamona	Cambissolo	30	46	82,93	89,13
Medeiros, 2019	Senhor do Bonfim – BA	Caatinga	Milho/Feijão	Planossolo	50	10	76,45	48,33
Medeiros, 2019	Senhor do Bonfim – BA	Caatinga	Milho/Feijão	Planossolo	50	15	76,45	54,93
Medeiros, 2019	Senhor do Bonfim – BA	Caatinga	Milho/Feijão	Planossolo	70	8	105,19	112,93
Medeiros, 2019	Senhor do Bonfim – BA	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	50	18	84,48	89,02
Medeiros, 2019	Catolé do Rocha – PB	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	90	12	104,99	103,32
Medeiros, 2019	Catolé do Rocha – PB	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	90	15	104,99	93,21
Medeiros, 2019	Catolé do Rocha – PB	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	70	50	99,59	98,53
Medeiros, 2019	Catolé do Rocha – PB	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	90	40	131,16	129,85
Medeiros, 2019	Santa Luzia – PB	Caatinga	Milho/Feijão/Algodão	Luvissolo	50	19	100,66	48,95
Medeiros, 2019	Santa Luzia – PB	Caatinga	Milho/Feijão/Algodão	Luvissolo	50	38	100,66	74,02
Medeiros, 2019	Santa Luzia – PB	Caatinga	Milho/Feijão/Algodão	Luvissolo	50	90	100,66	51,97
Medeiros, 2019	Santa Luzia – PB	Caatinga	Milho/Feijão/Algodão	Luvissolo	70	20	80,73	50,76
Medeiros, 2019	Santa Luzia – PB	Caatinga	Milho/Feijão/Algodão	Luvissolo	70	30	80,73	68,52
Gonzaga, 2017	Delmiro Gouveia – AL	Caatinga	Milho/Feijão	Neossolo Quartzarênico	30	4	33,19	31,05
Gonzaga, 2017	Delmiro Gouveia – AL	Caatinga	Milho/Feijão	Neossolo Quartzarênico	30	15	33,19	23,61
Gonzaga, 2017	Inhapí – AL	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	30	30	42,61	44,92
Gonzaga, 2017	Pariconha – AL	Caatinga	Milho/Feijão	Neossolo Regolítico	30	4	40,41	35,59
Moreira, 2013	Irecê – BA	Caatinga	Milho/Feijão	Cambissolo	40	27	54,06	50,21
Maia <i>et al.</i> , 2007	Sobral – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Luvissolo	40	5	73,62	62,35
Maia <i>et al.</i> , 2007	Sobral – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Luvissolo	40	5	73,62	87,32
Maia <i>et al.</i> , 2007	Sobral – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Luvissolo	40	5	73,62	73,36
Maia <i>et al.</i> , 2007	Sobral – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Luvissolo	40	5	73,62	92,90
Maia <i>et al.</i> , 2007	Sobral – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Luvissolo	40	5	47,15	58,04

Estudo	Localização	Bioma	Cobertura vegetal	Tipo de solo	Camada (cm)	Tempo de conversão	Estoque de carbono (Mg ha ⁻¹)	
							VN	PC
Nogueira, 2009	Sobral – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Luvissolo	5	10	17,82	14,03
Nogueira, 2009	Sobral – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Luvissolo	5	10	27,40	24,74
Nogueira, 2009	Sobral – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Luvissolo	5	10	27,40	16,79
Nogueira, 2009	Sobral – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Luvissolo	5	10	27,40	19,90
Nogueira, 2009	Sobral – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Luvissolo	5	10	27,40	22,97
Nunes <i>et al.</i> , 2006	Sobral – CE	Caatinga	Milho	Luvissolo	20	1	57,34	71,98
Nunes <i>et al.</i> , 2006	Sobral – CE	Caatinga	Milho	Luvissolo	20	2	57,34	64,66
Nunes <i>et al.</i> , 2006	Sobral – CE	Caatinga	Milho	Luvissolo	20	1	57,34	57,34
Nunes <i>et al.</i> , 2006	Sobral – CE	Caatinga	Milho	Luvissolo	20	2	57,34	39,77
Nunes <i>et al.</i> , 2006	Sobral – CE	Caatinga	Milho	Luvissolo	20	3	57,34	51,24
Nunes <i>et al.</i> , 2006	Sobral – CE	Caatinga	Milho	Luvissolo	20	4	57,34	47,09
Nunes <i>et al.</i> , 2006	Sobral – CE	Caatinga	Milho	Luvissolo	20	5	57,34	50,02
Silva, 2008	Sobral – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Luvissolo	5	8	26,75	20,82
Silva, 2008	Sobral – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Luvissolo	5	8	26,75	19,91
Silva, 2008	Sobral – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Luvissolo	5	8	26,75	17,33
Oliveira <i>et al.</i> , 2015	Limoeiro do Norte – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Cambissolo	50	25	58,24	63,47
Bernardi <i>et al.</i> , 2007	Paraipaba – CE	Caatinga	Milho/Feijão	Neossolo Quartzarênico	40	2	27,57	24,23
Fraga; Salcedo, 2004	Juarez Távora – PB	Caatinga	Milho/Feijão	Neossolo Quartzarênico	7.5	14	118,00	96,60
Fraga; Salcedo, 2004	Juarez Távora – PB	Caatinga	Milho/Feijão	Neossolo Quartzarênico	7.5	16	118,00	63,00
Lima <i>et al.</i> , 2011	Esperantina – PI	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	10	3	34,16	25,65
Lima <i>et al.</i> , 2011	Esperantina – PI	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	10	6	34,16	42,60
Lima <i>et al.</i> , 2011	Esperantina – PI	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	10	10	34,16	45,31
Lima <i>et al.</i> , 2011	Esperantina – PI	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	10	2	34,16	19,66
Lima <i>et al.</i> , 2011	Esperantina – PI	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	10	3	35,59	18,08
Lima <i>et al.</i> , 2011	Esperantina – PI	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	10	6	35,59	40,00
Lima <i>et al.</i> , 2011	Esperantina – PI	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	10	10	35,59	35,14
Lima <i>et al.</i> , 2011	Esperantina – PI	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	10	2	35,59	13,79

Estudo	Localização	Bioma	Cobertura vegetal	Tipo de solo	Camada (cm)	Tempo de conversão	Estoque de carbono (Mg ha ⁻¹)	
							VN	PC
Santana <i>et al.</i> , 2019	Araripina – PE	Caatinga	Milho/Feijão	Neossolo Litólico	60	28	54,50	22,30
Santana <i>et al.</i> , 2019	Bodocó – PE	Caatinga	Milho/Feijão	Argissolo	100	15	98,40	89,50
Santana <i>et al.</i> , 2019	Exu – PE	Caatinga	Milho/Feijão	Latossolo	100	20	72,10	57,20
Santana <i>et al.</i> , 2019	Salgueiro – PE	Caatinga	Milho/Feijão	Planossolo	60	15	37,70	15,20

Tabela A.VII.22. Estudos utilizados para avaliar a conversão de vegetação nativa (VN) para sistema de direto (SPD).

Estudo	Localização	Bioma	Tipo de solo	Camada (cm)	Tempo de conversão	Estoque de carbono (Mg ha ⁻¹)	
						VN	SPD
Araújo <i>et al.</i> , 2017	Uruçuí – PI	Cerrado	Latossolo	20	4	14,26	17,91

Estudo	Localização	Bioma	Tipo de solo	Camada (cm)	Tempo de conversão	Estoque de carbono (Mg ha ⁻¹)	
						VN	SPD
Ferreira <i>et al.</i> , 2016	Planaltina – DF	Cerrado	Latossolo	100	29	164,30	145,80
				100	29		135,80
Corazza <i>et al.</i> , 1999	Planaltina – DF	Cerrado	Latossolo	20	15	39,77	38,74
Jantalia <i>et al.</i> , 2007	Planaltina – DF	Cerrado	Latossolo	30	20	96,60	85,90
				30	20		81,30
Figueiredo <i>et al.</i> , 2018	Planaltina – DF	Cerrado	Latossolo	20	18	57,20	46,71
				20	18		47,70
Carvalho <i>et al.</i> , 2010	Montividiu – GO	Cerrado	Latossolo	30	21	75,40	60,90
Carvalho <i>et al.</i> , 2014	Montividiu – GO	Cerrado	Latossolo	30	23	75,40	61,50
D’Andréa <i>et al.</i> , 2004	Morrinhos – GO	Cerrado	Latossolo	40	5	61,10	63,54
				40	5		72,61
Freitas <i>et al.</i> , 2000	Goiânia – GO	Cerrado	Latossolo	40	5	81,90	80,27
Souza <i>et al.</i> , 2016	Jataí – GO	Cerrado	Plintossolo	20	11	45,90	43,20
				20	7		38,80
Bayer <i>et al.</i> , 2002	Luziânia – GO	Cerrado	Latossolo	20	8	35,40	38,63
Bayer <i>et al.</i> , 2006	Costa Rica – MS	Cerrado	Latossolo	20	6	54,00	54,12
Maia <i>et al.</i> , 2010	Água Boa – MT	Cerrado	Latossolo	30	18	35,21	39,73
Maia <i>et al.</i> , 2010	Itiquira – MT	Cerrado	Latossolo	30	17	67,14	73,81
Maia <i>et al.</i> , 2010	Novo S. Joaquim – MT	Cerrado	Latossolo	30	19	52,96	46,12
Maia <i>et al.</i> , 2010	Pontes e Lacerda – MT	Cerrado	Latossolo	30	3	47,61	47,09
Maia <i>et al.</i> , 2010	Sapezal – MT	Cerrado	Neossolo	30	7	25,97	30,16
			Latossolo	30	7	49,00	54,40
Maia <i>et al.</i> , 2010	Itaúba – MT	Amazônia	Latossolo	30	7	54,38	47,63
Maia <i>et al.</i> , 2010	R. Cascalheira – MT	Amazônia	Latossolo	30	5	38,49	31,16
Maia <i>et al.</i> , 2010	Sorriso – MT	Amazônia	Latossolo	30	6	61,42	63,26
				30	15		58,16
				30	20		61,04
				30	6	46,60	53,77

Estudo	Localização	Bioma	Tipo de solo	Camada (cm)	Tempo de conversão	Estoque de carbono (Mg ha ⁻¹)	
						VN	SPD
Carvalho <i>et al.</i> , 2010	Santa Carmem – MT	Amazônia	Latossolo	30	13	74,10	56,40
Maia <i>et al.</i> , 2010	P. do Oeste – RO	Amazônia	Latossolo	30	12	32,35	38,24
Carvalho <i>et al.</i> , 2009	Vilhena – RO	Amazônia	Latossolo	30	1	49,00	66,50
				30	2		54,50
				30	3		67,50
Loss <i>et al.</i> , 2016	Marmeleiro – PR	M. Atlântica	Nitossolo	40	15	79,55	94,12

A.VII.4. Informação suplementar para o Subsetor Produtos Florestais Madeireiros (4.G)**Tabela A.VII.23.** Dados de produção, importação, exportação para o Brasil de madeira roliça, madeira serrada e painéis de madeira.

Ano	Madeira roliça (<i>Roundwood</i>)			Madeira serrada (<i>Sawnwood</i>)			Painéis de madeira (<i>Wood-Based Panels</i>)		
	Produção	Importação	Exportação	Produção	Importação	Exportação	Produção	Importação	Exportação
	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
1961	104.811.504	11.900	55.100	6.450.000	-	1.114.600	251.400	400	5.200
1962	106.768.603	12.600	40.300	6.769.000	-	853.500	252.400	-	3.400
1963	105.847.128	10.900	43.800	5.693.000	-	836.500	255.800	-	5.800
1964	106.684.150	500	50.800	5.531.000	-	1.101.300	276.500	-	17.800
1965	108.068.759	2.000	53.100	5.661.000	-	1.192.600	299.600	-	26.400
1966	110.372.043	100	58.100	6.073.002	200	1.274.100	406.585	-	29.100
1967	112.712.081	-	79.100	6.618.302	500	1.111.500	460.038	-	34.800
1968	114.872.955	-	117.300	6.965.000	1.000	1.394.600	523.197	-	41.700
1969	117.022.762	200	114.300	7.467.202	-	1.114.200	589.445	-	40.500
1970	119.840.582	6.000	84.400	8.035.000	-	1.074.500	722.986	-	72.600
1971	121.278.743	26.600	119.400	8.100.000	500	1.154.500	916.004	100	110.800
1972	121.116.926	69.400	130.200	7.550.000	4.600	1.040.000	1.238.013	200	119.700
1973	121.587.967	81.800	426.000	7.109.000	33.700	1.055.000	1.322.607	100	134.200
1974	123.323.265	93.700	140.000	7.642.402	82.900	711.500	1.408.780	200	136.300
1975	130.343.926	97.000	12.400	10.128.602	77.113	500.400	1.571.000	100	143.400
1976	134.534.060	50.600	22.600	11.243.102	179.900	438.900	1.786.800	100	158.800
1977	139.291.830	46.100	4.300	12.643.000	256.800	596.900	1.949.000	2.400	187.700
1978	147.877.953	84.400	10.300	13.337.000	360.200	568.400	2.028.000	3.300	253.500
1979	158.470.406	58.100	12.700	14.070.102	311.200	827.500	2.036.000	1.000	276.000
1980	167.438.475	44.700	7.000	14.881.000	461.700	809.000	2.266.000	1.000	283.900
1981	168.795.562	31.100	6.100	15.852.000	334.700	736.700	2.342.000	300	331.000
1982	171.839.359	31.000	8.000	16.470.000	341.600	523.700	2.164.000	500	273.400
1983	175.388.028	26.500	4.200	17.199.000	270.700	573.000	2.289.000	400	341.700

Relatório do Inventário Nacional | 1990-2022

Ano	Madeira roliça (<i>Roundwood</i>)			Madeira serrada (<i>Sawnwood</i>)			Painéis de madeira (<i>Wood-Based Panels</i>)		
	Produção	Importação	Exportação	Produção	Importação	Exportação	Produção	Importação	Exportação
	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³
1984	178.325.516	45.400	30.300	17.781.000	339.100	525.900	2.278.000	500	401.200
1985	181.200.611	55.800	26.200	17.781.000	353.900	492.900	2.256.000	300	404.000
1986	183.731.965	64.000	9.400	18.063.000	424.300	455.200	2.289.000	400	427.400
1987	186.515.620	55.400	9.500	18.063.000	308.100	552.200	2.524.000	900	417.600
1988	189.729.645	25.900	46.000	18.179.000	111.900	651.700	2.613.000	900	606.400
1989	197.529.534	40.000	17.100	18.179.000	258.400	561.600	2.658.000	1.900	591.700
1990	194.577.560	4.287	80.085	13.730.000	265.000	508.600	2.658.000	7.800	563.200
1991	198.423.030	5.679	78.692	15.700.000	255.400	507.200	2.508.000	4.900	542.500
1992	202.514.910	8.871	364.276	15.890.000	228.444	718.521	2.658.000	2.765	718.675
1993	205.686.483	8.245	260.635	16.340.000	219.373	1.017.187	2.933.000	4.480	1.012.096
1994	208.912.937	9.900	654.500	16.610.000	381.034	1.404.900	3.243.686	8.557	1.104.204
1995	211.129.834	11.200	1.240.400	18.100.000	456.000	1.928.000	3.095.796	69.700	1.014.700
1996	212.306.210	5.300	513.300	18.830.000	573.000	1.449.000	3.328.096	211.800	927.300
1997	213.479.519	11.000	793.100	19.310.000	380.500	1.587.000	3.504.378	254.800	954.300
1998	213.703.275	31.000	935.300	19.520.000	245.000	1.589.000	3.647.437	126.500	840.000
1999	231.562.657	16.400	442.000	20.530.000	145.300	2.174.000	4.654.000	61.400	1.388.000
2000	235.401.621	25.640	753.600	21.300.000	158.700	2.464.000	5.183.000	28.300	1.615.683
2001	223.256.218	90.034	563.079	21.950.000	165.500	2.520.000	5.537.524	72.500	1.840.906
2002	230.912.063	16.480	950.611	22.488.000	142.300	2.915.000	6.053.986	92.900	2.330.602
2003	255.902.476	19.157	123.305	23.090.000	92.000	3.374.176	7.006.005	132.300	2.947.400
2004	243.254.745	14.005	100.021	23.480.000	94.614	3.657.000	7.893.159	182.700	3.838.664
2005	231.569.000	12.464	25.004	23.557.000	146.393	3.648.365	8.681.789	304.910	4.403.549
2006	229.984.000	16.490	7.225	23.797.000	134.000	3.167.000	9.061.255	371.686	3.403.240
2007	235.158.000	8.000	18.553	24.180.000	145.000	3.167.000	8.688.951	279.300	3.022.062
2008	229.064.000	18.832	27.473	21.847.000	113.000	2.121.000	8.436.456	286.733	2.435.481

Ano	Madeira roliça (<i>Roundwood</i>)			Madeira serrada (<i>Sawnwood</i>)			Painéis de madeira (<i>Wood-Based Panels</i>)		
	Produção	Importação	Exportação	Produção	Importação	Exportação	Produção	Importação	Exportação
	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³
2009	226.707.000	39.761	5.610	16.844.000	99.975	1.394.137	7.762.539	168.038	1.724.083
2010	235.432.000	28.788	34.254	17.450.000	81.192	1.268.000	8.910.407	186.730	1.375.909
2011	253.144.000	31.302	91.766	16.200.000	56.588	1.227.679	8.915.000	197.994	1.235.926
2012	266.769.000	39.750	86.776	15.170.000	44.535	1.127.743	10.078.000	112.430	1.423.992
2013	260.756.000	38.402	115.017	13.330.000	35.901	1.110.349	10.585.000	128.073	1.593.440
2014	259.233.000	31.177	196.279	11.340.000	32.633	1.369.093	10.410.000	97.590	1.826.000
2015	247.884.000	16.430	110.555	9.980.000	45.728	1.658.930	9.874.000	24.664	2.276.431
2016	267.102.000	46.461	174.206	9.950.000	37.274	2.097.118	10.337.000	13.437	3.101.097
2017	271.967.000	11.136	248.974	10.220.000	96.944	2.763.044	11.052.000	12.723	3.716.012
2019	282.103.000	39.139	402.144	10.240.000	61.549	3.742.043	11.462.000	14.211	4.008.130
2019	264.561.000	34.377	903.200	10.100.000	67.177	3.400.920	11.793.000	21.594	3.683.404
2020	276.865.000	11.982	1.686.384	10.000.000	106.528	2.794.096	12.879.000	23.710	4.130.902
2021	292.595.000	37.530	2.765.157	10.000.000	59.408	4.411.319	14.935.000	53.149	4.299.079
2022	303.898.000	31.202	2.395.637	10.000.000	36.558	3.559.043	12.506.000	11.550	4.100.451

Fonte: Elaborado a partir FAO (2024).

Tabela A.VII.24. Dados de produção, importação, exportação para o Brasil de papel, papelão, polpa de madeira, papel reciclado e madeira roliça industrial.

Ano	Papel + papelão (<i>Paper + Paperboard</i>)			Polpa de madeira + papel reciclado (item agregado) ('Wood Pulp (1875) + 'Rec. Paper (1669) (<i>aggregated item</i>))			Madeira Roliça Industrial (<i>Industrial Roundwood</i>) (1865)		
	Produção	Importação	Exportação	Produção	Importação	Exportação	Produção	Importação	Exportação
	t-métrica	t-métrica	t-métrica	t-métrica	t-métrica		m³	m³	m³
1961	533.100	131.800	-	-	400	-	16.960.000	11.900	55.100
1962	601.700	106.600	100	-	4.100	-	18.057.000	12.600	40.300
1963	656.300	101.000	-	-	400	-	16.267.000	10.900	43.800
1964	718.300	58.700	100	14.500	3.500	-	16.227.000	500	50.800
1965	750.700	39.100	200	11.400	8.500	-	16.726.000	2.000	53.100
1966	813.200	42.400	500	25.100	6.200	-	18.135.000	100	58.100
1967	822.600	105.700	300	21.900	2.400	-	19.572.000	-	79.100
1968	886.900	173.600	200	70.000	11.900	-	20.821.000	-	117.300
1969	952.200	159.600	300	50.700	26.700	-	22.050.000	200	114.300
1970	1.098.600	180.900	1.400	48.400	39.300	-	23.938.000	6.000	84.400
1971	1.237.300	222.200	2.900	95.900	33.300	-	24.718.000	26.600	119.400
1972	1.345.700	264.300	9.700	150.100	140.700	-	23.948.000	69.400	130.200
1973	1.587.900	295.900	41.000	147.600	193.800	-	23.904.000	81.800	426.000
1974	1.853.700	480.200	30.200	215.300	133.700	-	24.768.000	93.400	140.000
1975	1.687.800	217.000	7.200	109.300	153.200	-	30.636.000	96.300	12.400
1976	2.044.900	260.300	29.600	71.700	140.640	-	33.875.000	50.500	22.600
1977	2.235.500	267.500	42.100	68.100	94.600	-	37.328.000	46.100	4.300
1978	2.534.100	276.200	105.800	70.000	267.900	-	44.492.000	84.400	10.300
1979	2.979.000	298.700	143.900	74.900	582.400	-	53.856.008	58.100	12.700
1980	3.361.000	261.400	197.600	60.200	890.450	-	61.722.000	44.700	7.000
1981	3.102.000	235.600	337.000	32.600	952.700	-	61.210.008	31.100	6.100
1982	3.329.000	259.300	264.300	15.100	824.600	-	62.700.000	31.000	8.000
1983	3.426.000	206.600	440.700	11.800	987.900	-	64.439.000	26.500	4.200
1984	3.768.000	215.800	702.700	27.700	978.300	-	66.122.000	45.400	30.300

Ano	Papel + papelão (<i>Paper + Paperboard</i>)			Polpa de madeira + papel reciclado (item agregado) ('Wood Pulp (1875) + 'Rec. Paper (1669) (<i>aggregated item</i>))			Madeira Rolíça Industrial (<i>Industrial Roundwood</i>) (1865)		
	Produção	Importação	Exportação	Produção	Importação	Exportação	Produção	Importação	Exportação
	t-métrica	t-métrica	t-métrica	t-métrica	t-métrica		m³	m³	m³
1985	4.022.000	136.900	543.400	33.300	931.100	-	67.897.000	55.800	26.200
1986	4.525.000	281.716	692.200	57.200	882.900	-	69.366.008	64.000	9.400
1987	4.712.000	323.300	609.400	70.000	815.600	-	70.802.016	55.400	9.500
1988	4.685.000	215.500	1.003.100	80.300	1.062.900	-	72.473.008	25.900	46.000
1989	4.806.000	258.000	830.200	112.200	1.000.800	-	78.973.016	40.000	17.100
1990	4.844.000	233.700	839.700	86.200	1.037.700	-	74.277.024	4.287	80.085
1991	4.888.000	365.000	1.039.000	107.500	1.379.300	-	76.676.016	5.679	78.692
1992	4.913.000	265.322	1.129.952	100.573	1.684.903	-	79.264.016	8.506	364.276
1993	5.352.000	364.800	1.274.820	152.900	2.050.852	-	81.350.000	7.407	259.100
1994	5.730.000	540.200	1.435.000	146.364	2.081.073	-	83.435.000	8.800	649.100
1995	5.856.000	931.900	1.223.200	252.000	1.990.505	-	84.518.000	10.100	1.235.000
1996	5.885.000	866.200	1.046.700	284.200	2.250.800	-	84.601.000	5.300	512.000
1997	6.475.000	1.171.400	1.043.300	298.500	2.505.300	-	84.684.000	11.000	791.800
1998	6.524.000	854.400	1.242.606	341.800	2.805.732	-	83.764.000	14.000	935.300
1999	6.889.000	722.700	959.716	373.600	3.111.150	-	100.395.000	16.000	442.000
2000	7.116.000	800.800	839.505	371.500	3.014.211	-	102.994.000	25.240	753.600
2001	7.354.000	598.500	939.174	328.400	3.353.980	-	89.828.000	90.034	563.079
2002	7.661.000	508.800	1.082.450	364.128	3.420.063	-	96.439.000	16.480	950.611
2003	7.811.000	514.635	1.631.693	364.172	4.570.323	-	120.360.000	19.157	123.305
2004	8.221.000	654.019	1.702.285	413.550	4.988.594	-	106.618.000	14.005	100.021
2005	8.597.000	805.525	1.909.631	367.950	5.546.938	-	117.987.000	12.464	25.004
2006	8.725.000	930.459	1.810.412	353.421	6.240.137	-	118.754.000	16.490	7.225
2007	9.009.000	1.046.296	1.838.574	340.300	6.575.259	-	121.521.000	8.000	18.553
2008	9.409.000	1.201.200	1.855.402	362.300	7.206.020	-	115.390.000	18.832	27.473
2009	9.428.000	1.005.832	1.910.000	388.734	8.587.601	-	122.160.000	39.761	5.610

Ano	Papel + papelão (<i>Paper + Paperboard</i>)			Polpa de madeira + papel reciclado (item agregado) ('Wood Pulp (1875) + 'Rec. Paper (1669) (<i>aggregated item</i>))			Madeira Rolça Industrial (<i>Industrial Roundwood</i>) (1865)		
	Produção	Importação	Exportação	Produção	Importação	Exportação	Produção	Importação	Exportação
	t-métrica	t-métrica	t-métrica	t-métrica	t-métrica		m ³	m ³	m ³
2010	9.978.000	1.388.909	1.970.020	444.540	8.798.019	-	128.400.000	28.674	34.254
2011	10.159.000	1.314.502	1.942.038	420.991	8.906.718	-	139.969.000	30.982	91.746
2012	10.260.000	1.281.470	1.764.273	431.150	8.940.172	-	146.804.000	39.553	86.756
2013	10.444.000	1.219.750	1.749.055	453.907	9.879.589	-	142.633.000	38.199	114.997
2014	10.398.000	1.222.713	1.718.421	454.023	11.055.858	-	137.684.000	30.974	196.259
2015	10.477.000	775.314	1.920.561	429.286	12.048.411	-	136.177.000	16.073	110.535
2016	10.335.000	617.451	1.938.847	386.928	13.553.773	-	145.102.000	46.104	174.097
2017	10.471.000	672.601	1.960.735	241.494	13.894.896	-	150.955.000	11.136	248.974
2019	10.433.000	633.762	1.853.546	220.397	15.235.287	-	158.056.000	39.139	402.144
2019	10.534.000	598.111	2.021.343	286.814	15.519.109	-	143.006.000	34.377	903.200
2020	10.184.000	476.283	1.954.749	224.540	16.469.121	-	154.720.000	11.982	1.686.384
2021	10.666.000	501.492	1.884.662	368.167	16.369.325	-	163.556.000	37.530	2.765.157
2022	11.040.000	469.757	2.263.834	207.229	19.837.477	-	170.681.000	31.179	2.395.633

Fonte: Elaborado a partir de FAO (2024).

Tabela A.VII.25. Dados de produção, importação, exportação para o Brasil de outra madeira roliça industrial, cavacos, partículas, carvão vegetal e resíduos de madeira.

Ano	Outra madeira roliça industrial (<i>Other Industrial Roundwood</i>) (1871)			Cavacos e partículas (<i>Chips and particles</i>)		Carvão vegetal (<i>Wood charcoal</i>)		Resíduos de Madeira (<i>Wood residues</i>)	
	Produção	Importação	Exportação	Importação	Exportação	Importação	Exportação	Importação	Exportação
	m³	m³	m³	m³	m³	t-métrica	t-métrica	m³	m³
1961	2.840.000	-	1.000	-	-	-	-	-	-
1962	2.927.000	-	200	-	-	-	-	-	-
1963	3.017.000	-	-	-	-	-	-	-	-
1964	3.107.000	-	-	-	-	-	-	-	-
1965	3.196.000	-	-	-	-	-	-	-	-
1966	3.285.000	-	-	-	-	-	-	-	-
1967	3.372.000	-	-	-	-	-	-	-	-
1968	3.461.000	-	-	-	-	-	-	-	-
1969	3.550.000	-	-	-	-	-	-	-	-
1970	3.638.000	-	-	-	-	-	-	-	-
1971	3.728.000	2.800	-	-	-	-	-	-	-
1972	3.818.000	15.200	-	-	-	-	-	-	-
1973	3.909.000	15.200	-	-	-	-	-	-	-
1974	4.003.000	20.200	-	-	-	-	-	-	-
1975	4.099.000	20.100	-	-	-	-	-	-	-
1976	4.198.000	15.200	-	-	-	-	-	-	-
1977	4.299.000	5.700	-	-	-	-	14.300	-	-
1978	4.402.000	7.700	-	-	-	-	23.900	-	-
1979	4.506.000	7.700	-	-	-	-	31.400	-	-
1980	4.610.000	9.300	-	-	-	-	25.800	-	-
1981	4.715.000	7.500	-	-	-	-	9.400	-	-
1982	4.818.000	5.500	-	-	-	-	2.900	-	-
1983	4.921.000	3.000	-	-	-	-	6.700	-	-
1984	5.024.000	10.000	-	-	-	-	-	-	-

Ano	Outra madeira roliça industrial (<i>Other Industrial Roundwood</i>) (1871)			Cavacos e partículas (<i>Chips and particles</i>)		Carvão vegetal (<i>Wood charcoal</i>)		Resíduos de Madeira (<i>Wood residues</i>)	
	Produção	Importação	Exportação	Importação	Exportação	Importação	Exportação	Importação	Exportação
	m³	m³	m³	m³	m³	t-métrica	t-métrica	m³	m³
1985	5.125.000	7.300	-	-	-	-	-	-	-
1986	5.226.000	6.200	-	-	-	-	-	-	-
1987	5.325.000	3.100	-	-	-	-	-	-	-
1988	5.422.000	1.400	-	-	-	-	-	-	-
1989	5.516.000	2.000	-	-	-	-	17.600	-	-
1990	5.608.000	-	-	-	-	-	7.100	-	-
1991	5.696.000	-	-	-	-	-	10.500	-	-
1992	5.784.000	-	-	79	36	459	12.814	2.238	2.047
1993	5.870.000	-	-	61	212.052	347	21.416	1.700	113
1994	5.955.000	-	-	61	533.875	6.600	11.277	200	61
1995	6.038.000	-	-	100	607.300	7.400	10.300	300	300
1996	6.121.000	-	-	100	612.800	7.600	10.300	-	-
1997	6.204.000	-	-	100	579.000	7.600	10.300	-	-
1998	6.284.000	-	-	0	830.000	9.500	9.600	-	-
1999	7.361.000	-	-	0	1.096.000	9.500	9.000	-	-
2000	7.843.000	-	-	300	1.300.000	20.000	8.000	93	18
2001	6.703.000	-	-	0	1.260.000	18.200	9.300	130	57
2002	7.287.000	-	-	1.100	1.251.500	18.000	10.100	200	159
2003	9.723.000	-	-	1.100	1.754.000	18.000	10.100	51	151.000
2004	8.282.000	-	-	1.100	2.216.000	6.100	20.598	4.430	121.997
2005	8.688.000	-	-	700	2.405.000	6.100	15.998	145.000	512.000
2006	8.736.000	-	-	2.000	2.134.000	17.200	16.000	267.000	905.000
2007	8.313.000	-	-	3.000	2.269.000	31.800	15.500	382.000	41.000
2008	7.853.000	-	-	2.000	2.262.000	100.000	8.000	296.000	4.000

Ano	Outra madeira roliça industrial (<i>Other Industrial Roundwood</i>) (1871)			Cavacos e partículas (<i>Chips and particles</i>)		Carvão vegetal (<i>Wood charcoal</i>)		Resíduos de Madeira (<i>Wood residues</i>)	
	Produção	Importação	Exportação	Importação	Exportação	Importação	Exportação	Importação	Exportação
	m³	m³	m³	m³	m³	t-métrica	t-métrica	m³	m³
2009	7.799.000	-	-	8.000	1.640.000	84.762	6.488	39.000	3.720
2010	8.047.000	-	-	5.000	1.898.000	124.188	3.000	42.000	1.000
2011	8.798.000	-	-	946	1.699.000	110.460	927	56.000	855
2012	10.017.000	-	-	368	1.749.000	77.354	882	33.000	1.794
2013	9.704.000	-	-	377	1.986.000	38.833	1.211	29.000	6.409
2014	9.017.000	-	-	537	2.162.000	41.256	1.287	31.450	654
2015	8.147.000	-	-	613	2.250.000	12.613	4.151	16.531	2.581
2016	8.229.000	-	-	790	2.574.000	3.990	5.410	13.529	3.880
2017	8.753.000	-	-	398	2.594.000	6.189	3.844	8.637	0
2019	8.969.000	-	-	532	2.597.691	14.767	4.194	11.230	78
2019	8.710.000	-	-	765	1.562.335	22.769	14.687	11.357	47
2020	9.194.000	-	-	787	1.721.454	12.404	15.784	12.951	418
2021	10.219.000	-	-	1.125	1.863.947	25.816	13.236	23.186	418
2022	9.745.000	-	-	1.290	1.977.143	31.104	4.286	18.997	2

Fonte: Elaborado a partir de FAO (2024).

Tabela A.VII.26. Estoque cumulativo de carbono e mudança no estoque de carbono em sítios de deposição de resíduos sólidos no Brasil.

ANO	Produtos florestais em sítios de deposição de resíduos sólidos no país	Variável 1B
	Estoque de carbono (no início do ano) (kt C)	Mudança no estoque de C (durante determinado ano) (kt C)
1991	764	344
1992	1.134	370
1993	1.492	358
1994	1.917	425
1995	2.328	411
1996	2.769	441
1997	3.384	614
1998	4.118	735
1999	4.912	794
2000	5.819	906
2001	6.682	863
2002	7.527	845
2003	8.353	826
2004	9.155	803
2005	10.083	927
2006	11.089	1.006
2007	12.155	1.067
2008	13.354	1.199
2009	14.589	1.235
2010	15.799	1.209
2011	17.307	1.508
2012	18.642	1.335
2013	19.856	1.214
2014	21.087	1.231
2015	22.122	1.035
2016	23.270	1.149
2017	24.419	1.149
2018	25.567	1.149
2019	26.716	1.149
2020	27.864	1.149
2021	29.013	1.149
2022	30.161	1.149

Tabela A.VII.27. Contribuição anual de Produtos de Madeira Colhida (HWP, da sigla em inglês para *Harvested Wood Products*) para o total de remoções e emissões de CO₂ do Setor LULUCF e informações básicas.

Ano do inventário	Número da variável								
	1A	1B	2A	2B	3	4	5	6	7
	Mudança anual no estoque de HWP em uso do consumo	Mudança anual no estoque de HWP em SWDS do consumo	Mudança anual no estoque de HWP em uso produzido de colheita no país	Mudança anual no estoque de HWP em SWDS produzido de colheita no país	Importação anual de madeira e produtos de papel + lenha, polpa, papel reciclado, tora/ cavacos	Exportação anual de madeira e produtos de papel + lenha, polpa, papel reciclado, tora/ cavacos	Colheita anula no país	Emissão anual de carbono para a atmosfera do consumo de HWP (de lenha & produtos em uso e produtos em SWDS)	Emissão anual de carbono para a atmosfera do consumo de HWP (incluindo de lenha)
	$\Delta\text{CHWP IU DC}$	$\Delta\text{CHWP SWDS DC}$	$\Delta\text{C HWP IU DH}$	$\Delta\text{CHWP SWDS DH}$	P _{IM}	P _{EX}	H	$\uparrow\text{CHWP DC}$	$\uparrow\text{CHWP DH}$
	kt C /ano								
1990	3.726	420	3.753	417	281	1.313	108.963	103.786	104.794
1991	4.532	344	4.569	342	345	1.550	111.117	105.035	106.206
1992	4.314	370	4.612	367	286	2.048	113.408	106.963	108.429
1993	4.434	358	4.962	356	350	2.564	115.184	108.177	109.867
1994	4.531	425	5.248	420	513	3.248	116.991	109.301	111.323
1995	5.153	411	5.883	404	793	3.712	118.233	109.751	111.945
1996	5.755	441	6.006	433	875	3.079	118.891	110.490	112.452
1997	5.995	614	6.370	603	939	3.409	119.549	110.469	112.576
1998	5.590	735	6.355	724	723	3.806	119.674	110.266	112.595
1999	5.866	794	6.994	786	600	4.127	129.675	119.490	121.895
2000	6.114	906	7.442	897	645	4.517	131.825	120.932	123.486
2001	6.183	863	7.699	853	586	4.683	125.023	113.881	116.471
2002	6.068	845	8.033	837	515	5.332	129.311	117.581	120.441
2003	5.874	826	8.295	820	505	6.371	143.305	130.740	134.190
2004	5.987	803	8.748	795	597	7.202	136.223	122.828	126.680
2005	6.090	927	8.880	917	775	7.954	129.679	115.483	119.882

Relatório do Inventário Nacional | 1990-2022

Ano do inventário	Número da variável								
	1A	1B	2A	2B	3	4	5	6	7
	Mudança anual no estoque de HWP em uso do consumo	Mudança anual no estoque de HWP em SWDS do consumo	Mudança anual no estoque de HWP em uso produzido de colheita no país	Mudança anual no estoque de HWP em SWDS produzido de colheita no país	Importação anual de madeira e produtos de papel + lenha, polpa, papel reciclado, tora/ cavacos	Exportação anual de madeira e produtos de papel + lenha, polpa, papel reciclado, tora/ cavacos	Colheita anual no país	Emissão anual de carbono para a atmosfera do consumo de HWP (de lenha & produtos em uso e produtos em SWDS)	Emissão anual de carbono para a atmosfera do consumo de HWP (incluindo de lenha)
	$\Delta C_{HWP\ IU\ DC}$	$\Delta C_{HWP\ SWDS\ DC}$	$\Delta C_{HWP\ IU\ DH}$	$\Delta C_{HWP\ SWDS\ DH}$	P_{IM}	P_{EX}	H	$\uparrow C_{HWP\ DC}$	$\uparrow C_{HWP\ DH}$
	kt C /ano								
2006	6.786	1.006	8.840	993	911	7.738	128.791	114.172	118.958
2007	6.858	1.067	8.602	1.052	1.000	7.431	131.688	117.333	122.035
2008	6.255	1.199	7.245	1.181	1.080	7.006	128.276	114.896	119.850
2009	3.757	1.235	4.202	1.221	838	6.756	126.956	116.046	121.532
2010	4.731	1.209	4.913	1.193	1.055	6.854	131.842	120.103	125.736
2011	3.974	1.508	4.100	1.491	998	6.761	141.761	130.515	136.169
2012	3.660	1.335	3.776	1.321	924	6.724	149.391	138.596	144.294
2013	2.724	1.214	2.944	1.201	875	7.318	146.023	135.642	141.879
2014	1.330	1.231	1.764	1.218	865	8.162	145.170	135.312	142.188
2015	-94	1.035	866	1.027	600	8.975	138.815	129.500	136.923
2016	-541	1.149	885	1.141	511	10.321	149.577	139.160	147.551
2017	-558	1.149	1.248	1.142	479	11.047	152.302	141.142	149.911
2018	-976	1.149	1.309	1.143	458	12.265	157.978	145.998	155.526
2019	-691	1.149	1.307	1.142	481	11.970	148.154	136.208	145.705
2020	-358	1.149	1.458	1.143	399	12.715	155.044	141.938	152.443
2021	-344	1.149	2.325	1.143	490	14.171	163.853	149.367	160.385
2022	-622	1.149	1.612	1.144	378	15.263	170.183	154.772	167.427

Nota: SWDS – local de disposição final de resíduo sólidos (*da sigla em inglês, Solid Waste Disposal Sites*).

Tabela A.VII.28. Contribuição de Produtos de Madeira Colhida (HWP, da sigla em inglês para *Harvested Wood Products*) para emissões e remoções do Setor LULUCF.

Ano do inventário	Contribuição de HWP para emissões/remoções de LULUCF por abordagem					
	Abordagem			Abordagem do decaimento simples		
	Mudança no estoque	Fluxo atmosférico	Produção	Colheita anual	Emissão anual	Contribuição total
	Emissões líquidas (kt CO ₂ eq)			Remoções brutas (kt CO ₂ eq)	Emissões brutas (kt CO ₂ eq)	Emissões líquidas (kt CO ₂ eq)
1990	-15.202	-18.984	-15.289	-399.533	380.548	-18.984
1991	-17.880	-22.299	-18.005	-407.429	385.129	-22.299
1992	-17.173	-23.633	-18.259	-415.831	392.197	-23.633
1993	-17.572	-25.692	-19.496	-422.343	396.651	-25.692
1994	-18.170	-28.199	-20.782	-428.968	400.769	-28.199
1995	-20.400	-31.100	-23.053	-433.520	402.420	-31.100
1996	-22.722	-30.804	-23.610	-435.935	405.132	-30.804
1997	-24.233	-33.291	-25.566	-438.345	405.053	-33.291
1998	-23.189	-34.496	-25.955	-438.804	404.308	-34.496
1999	-24.418	-37.347	-28.527	-475.475	438.128	-37.347
2000	-25.743	-39.939	-30.577	-483.358	443.419	-39.939
2001	-25.834	-40.856	-31.359	-458.419	417.563	-40.856
2002	-25.347	-43.008	-32.523	-474.139	431.132	-43.008
2003	-24.566	-46.072	-33.421	-525.453	479.382	-46.072
2004	-24.895	-49.115	-34.991	-499.483	450.368	-49.115
2005	-25.729	-52.050	-35.921	-475.488	423.438	-52.050
2006	-28.572	-53.603	-36.055	-472.234	418.631	-53.603
2007	-29.058	-52.637	-35.395	-482.858	430.220	-52.637
2008	-27.333	-49.060	-30.894	-470.345	421.284	-49.060
2009	-18.303	-40.003	-19.887	-465.505	425.502	-40.003
2010	-21.781	-43.044	-22.388	-483.420	440.377	-43.044
2011	-20.103	-41.234	-20.502	-519.789	478.555	-41.234
2012	-18.316	-39.582	-18.687	-547.766	508.184	-39.582

Ano do inventário	Contribuição de HWP para emissões/remoções de LULUCF por abordagem					
	Abordagem			Abordagem do decaimento simples		
	Mudança no estoque	Fluxo atmosférico	Produção	Colheita anual	Emissão anual	Contribuição total
	Emissões líquidas (kt CO ₂ eq)			Remoções brutas (kt CO ₂ eq)	Emissões brutas (kt CO ₂ eq)	Emissões líquidas (kt CO ₂ eq)
2013	-14.439	-38.063	-15.198	-535.419	497.356	-38.063
2014	-9.391	-36.147	-10.934	-532.292	496.145	-36.147
2015	-3.447	-34.157	-6.938	-508.988	474.832	-34.157
2016	-2.227	-38.198	-7.431	-548.449	510.252	-38.198
2017	-2.167	-40.917	-8.765	-558.439	517.522	-40.917
2018	-632	-43.924	-8.988	-579.251	535.328	-43.924
2019	-1.676	-43.804	-8.981	-543.232	499.428	-43.804
2020	-2.897	-48.056	-9.538	-568.496	520.440	-48.056
2021	-2.951	-53.114	-12.716	-600.795	547.681	-53.114
2022	-1.929	-56.507	-10.105	-624.004	567.497	-56.507

Nota: De acordo com a metodologia de contabilização usada no Inventário Nacional, é feito um balanço de carbono de uma determinada área em dois pontos no tempo. Por exemplo, quando uma área de floresta é convertida para agricultura, considera-se, inicialmente, que todo seu carbono é emitido (emissões brutas) e, no momento final, que há também carbono na vegetação do novo uso (remoções). A diferença entre estes estoques de carbono inicial e final corresponde às emissões líquidas da vegetação desta área, às quais se somam as emissões líquidas dos solos. As emissões do solo são calculadas por fórmula que atribui fatores de alteração de carbono orgânico deste compartimento para cada uso do solo.

REFERÊNCIAS – APÊNDICE VII

- ABDALA, G. C. *et al.* Above a belowground organic matter and root: shoot ratio in a Cerrado in Central Brazil. **Brasilian Journal of Ecology**, v. 2, n. 1, p. 11-23, 1998.
- ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012. Brasília, 2006. Disponível em: www.ipef.br/estatisticas. Acesso em: 16 set. 2018.
- ALBUQUERQUE, E. R. G. M. **Biomassa de raízes em áreas com diferentes usos da terra e tipos de solos**. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife, 2015.
- ALHO, C. J. R. Biodiversidade do Pantanal: resposta ao regime sazonal de enchente e à degradação ambiental. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 4, p. 957-966, 2008.
- ALHO, C. J. R.; GONÇALVES, H. C. **Biodiversidade do Pantanal**: Ecologia; Conservação. Campo Grande: UNIDERP, 2005. 144 p.
- ALHO, C. J. R.; SABINO, J. Uma agenda de conservação para a biodiversidade do Pantanal. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 327-335.
- ALHO, C. J. R.; SABINO, J. Seasonal Pantanal flood pulse: implications for biodiversity. **Oecologia Australis**, v. 16, n. 4, 2012.
- ALMEIDA FILHO, S. L. *et al.* Características agronômicas de cultivares de milho (*Zea mays* L.) e qualidade dos componentes e silagem. **Rev. Bras. Zootec.**, v. 28, n. 1, p. 7-13, 1999.
- ALTESOR, A. *et al.* Effect of grazing on community structure and productivity of a Uruguayan grassland. **Plant Ecology**, v. 179, p. 83-9, 2005.
- ALVAREZ, C. G. D. *et al.* Avaliação de características agronômicas e de produção de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Ciênc. Agrotec.**, v. 30, n. 3, p. 402-408, 2006.
- ALVES, A. R. **Quantificação de biomassa e ciclagem de nutrientes em áreas de vegetação de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco**. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.
- ALVES, L. F. *et al.* Forest structure and live aboveground biomass variation along an elevational gradient of tropical Atlantic moist forest (Brazil). **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 679-691, 2010.
- ALVES, D. *et al.* Biomass of primary and secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 3, n. 5, p. 451-461, 1997.
- AMARO, M. A. *et al.* Estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, n. 37, v. 5, p. 849-857, 2013.
- ANA – Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=2fb4464c-fc83-41d0-b63a-d020395a4a99>. Acesso em: 18 fev. 2019.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p. 149-163, 1981.
- ANDRADE *et al.*, R. G. Indicativo de pastagens plantadas em processo de degradação no bioma Cerrado. In: **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, João Pessoa- PB, Brasil, 2015.
- ARAGÃO, L. E. O. C., *et al.* Environmental change and the carbon balance of Amazonian

forests. **Biological Reviews**, v. 89, n. 4, p. 913–931, 2014.

ARAÚJO, T. M. *et al.* Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. **Forest Ecology Management**, v. 117, n. 1-3, p. 43-52, 1999.

ARAÚJO, L. V. C., SILVA, J. A. Unidade Experimental Fazenda Belo Horizonte – MOSSORÓ/RN. In: GARIGLIO, M.A. *et al.* (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço florestal brasileiro, 2010. p. 205-214.

ARAÚJO, F. S. *et al.* Fertility and total organic carbon in oxisol under different management systems in savannah of Piauí, Brasil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 20, p. 165-172, 2017.

ASNER, G. P. *et al.* Selective Logging in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 310, n. 5.747, p. 480-482, 2005.

ASNER, G. P. *et al.* Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, n. 34, p. 12947-12950, 2006.

ASSIS, M. A. *et al.* Florestas de restinga e de terras baixas na planície costeira do sudeste do Brasil: vegetação e heterogeneidade ambiental; Restinga and Lowland forests in coastal plain of southeastern Brazil: vegetation and environmental heterogeneity. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 2, p. 103-121, 2011.

ASSIS, F. B. *et al.* Caracterização agrônômica e bromatológica de híbridos de milho para ensilagem. **Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 2869-2882, 2014.

AQUINO, F. G.; WALTER, B. M. T.; RIBEIRO, J. F. Woody community dynamics in two fragments of cerrado stricto sensu over a seven-year period (1995-2002), MA, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 113-121, 2007.

BAHIA, T. O. *et al.* Florística e fitossociologia de veredas em diferentes estágios de conservação na APA do Rio Pandeiros, norte de Minas Gerais, MG. **Biota**, Belo Horizonte, v. 2, n. 3, p. 14-21, 2009.

BAKER, T. R. *et al.* Increasing biomass in Amazonian forest plots. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. Series B: Biological Sciences, London, 359(1443):353-365, 2004.

BALBINOT, R. *et al.* Vertical distribution of aboveground biomass in a seasonal deciduous forest. **Agrária**, Recife, n. 3, v. 12, p. 361-365, 2017.

BALCH, J. K. *et al.* Negative fire feedback in a transitional forest of southeastern Amazonia. **Global Change Biology**, v. 14, n. 10, p. 2.276-2.287, 2008.

BARBOSA, R. I.; FEARNESIDE, P. M. Queima de Pastagens em Roraima, Amazônia Brasileira: Dinâmica de Curto Prazo dos Nutrientes no Solo. **Boletim do Museu Integrado de Roraima**, Boa Vista- Roraima, v. 6, p. 9-16, 2000.

BARBOSA, R. I.; FEARNESIDE, P. M. Above-ground biomass and the fate of carbon after burning in the savannas of Roraima, Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 216, n. 1- 3, p. 295-316, 2005.

BARBOSA, R. I.; FEARNESIDE, P. M. Wood density of trees in open savannas of the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 199, p. 115-123, 2004.

BARBOSA, R. I.; FEARNESIDE, P. M. Incêndios na Amazônia brasileira: Estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na

- passagem do evento “El Niño” (1997/98). **Acta Amazonica**, v. 29, p. 513-534, 1999.
- BARBOSA, R. I.; FERREIRA, C. A. C. Biomassa acima do solo de um ecossistema de “campina” em Roraima, norte da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 34, n. 4, p. 577-586, 2004.
- BATISTA, J. L. F. ; COUTO, H. T. Z. O Estéreo. **Metrum**, Piracicaba, 2002.
- BATMANIAN, G. J.; HARIDASAN, M. Primary production and accumulation of nutrients by the ground layer community of cerrado vegetation of central Brazil. **Plant and Soil**, v. 88, p. 437-440, 1985.
- BAYER, C.; DICK, D. P.; RIBEIRO, G. M.; SCHEUERMANN, K. K. Carbon stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no-tillage effect. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 401-406, 2002.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil Tillage Research**, v. 86, p. 237-245, 2006.
- BERNARDI, A. C. C. *et al.* Carbon and nitrogen stocks of na arenosol under irrigated fruit orchards in semiarid Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 2, 2007.
- BERNOUX, M. *et al.* Brazil’s soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 888-896, 2002.
- BEZERRA, J. M. *et al.* Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 73-84, 2014.
- BOLDRINI, I. I. *et al.* **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre: Pallotti, 2010. 64 p.
- BONGERS, F. *et al.* Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in southern Venezuela: the Bana woodland. **Vegetation**, v. 63, n. 1, p. 13-34, 1985.
- BRAGANÇA, S. M. *et al.* Acumulação de matéria seca pelo cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, v. 57, n. 1, p. 48-52, 2010.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília: MCT, 2004. 274 p.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília: MCT, 2010.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento, Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Sumário Executivo**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021, 620 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Florestas do Brasil em resumo: 2019. **Serviço Florestal Brasileiro**. Brasília: MAPA/SFB, 2019. 212 p.

BRASILEIRO, M. S. **Avaliação da silagem de diferentes híbridos de milho (*Zea mays* L.) cultivados no Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado em Ciências Animais) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2015, 43p.

BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001.

BRITEZ, R. M. **Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na floresta atlântica do sul do Brasil**. Colombo, Embrapa Florestas, 2006. 165 p.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Food; Agriculture Org, v. 134, 1997.

BRUN, E. J. **Biomassa e Nutrientes na Floresta Estacional Decidual no município de Santa Tereza – RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, 2004.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. F. Stocks and fractions of organic carbon in an Oxisol under different management systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 3, p. 304-312, 2013.

CARDOSO, D. J.; VIBRANS, A. C.; LINGNER, D. V. Inventário da necromassa florestal caída no chão nos remanescentes florestais em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L.; LINGNER, D. V. (Orgs.). **Inventário Florestal florístico de Santa Catarina**. Diversidade e Conservação dos Remanescentes Florestais, v. I. Blumenau: Edifurb, 2012. p. 216-227.

CARVALHO, J. L. N. *et al.* Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil; Tillage Research**, v. 110, p. 175-186, 2010.

CARVALHO, JR. A. *et al.* A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the Manaus region. **Atmospheric Environment**, v. 29, n. 17, p. 2.301-2.309, 1995.

CARVALHO, JR. A. *et al.* Biomass fire consumption and carbon release rates of rainforest-clearing experiments conducted in Northern Mato Grosso, Brazil. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 106, n. D16, p. 17.877-17.887, 2001.

CARVALHO, JR. A. *et al.* Combustion completeness in a rainforest clearing experiment in Manaus, Brazil. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 103, n. D11, p. 13195-13199, 1998.

CARVALHO, J. L. N. *et al.* Crop-pasture rotation: A strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 183, p. 167-175, 2014.

CARVALHO, P. C. D.; BATELLO, C. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: the natural grasslands dilemma. **Livest. Sci.**, v. 120, p. 158–162, 2009.

CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, E. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: A vegetation gradient of aboveground biomass, rootmass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, p. 263–283, 1998.

CASTRO-NEVES, B. M. **Efeito de queimadas em áreas de cerrado stricto sensu e na biomassa de raízes finas**. Tese (Doutorado em Ecologia) – Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 2007.

CHAVE, J. *et al.* Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, v. 20, p. 3.177-3.190, 2014.

CHOHFI, F. M. **Balanço, análise de emissão de sequestro de CO₂ na geração de eletricidade excedente no setor sucro-alcooleiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2004. 96 p.

CHOHFI, F. M.; DUPAS, F. A.; LORA, E. E. S. **Balanço, análise de emissão e sequestro de CO₂ na geração de eletricidade excedente no setor sucro-alcooleiro**. In: **Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio RuRAL**. Campinas, 2004. p. 1-8.

CIANCIARUSO, M. V. *et al.* Aboveground biomass of functional groups in the ground layer of savannas under different fire frequencies. **Australian Journal of Botany**, v. 58, p. 169-174, 2010.

COCHRANE, M. A.; SCHULZE, M. D. Forest fires in the Brazilian Amazon. **Conservation Biology**, v. 12, p. 948-950, 1998.

COCHRANE, M. A.; SCHULZE, M. D. Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. **Biotropica**, v. 31, p. 2-16, 1999.

COLTRI, P. P. *et al.* Estoque de carbono em sistemas cafeeiros a pleno sol e cultivado com macadâmia no sul de Minas Gerais, Brasil. **VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**. p. 1-6, 2011.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. v. 3. Safra 2016/2017, n. 2. Segundo levantamento. Brasília: Conab, 2016. 72 p.

CONCEIÇÃO, A. A.; RAPINI, A.; CARMO, F. F. *et al.* 2016. Rupestrian grassland vegetation, diversity and origin. In: FERNANDES, G. W. (Ed.). **Ecology and conservation of mountain-top grassland in Brazil**. Springer, Cham. p. 105–127.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.

COSTA JR., C. Assessing soil carbon storage rates under no-tillage: Comparing the synchronic and diachronic approaches. **Soil; Tillage Research**, v. 134, p. 207-212, 2013.

COSTA, T. L. **Biomassas radiculares e aéreas em comunidades de Caatinga**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pósgraduação em Botânica. Recife, 2013.

COSTA, T. L. **Fixação biológica de nitrogênio em leguminosas arbóreas em diferentes formações vegetais de Pernambuco**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife, 2017.

CUNHA, G. M. *et al.* Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em florestas montanas da Mata Atlântica na região norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p.1.175-1.185, 2009.

CUNHA, N. G. Considerações sobre os solos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Mato-Grossense. EMBRAPA-UEPAE Corumba. **Circular Técnica**, v. 1, 45 p., 1980.

CUNHA, S. R. *et al.* Production dynamics of *Spartina alterniflora* salt marshes in the estuary of Patos Lagoon (RS, Brazil): a simulation model approach. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v. 9, n. 2, p. 75-85, 2005.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes

- sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.
- DELITTI, W. B. C.; MEGURO, M.; PAUSAS, J. C. Biomass and mineralmass estimates in a ‘cerrado’ ecosystem. **Brazilian Journal of Botany**, v. 29, n. 4, p. 531-540, 2006.
- DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Embrapa Amazônia Oriental: documentos 402, Belém, PA, 2014, 36 p.
- DIECKOW, J. *et al.* Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, n. 60, p. 240-249. 2009.
- DINIZ, A. R. *et al.* Biomassa, estoques de carbono e de nutrientes em estádios sucessionais da Floresta Atlântica, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, p. 443-451, 2015.
- DUQUE, J. G. **O Nordeste e a lavoura xerófila**. Mossoró: ESAM, 1980. (Coleção Mossoroense, 143).
- DURIGAN, G. Estimativas de estoque de carbono na vegetação natural do estado de São Paulo. In G. DURIGAN (Ed.). **Oportunidades de negócios em segmentos produtivos nacionais**. pp. 1-6. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 2004.
- EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2003.
- FAO. FRA – Global Forest Resources Assessment. **Country Report: Brazil**. Rome: FAO, 2015. 148 p. Disponível em: www.fao.org/3/a-az172e.pdf.
- FEARNSIDE, P. M. *et al.* Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 146, n. 1, p. 115-128, 2001.
- FEARNSIDE, P. M. *et al.* Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 98, n. D9, p. 16.733-16.743, 1993.
- FEARNSIDE, P. M. *et al.* Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. **Forest Ecology and Management**, v. 123, n. 1, p. 65-79, 1999.
- FEARNSIDE, P. M.; GUIMARÃES, W. M. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 80, n. 1, p. 35-46, 1996.
- FELDPAUSCH, T. R. *et al.* Secondary forest growth deviation from chronosequence predictions in central Amazonia. **Global Change Biology**, v. 13, n. 5, p. 967-979, 2007.
- FELFILI, J. M.; REZENDE, A. V.; SILVA JÚNIOR, M. C.; SILVA, M. A. Changes in the floristic composition of Cerrado Sensu Stricto in Brazil over a nine-year period. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v.16, n. 4, p. 579-590, 2000.
- FEREZ, A. P. C. **Efeito de práticas silviculturais sobre as taxas iniciais de sequestro de carbono em plantios de restauração da Mata Atlântica**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – USP/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2010, p. 104.
- FERNANDES, M. E. **The ecology and productivity of mangroves in the Amazon region, Brazil**. Tese (Doutorado) – York University, 1997.

FERRAZ, E. M. N.; RODAL, M. J. N. Caracterização fisionômica-estrutural de um remanescente de floresta ombrófila montana de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 20, n. 4, p. 911-926, 2006.

FERREIRA, *et al.* Carbon Stocks in Compartments of Soil Organic Matter 31 Years after Substitution of Native Cerrado Vegetation by Agroecosystems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-15, 2016.

FIDELIS, A.; MÜLLER, S.; PILLAR, V. P.; PFADENHAUER, J. Efeito do fogo na biomassa aérea e subterrânea dos Campos Sulinos. *In: XXI Reunião do grupo técnico em forrageiras do cone sul – Grupo Campos*, 2006, Pelotas. Desafios e Oportunidades do Bioma Campos Frente à Expansão e Intensificação Agrícola, Documentos 166. Pelotas: EMBRAPA – Clima Temperado, 2006. v. I.

FIDELIS, A. *et al.* Above-and below-ground biomass and carbon dynamics in Brazilian Cerrado wet grasslands. **Journal of Vegetation Science**, v. 24, n. 2, p. 356-364, 2013.

FIDELIS, A. *et al.* Fire intensity and severity in Brazilian campos grasslands. **Interciencia**, v. 35, n. 10, p. 739-745, 2010.

FIGUEIREDO, C. C. *et al.* Relationships between soil organic matter pools and nitrous oxide emissions of agroecosystems in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**, v. 618, p. 1.572-1.582, 2018.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010.

FRAGA, V. S.; SALCEDO, I. H. Declines of Organic Nutrient Pools in Tropical Semi-Arid Soils under Subsistence Farming. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 68, p. 215-224, 2004.

FRANÇOSO, R. D. *et al.* **Análise biogeográfica de espécies arbóreas do Cerrado como subsídio à criação de unidades de conservação**. Relatório Técnico não publicado, Brasília: Laboratório de Planejamento para Conservação da Biodiversidade, Universidade de Brasília, 2013. 6 p.

FREITAS, P. L. *et al.* Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 157-170, 2000.

FROMARD, F. *et al.* Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. **Oecologia**, v. 115, n. 1-2, p. 39-53, 1998.

FUNAI – Fundação Nacional dos Povos Indígenas. **Terras indígenas**: Dados geoespaciais e mapas. Disponível em: Terras Indígenas: Dados Geoespaciais e Mapas – Fundação Nacional dos Povos Indígenas (www.gov.br). Acesso em: 19 jul. 2018.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA/INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**. Relatório técnico, período 2017-2018. 2019. 65 p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**. Relatório técnico, período 2021-2022. São Paulo, 2023. 59 p

GAMA, J. R. V. *et al.* Fitossociologia de duas fitocenoses de floresta ombrófila aberta no município de Codó, Estado do Maranhão. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 465-477, 2007.

GARCIA, R. J. F.; PIRANI, J. R. Revisão sobre o diagnóstico da vegetação campestre

junto à crista de serras, no Parque Estadual da Serra do Mar, São Paulo, SP, Brasil. **Hoehe**, v. 30, p. 217-241, 2003.

GASPAR, R. O. *et al.* Análise fitossociológica e do estoque de carbono no estrato arbóreo de um fragmento de floresta estacional semidecidual. **Ciência Florestal**, n. 24, v. 2, p. 313-324, 2014.

GASPARRI, N. I. *et al.* Carbon pools and emissions from deforestation in extra-tropical forests of Northern Argentina between 1900 and 2005. **Ecosystems**, n. 11, p. 1.247-1.261, 2008.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E.; WAGIER, E. Potencial agrícola da região dos Cerrados Brasileiros. **Pesq. Agropec. Bras**, Brasília, v. 15, n. 1, p. 1-17, jan. 1980.

GOMES, A. P. C.; SOUZA, A. L.; MEIRA NETO, J. A. A. Alteração estrutural de uma área florestal explorada convencionalmente na bacia do Paraíba do Sul, Minas Gerais, nos domínios de Mata Atlântica, **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n.3, p. 407-417, 2004.

GONZAGA, G. B. M. **Dinâmica d a matéria orgânica do solo, estoques de carbono e susceptibilidade ao aumento da temperatura no semiárido de Alagoas**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, 2017, 151 p.

GONZAGA, J. V.; MENOCELLI, S. S.; RECH, B.; BUSNARDO, C. A.; FOELKEL, C. E. B. Qualidade de Madeira de *Acacia mearnsii* da região de Guaíba – RS. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. Belo Horizonte. **Anais**. São Paulo: SBS, v. 4, p. 813-820, 1982

GOODMAN, R. Amazon palm biomass and allometry. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 994-1.004, 2013.

GRAÇA, P. M. L. A.; FEARNESIDE, P. M.; CERRI, C. C. Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondônia, Brazil: Biomass, charcoal formation and burning efficiency. **Forest Ecology and Management**, v. 120, n. 1-3, p. 179-191, 1999.

GRIS, C. F. **Cultivares e épocas de corte no rendimento e composição mineral do feno de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**. Dissertação (Mestre em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, 2006, 59 p.

GUBIANI, E. Estoque de carbono e nitrogênio em solo sob sistemas de manejo e culturas de inverno. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, 2015, 63p.

GIBBS, H. K. *et al.* Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 107, p. 16.732-16.737, 2010.

HAIDAR, R. F. *et al.* **Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do estado do Tocantins, Escala 1:100,000**. Palmas: SEPLAN/DZE, 2013. 156 p.

HAIDAR, R. F. **Fitossociologia, Diversidade e sua relação com variáveis ambientais em florestas estacionais do bioma Cerrado no Planalto Central e Nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

HARMON, M. E., O. N. KRANKINA, M. YATSKOV, AND E. MATTHEWS. Predicting broad-scale carbon stores of woody detritus from plot-level data. Pp. 533-552 In: Lal, R., J. Kimble, B. A. Stewart, Assessment Methods for Soil Carbon, CRC Press, New York, 2001.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; COSTA, B. S. C. Cobertura vegetal atual do Rio

Grande do Sul. In: DALL'AGNOL, M.; NABINGER, C.; SANT'ANNA, D. M.; SANTOS, R. J. (Eds.). **II Simpósio de Forrageiras e Produção Animal**. Porto Alegre: Depto. Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS, 2007. p. 15-21.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia negra. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59-70, 2002.

HUANG, M.; ASNER, G. P. Long-term carbon loss and recovery following selective logging in Amazon forests. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 24, n. 3, p. GB3028, 2010.

HUTCHINSON, J. J.; CAMPBELL, C. A.; DESJARDINS, R. L. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 142, p. 288-302, 2007.

HUTCHISON, J. *et al.* Predicting global patterns in mangrove forest biomass. **Conservation Letters**, v. 7, n. 3, p. 233-240, 2013.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2016**. São Paulo, 2016. 96 p.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2017**. São Paulo, 2017. 78 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira, Manuais técnicos em geociências**. Divulga os procedimentos metodológicos utilizados nos estudos e pesquisas de geociências. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: Séries Manuais Técnicos em Geociências, n. 1, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017a. Disponível em: www.ibge.gov.br/geociencias/informacoesambientais/vegetacao/22453-cartas-1-250-000.html?=&t=acesso-ao-produto.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeto Levantamento e Classificação do Uso da Terra: Uso da Terra no Estado do Rio Grande do Sul** Relatório Técnico. Brasília, 2010. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95891.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Quantidade produzida e valor da produção na extração vegetal, por tipo extrativo (lenha e madeira em tora de 1990 a 2016). In: **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)**. Tabela 289. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289>. Acesso em: fev. 2024

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área dos estabelecimentos, por utilização das terras, condição legal do produtor, direção dos trabalhos do estabelecimento agropecuário e grupos de área total para o Brasil e Unidades da Federação em 2017b. In: **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)**. Tabela 6722. Rio de Janeiro, 2018c. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br/bda. Acesso em: nov. 2018.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Unidades de Conservação Federais, RPPN, Centros de Pesquisa e Coordenações Regionais. Brasília, 2018. Disponível em: www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/servicos/geoprocessamento/DCOL/dados_vetoriais/MapaUCS_junho_2019_web.pdf. Acesso em: 19 jul. 2018 e 31 jul. 2018.

IPCC – Intergovernmental Panel On Climate Change. **Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry**. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies, 2003.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. *In*: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.). **Agriculture, Forestry and Other Land Use**, v. 4. Japan: IGES, 2006.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. *In*: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.). **General Guidance and Reporting**, v. 1. Japan: IGES, 2006.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. *In*: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.). **General Guidance and Reporting**, v. 5. Japan: IGES, 2006.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *In*: IRVING, W.; NAKANE, H.; VILLARIN, J. R. T. CHAPTER 5, v. 1: 5.1, 5.2 General Guidance and Reporting. **Time Series Consistency**. Contributing Authors Ruta Bubniene (Lithuania). 2006

JANTALIA, C. P. *et al.* Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil; Tillage Research**, v. 95, p. 97-109, 2007.

JESUS, M. R., GARCIA, A. Manejo Florestal em floresta secundária de transição. **Anais**. 22 Congresso Nacional sobre Essências Nativas. 1992 (29/3/1992-3/4/1992).

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado. **Journal of Ecology**, v. 82, p. 519-531, 1994.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* Fire in the Brazilian Amazon: 1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. **Oecologia**, n. 104, v. 4, p. 397-408, 1995.

LAHSEN, M. *et al.* Undervaluing and Overexploiting the Brazilian Cerrado at Our Peril. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, v. 58, n. 6, p. 4-15, 2016.

LAURANCE, W. F. An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. **Biological Reviews**, v. 93, n. 1, p. 223-247, 2018.

LEAL, I.R., *et al.* Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005.

LEAL JÚNIOR, G.; AZEVEDO DA SILVA, J.; CAMPELLO, R. C. B. Proposta de Manejo Florestal Sustentado do Sabiá (*Mimosa caesalpiniaeifolia* Benth). IBAMA/PNUD/BRA/93/033. **Boletim Técnico**, n. 3. Desenvolvimento Florestal para o Nordeste do Brasil. Programa Nacional de Florestas, 1999. 15 p.

LEIDINGER, J. L. G. *et al.* Historical and recent land use affects ecosystem functions in subtropical grasslands in Brazil. **Ecosphere**, n. 8, v. 12, 2017.

LEITE, L. F. C. *et al.* Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1.273-1.280, 2010.

LILIENFEIN, J.; WILCKE, W. Element storage in native, agri-, and silvicultural ecosystems of the Brazilian savanna, **Plant Soil**, v. 254, p. 425-442, 2003.

- LIMA JÚNIOR, C. *et al.* Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 289-298, 2014.
- LIMA, J. R. *et al.* Composição florística da floresta estacional decídua montana de Serra das Almas, CE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 23, n. 3, p. 756-763, 2009.
- LIMA, S. S. *et al.* Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 1, p. 51-60, 2011.
- LONGO, M. *et al.* Aboveground biomass variability across intact and degraded forests in the Brazilian Amazon. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 30, n. 11, 1.639-1.660, 2016.
- LOSS, A. *et al.* Soil fertility, humic fractions and natural abundance of ¹³C and ¹⁵N in soil under different land use in Paraná State, Southern Brazil. **Idesia**, v. 34, n. 1, p. 27-38, 2016.
- LUCCAS, F. S. **Estoques de necromassa em um cerrado sensu stricto em uma floresta ombrófila densa montana no estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) – Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2011.
- LUETZELBURG, P. VON. 1922-23. **Estudo Botânico do Nordeste**. Inspectoria Federal de Obras Contra as Secas, Ministério da Viação e Obras Públicas, Publicação 57, Série I, A, Rio de Janeiro.
- MAIA, S. M. F. *et al.* Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 71, p. 127-138, 2007.
- MAIA, S. M. F. Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. **Soil; Tillage Research**, v. 133, p. 75-84, 2013.
- MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. **Soil; Tillage Research**, v. 106, n. 2, p. 177-184, 2010.
- MARCHÃO, R. L. *et al.* Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. **Soil; Tillage Research**, v. 103, p. 442-450, 2009.
- MARTINS, E. S. P. R.; MAGALHÃES, A. R.; FONTENELE, D. A seca plurianual de 2010-2017 no Nordeste e seus impactos. **Parc. Estrat.**, Brasília-DF, v. 22, n. 44, p. 17-40, 2017.
- MARTINEZ, D. T. **Seleção genética de *Acacia mearnsii* De wild. (acácia-negra) visando o aumento da qualidade e produtividade de madeira e tanino no Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006, 90 p.
- MASS, G. C. B. **Compartimentação do Estoque de Carbono em Floresta Ombrófila Mista**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015, 172 p.
- MAZZILLI, S. R. *et al.* Priming of soil organic carbon decomposition induced by corn compared to soybean crops. **Soil Biology; Biochemistry**, v. 75, p. 273-281, 2014.

MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa.** Relatórios de Referência – Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Brasília, 2015. 343 p.

MEDEIROS, R.B.; FOCHT, T. Invasão, prevenção, controle e utilização do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 13, n. 1, p. 105-114, 2007.

MEDEIROS, R. B.; SAIBRO, J. C.; FOCHT, T. Invasão do capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) no bioma Pampa do Rio Grande do Sul. *In*: PILLAR, V. D. P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. *et al.* (Eds.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 317-330.

MEDEIROS, A. S.; MAIA, S. M. F.; SANTOS, T. C.; GOMES, T. C. A. Soil carbon losses throughout the time and soil profile in conventional farming systems in the Brazilian semi-arid region: deriving soil carbon emission factors for land-use change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 2019.

MEIRELES, I. E. S. *et al.* Quantificação de biomassa e estoque de carbono em sistema agroflorestal de *Coffea arabica* e *Grevillea robusta*. **V Semana de Engenharia Florestal da Bahia**. 1-6, 2016.

MELLO, A. A. **Estudo silvicultural e da viabilidade econômica do manejo da vegetação do cerrado**. 1999. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Lavras, 1999.

MELO *et al.* 2007 em Pinheiro, 2008 (equação alométrica). PINHEIRO, E. D. S. **Análises ecológicas e sensoriamento remoto aplicados à estimativa de fitomassa de Cerrado na estação ecológica de Assis, SP**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2008.

MELO, F. P. L. "The socio-ecology of the Caatinga: understanding how natural resource use shapes an ecosystem". *In*: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Eds.). **Caatinga**. The largest tropical dry forest region in South America. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 369-382.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranaíba, SP, Brasil. **Scientia forestalis**, São Paulo, v. 71, p. 149-154, 2006.

METZKER, T. *et al.* Forest dynamics and carbon stocks in Rio Doce State Park – an Atlantic rainforest hotspot. **Current Science**, v. 100, n. 12, p. 1.855-1.862, 2011.

MEWS, H. A.; MARIMON, B. S.; MARACAHIPES, L.; FRANZAK, D. D.; MARIMON JUNIOR, B. H. Dinâmica da comunidade lenhosa de um Cerrado Típico na região Nordeste do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 73-82, 2011.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. The fire factor. *In*: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Eds.). **Cerrados of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 51-68.

MIRANDA, S. C. *et al.* Regional Variations in Biomass Distribution in Brazilian Savanna Woodland. **Biotropica**, v. 46, n. 2, p. 125-138, 2014.

MIRANDA, S. C. **Variação espacial e temporal da biomassa vegetal em áreas de Cerrado**. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite** – PMDBBS. 2012. Disponível em: www.mma.gov.br/projeto-demonitoramento-do-desmatamento-nos-biomas-brasileiros-por-sat%C3%A9lite-pmdbbs.html.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília: MMA/SBF, 2002. 404 p.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Biodiversidade brasileira**. 2019. Disponível em: www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira.

MOCHIUTTI, S. **Produtividade e sustentabilidade de plantações de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) no Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007, 270 p.

MOGNON, F. *et al.* Uma década de dinâmica da fixação de carbono na biomassa arbórea em floresta ombrófila mista no sul do paraná. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 153-164, 2013.

MOKANY, K. *et al.* Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, v. 12, p. 84-96, 2006.

MÓNACO, N. *et al.* Evaluación De Métodos Indirectos Para Estimar Biomasa En Un Pastizal Natural Del Sur De Córdoba (Argentina Central). **European Scientific Journal December**, v. 13, n. 36, p. 59-70, 2017.

MORA, A. L. **Aumento da produção de sementes geneticamente melhoradas de *Acacia mearnsii* de Wild (Acácia negra) no Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002, 140 p.

MORAIS, V. A. *et al.* Carbon and biomass stocks in a fragment of cerrado in Minas Gerais state, Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 237-245, 2013.

MOREIRA, M. M. **Estoque de carbono e nitrogênio em áreas de vegetação nativa e antropizada no município de Irecê**. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2013, 52p.

MOREIRA, L. S.; MOUTINHO, V. H. P. Densidade básica e resistência mecânica de madeiras de resíduos florestais da região amazônica. **Revista Agroecossistemas**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 64-81, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas/article/view/5160/5057>.

MOREIRA-BURGER, D.; DELITTI, W. B. Fitomassa epigéa da mata ciliar do Rio Mogi-Guaçu, Itapira-SP. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 429-435, 1999.

NABINGER, C.; MORAES, A.; MARASCHIN, G. Campos in southern Brazil. In: LEMAIRE, G. *et al.* (Eds.). **Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology**. Wallingford: CABI Publishing, 2000. p. 355-376.

NABUURS, G. J. *et al.* Forestry. In: METZ, B.; DAVIDSON, O. R.; BOSCH, P. R.; DAVE, R.; MEYER, L. A. (Eds.). **Climate Change 2007: Mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge: Cambridge University Press; United Kingdom and New York, 2007.

NASA. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Images**. Disponível em www2.jpl.nasa.gov/srtm/dataprod.htm. Acesso em: 17 jan. 2019.

NASCIMENTO, D. M. **Estimativa do estoque de biomassa arbustivo arbórea por**

sensoriamento remoto em áreas de caatinga em Pernambuco. 2015. 74f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Recife, 2015.

Nogueira, R. S. **Distribuição espacial de carbono, nutrientes e solo em Luvisolos sob sistemas agrícolas tradicionais e agroflorestais no município de Sobral-CE.** Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, 2009, 138 p.

NOGUEIRA, E. M. *et al.* Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 11, p. 1.853-1.867, 2008.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. Q. Impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo sob Caatinga no semi-árido nordestino. **Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 200-208, 2006.

OGLE, S. M.; CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K. Deriving grassland management factors for a carbon accounting approach developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Environmental Management**, v. 33, n. 2, p. 474-484, 2004.

OGLE, S. M.; BREIDT, F. J.; PAUSTIAN, K. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. **Biogeochemistry**, v. 72, n. 1, p. 87-121, 2005.

OHLAND, R.A.A. *et al.* Culturas de cobertura da terra e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciênc. Agrotec.**, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005.

OLIVEIRA, D. C. **Potencial de sequestro de carbono no solo e dinâmica da matéria orgânica em pastagens degradadas no Brasil.** Tese (Doutorado em Ciências) – USP/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP, 2018, p. 82.

OMETTO, J. P.; GORGENS, E. B.; DE SOUZA PEREIRA, F. R.; SATO, L., DE ASSIS, M. L. R.; CANTINHO, R.; LONGO, M.; JACON, A. D.; KELLER, M. A biomass map of the Brazilian Amazon from multisource remote sensing. **Scientific Data**, v. 10, n.1, p. 668, 2023.

OMETTO, J. P. H. B. *et al.* The stable carbon and nitrogen isotopic composition of vegetation in tropical forests of the Amazon Basin, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 79, p. 251-274, 2006.

OTTMAR, R. D. *et al.* **Stereo photo series for quantifying cerrado fuels in Central Brazil**, v. I, Portland, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 2001, 87p.

OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S.C.; FIDELIS, A. T. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 9**: p. 101-116, 2007.

OVERBECK, G. E.; BOLDRINI, I. I.; CARMO, M. R. B. C. *et al.* Fisionomia dos Campos. In: PILLAR, V. D.; LANGE, O. (Ed.). **Os Campos do Sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos, 2015. p. 31-42.

PACHECO, A. P.; FREIRE, N. C. F.; BORGES, U. N. Uma contribuição do sensoriamento remoto para detecção de áreas degradadas na Caatinga brasileira. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiás, v. 26, n. 1, p. 49-68, 2006.

PADILHA, D. R. C. **Fitossociologia e estimativas da biomassa aérea e de carbono em Chaco Florestado no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2011, 96 p.

PADOVANI, C. R. **Conversão da vegetação natural do Pantanal para uso antrópico de 1976 até 2017 e projeção para 2050**. Embrapa Pantanal, Comunicado técnico 109, 2017. 6 p.

PAREYN, F. G. C. Dinâmica da regeneração da vegetação da caatinga na Unidade Experimental PA Recanto III – Lagoa Salgada/RN. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. (Org.). **Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileira, 2010. p. 229-244.

PAREYN, F. G. C. *et al.* **A influência da precipitação sobre o crescimento e os ciclos de corte da caatinga manejada: uma primeira aproximação**. Estatística Florestal da caatinga. 1. ed. Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2015. v. 2, p. 30-39.

PARROTA, J. A.; WILDBURGER, C.; MANSOURIAN, S. **Understanding Relationships Between Biodiversity, Carbon, Forests and People: the Key to Achieving REDD+ Objectives**. A Global Assessment Report. Vienna, Austria: International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), 2012.

PARUELO, J. M. *et al.* Carbon stocks and fluxes in rangelands of the Río de la Plata Basin. **Rangeland Ecology; Management**, v. 63, n. 1, p. 94-108, 2010.

PAVINATO, A. **Carbono e nutrientes no solo e a sustentabilidade do sistema soja-algodão no Cerrado Brasileiro**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 2009, 117 p.

PEARSON, T. R. H.; BROWN, S.; CASARIM, F. M. Carbon emissions from tropical forest degradation caused by logging. **Environmental Research Letters**, v. 9, p. 1-11, 2014.

PEREIRA, D. G. S. **Conexões estruturais e florísticas de eco unidades da vegetação arbórea de uma planície inundável no médio São Francisco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

PHILLIPS, O. L. *et al.* Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. **Science**, 323, p. 1.344-1.347, 2009.

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M. **Mixed-Effects Models in S and S-PLUS**. Nova York: Springer, 2000. p. 528.

PINHEIRO, E. D. S. **Análises ecológicas e sensoriamento remoto aplicados à estimativa de fitomassa de Cerrado na estação ecológica de Assis, SP**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2008.

PROBIO – Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, Ministério do Meio Ambiente. **Maapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado**. Relatório final. 2002.

PROCEKE DE DEUS, K. **Estoque de necromassa lenhosa em floresta ombrófila mista usando diferentes métodos de amostragem**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2015, 76p.

RAMOS E SILVA, C. A. *et al.* Dynamics of phosphorus and nitrogen through litter fall and decomposition in a tropical mangrove forest. **Marine environmental research**, v. 64, n. 4, p. 524-534, 2007.

RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R. Lightning fires in a Brazilian Savanna National Park: rethinking management strategies. **Environmental Management**, v. 26, p. 675-684,

2000.

REIS, C. E. S.; DICK, D. P.; CALDAS, J. S.; BAYER, C. Carbon sequestration in clay and silt fractions of Brazilian soils under conventional and no-tillage systems. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 4, p. 292-301, 2014.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**, v. 2. Brasília: Embrapa – Cerrados, 2008. 876 p.

RIBEIRO, S. R. *et al.* Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, n. 33, v. 5, p. 917-926. 2009.

RIEGELHAUPT, E.; PAREYN, F. G. C.; BACALINI, P. O manejo florestal na caatinga: resultados da experimentação. In: GARIGLIO, M. A. *et al.* (Org.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 199-204.

ROCHA, H. R. D. *et al.* Measurements of CO₂ exchange over a woodland savanna (Cerrado *sensu stricto*) in southeast Brasil. **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2002.

ROITMAN, I. *et al.* Optimizing biomass estimates of savanna woodland at different spatial scales in the Brazilian Cerrado: Re-evaluating allometric equations and environmental influences, **PLoS ONE**, v. 13, n. 8, 2018.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil; Tillage Research**, v. 70, p. 107-119, 2003.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronosequência sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 252-258, 2015.

RUDORFF, B. F. T. *et al.* Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sens.**, v. 2, p. 1.057-1.076, 2010.

RUDORFF, B.; RISSO, J. *et al.* **Análise Geoespacial da Dinâmica das Culturas Anuais no Bioma Cerrado: 2000 a 2014** Agrosatélite Geotecnologia Aplicada Ltda. Florianópolis, Santa Catarina, 2015.

RUTHNER, R. S. **Estimativa carbono armazenado em um fragmento de floresta ombrófila densa de terras baixas e submontana no Vale do Itajaí, SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – FURB/Centro de Ciências Tecnológicas, Blumenau-SC, 2010, p. 73.

SÁ, J. C. M. *et al.* Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil; Tillage Research**, v. 136, p. 38-50, 2014.

SÁ, J. C. M. *et al.* Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation; Development**, v. 26, n. 6, p. 531-543, 2015.

SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; BALBINOT, R. Uso de equações para estimar carbono orgânico em plantações de *Acacia mearnsii* De Wild. Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 5, p. 907-915, 2009.

- SALOMÃO, R. D. P. *et al.* Dinâmica da regeneração natural de árvores em áreas mineradas na Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v. 2, n. 2, p. 85-139, 2007.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L.; SALCEDO, I. H.; TIESSEN, H. Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 5, p. 62-632, 1998.
- SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização do bioma caatinga: características e potencialidades. In: GARIGLIO, M.A. *et al.* (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço florestal brasileiro, 2010. p. 29-48.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. Estoques e fluxos de carbono no semiárido nordestino: Estimativas preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1.275-1.291, 2011.
- SANO, E. E. *et al.* Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818-828, 2019.
- SANO, E. E. *et al.* Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 113-124, 2010.
- SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; PINTO, C.; MELO, L. A. N. Biomass and carbon in non-woody vegetation, dead wood and litter in Iguaçu National Park. **Floresta**, v. 44, n. 2, p. 185-194, 2014.
- SANTANA *et al.* Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 15, 2019.
- SCARANELLO, M. A. S. **Dinâmica e produtividade da comunidade arbórea na floresta Atlântica ao longo do gradiente altitudinal da Serra do Mar**. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015, 119 p.
- SCARANELLO, M. A. S. **Dinâmica da comunidade arbórea de floresta ombrófila densa de terras baixas e de restinga no Parque Estadual da Serra do Mar, SP**. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010, 113 p.
- SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; SOBRINHO, V. G.; SCHNEIDER, P. S. P. Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 391-402, 2005.
- SCHNITZER, S. A.; DEWALT, S. J.; CHAVE J. Censusing and measuring lianas: A quantitative comparison of the common methods. **Biotropica**, v. 38, n. 5, p. 581-591, 2006.
- SCHÖNGART, J. *et al.* Age-related and stand-wise estimates of carbon stocks and sequestration in the aboveground coarse wood biomass of wetland forests in the Northern Pantanal, Brazil. **Biogeosciences**, v. 8, n. 11, p. 3407-3421, 2011.
- SCHUMACHER, M. V., *et al.* Quantificação do carbono orgânico em floresta de *Acacia mearnsii* De Wild. Em diferentes idades. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 2. Santa Maria, 2001. **Anais**. p. 387-399, 2001.
- SCOLFORO, J. R. *et al.* Volumetria, peso de matéria seca e carbono para o domínio atlântico em Minas Gerais, In: SCOLFORO, J. R. *et al.* (Eds.). **Inventário Florestal de Minas Gerais: Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila – Florística, Estrutura,**

Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Manejo Florestal. Lavras: UFLA, 2008a. p. 461-630.

SCOLFORO, J. R. *et al.* Volumetria, peso de matéria seca e carbono para o domínio Cerrado em Minas Gerais, *In: SCOLFORO, J. R. et al. (Eds.). Inventário Florestal de Minas Gerais: Cerrado – Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal.* Lavras: UFLA, 2008b. p. 361-498.

SCOLFORO, J. R. *et al.* Volumetria, peso de matéria seca e carbono para o domínio da caatinga. *In: MELLO, J. M.; SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T. (Eds.). Inventário Florestal de Minas Gerais: Floresta Estacional Decidual – Florística, Estrutura, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Manejo Florestal.* Lavras: UFLA, 2008c. p. 157-208.

SEBEN JR.; CORÁ, J. E.; LAL, R. The effects of land use and soil management on the physical properties of na oxisoil in southeast Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1.245-1.255, 2014.

SFB – Serviço Florestal Brasileiro). **Florestas do Brasil em resumo: dados de 2007-2012.** Brasília: 2013. 188 p.

SILVA, A. B. *et al.* Estoques de carbono no solo e em plantas de cafeeiro. **Interciência**, v. 38, n. 4, p. 286-291, 2013.

SILVA, G. L. Qualidade física de um Luvisolo cultivado com sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, 2008, 55 p.

SILVA, A. P. *et al.* Coffee seedlings in different substrates and protected environments. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 589-600, 2013.

SILVA NETO, S. P. *et al.* Dependência espacial em levantamentos do estoque de carbono em áreas de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 4, p. 547-556, 2012.

SILVA NETO, A. J. *et al.* Dinâmica da comunidade arbórea em um fragmento de cerrado Sensus Stricto em Minas Gerais, Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 113, p. 21-29, 2017.

SILVEIRA, V.X. **Estrutura da biomassa vegetal e serapilheira em fragmentos de floresta ombrófila aberta impactados pelo uso da terra, Rondônia.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2009.

SILVÉRIO, D.V.; BRANDO, P. M.; BALCH, J. K. *et al.* Testing the Amazon savannization hypothesis: fire effects on invasion of a neotropical forest by native cerrado and exotic pasture grasses. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 368, 2013.

SISTI, C. P. J. *et al.* Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SOCHER, L. G. *et al.* Biomassa aérea de uma floresta ombrófila mista aluvial no município de Araucária (PR). **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 245-252, 2008.

SOS Pantanal. Atlas do Monitoramento da Cobertura Vegetal da Bacia do Alto Paraguai – Pantanal, Período de Análise: 2018 a 2019 da SOS Pantanal, com execução técnica da ArcPlan Sigga. Abril de 2020, 41p.

SOUZA, L. Q. *et al.* How much nitrogen is fixed by tropical dry forest? 1. Trees and shrubs. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 94, p. 171-179, 2012.

SOUZA, A. L. *et al.* Estrutura fitossociológica, estoque de volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em floresta estacional semidecidual. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, 169-179, 2012.

SOUZA, E. D. *et al.* Matéria orgânica e agregação do solo após conversão de “campos de murundus” em sistema plantio direto. **Pesq. Aopec. Bras.**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1194-1202, 2016.

SOUZA Jr., C. M.; ROBERTS, D.; COCHRANE, M. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **Remote Sensing of Environment**, v. 98, n. 2-3, p. 329-343, 2005.

SOUZA Jr., C. M.; SIQUEIRA, J. V.; SALES, M. H. *et al.* Ten-year landsat classification of deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing**, v. 5, p. 5.493-5.513, 2013.

SPETCH, M. J.; PINTO, S. R. R.; ALBUQUERQUE, U. P. *et al.* Burning biodiversity: Fuelwood harvesting causes forest degradation in human-dominated tropical landscapes. **Global Ecology and Conservation**, v. 3, p. 200-209, 2015.

STAPE, J. L. *et al.* **Estimativas das taxas de sequestro de carbono na Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal**. 1. ed. Rio de Janeiro: SESC, Serviço Social do Comércio, 2011. v. 1, 143 p.

STEFANI, E. J. F. **Dinâmica do carbono, produção e decomposição de serapilheira, estoque e produção de raiz fina na floresta ombrófila densa Atlântica no Parque Estadual da Serra do Mar**. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Unicamp/Instituto de Biologia, Campinas-SP, 2017, p. 183.

TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C.; GASCON, C. Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, p. 1.419-1.425, 2004.

TABARELLI, M. *et al.* Fragmentação e perda de habitat na floresta Atlântica ao norte do Rio São Francisco. In: SIQUEIRA FILHO, J. A.; LEME, E. M. C. (Org.). **Fragmentos de Mata Atlântica do Nordeste: Biodiversidade, Conservação e suas Bromélias**. 1. ed. Rio de Janeiro: Andrea Jacobsson, 2006. p. 80-99.

TIECHER, T.; SANTOS, D. R.; CALEGARI, A. Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long term experiment. **Soil; Tillage Research**, n. 124, p. 57-67, 2012.

TIEPOLO, G. *et al.* **Measuring and monitoring carbon stocks at the Guaraqueçaba Climate Action Project**. Extension Serie n. 153. Paraná, 2002. p. 98-115.

TRENTIN, C.B. **Estoques de carbono nas áreas de vegetação campestre da Área de Proteção Ambiental (APA) do Ibirapuitã**. 2015. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto, Área de Concentração em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2015.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. **Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)**. 2019. Disponível em: <https://unfccc.int/topics/landuse/workstreams/land-use--land-use-change-and-forestry-lulucf>.

VASCONCELOS, M. F. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de

montanha do Leste do Brasil? **Revista Brasil. Bot.**, v. 34, n. 2, p. 241-246, 2011.

VEIGA, L. G. **Estoque de madeira morta ao longo de um gradiente altitudinal de Mata Atlântica no nordeste do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Campinas, 2010.

VIEIRA, S. A. *et al.* Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above-and belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. **Ecology and evolution**, v. 1, n. 3, p. 421-434, 2011.

VOGEL, H. L. M. *et al.* Efeito de borda no estoque de serapilheira e nutrientes em um fragmento de floresta nativa no Bioma Pampa-RS. **Enflo**, v. 1, p. 46-54, 2013.

VOGEL H. L. M.; SCHUMACHER, M. V., TRÜBY, P. Micronutrientes na biomassa acima do solo em uma floresta estacional subtropical. **Cerne**, n. 2, v. 21, p. 175-182, 2015.

WANDELLI, E. V.; FEARNSIDE, P. M. Secondary vegetation in central Amazonia: Land-use history effects on aboveground biomass. **Forest Ecology and Management**, v. 347, p. 140-148, 2015.

WARD, D. E. *et al.* Smoke and fire characteristics for cerrado and deforestation burns in Brazil: BASE-B experiment. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 97, n. D13, p. 14.601-14.619, 1992.

WATZLAWICK, L. F. *et al.* Stock of biomass and carbon in the montane mixes shade forest, Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 353-362, 2012.

WITTMANN, F. *et al.* Tree Species Composition, Structure, and Aboveground Wood Biomass of a Riparian Forest of the Lower Miranda River, Southern Pantanal, Brazil. **Folia Geobotanica**, v. 43, p. 397-411, 2008.

WOORTMAN, C. P., HIGUCHI, N., SANTOS, J. D.; SILVA, R. P. D. Allometric equations for total, above-and below-ground biomass and carbon of the Amazonian forest type known as campinarana. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 2, p. 85-92, 2018.

ZÁKIA, M. J. B.; PAREYN, F. G.; BURKART, R. N.; ISAIA, E. M. B. I. **Incremento Médio Anual de Algarobais no Seridó**. 1991. Projeto PNUD/FAO/BRA/87/007. Desenvolvimento Florestal Integrado do Nordeste do Brasil (Circular Técnica n. 11).

ZÁKIA, M. J. B.; PAREYN, F. G.; BURKART, R. N.; ISAIA, E. M. B. I. **Incremento das Matas Nativas do Seridó do Rio Grande do Norte**. 1999. Projeto PNUD/FAO/BRA/87/007. Desenvolvimento Florestal Integrado do Nordeste do Brasil (Circular Técnica n. 10).

APÊNDICE VIII. DESCRIÇÕES ADICIONAIS PARA O SETOR RESÍDUOS

Este apêndice detalha procedimentos metodológicos, ajustes estatísticos, dados e parâmetros adotados na estimativa de emissões de GEE do setor Resíduos, apresentados no NIR 2024. A metodologia adotada segue as diretrizes delineadas em IPCC (2006), especificamente nos Capítulos 3 ao 6 do Volume 5.

Disposição de Resíduos Sólidos

Tabela A.VIII.1. Fração da população residente nas Unidades Federativas (UFs) segundo a classificação climática, para os anos 1970, 1980, 2000, 2016 e 2022.

UF	1970			1980			1990			2000			2016			2022		
	Temperado	Tropical		Temperado	Tropical		Temperado	Tropical		Temperado	Tropical		Temperado	Tropical		Temperado	Tropical	
	Úmido	Seco	Úmido	Úmido	Seco	Úmido	Úmido	Seco	Úmido	Úmido	Seco	Úmido	Úmido	Seco	Úmido	Úmido	Seco	Úmido
AC	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	0	0	1,00
AL	-	0,37	0,63	-	0,36	0,64	-	0,36	0,64	-	0,33	0,67	-	0,31	0,69	0	0,31	0,69
AM	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	0	0	1,00
AP	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	0	0	1,00
BA	-	0,57	0,43	-	0,55	0,45	-	0,55	0,45	-	0,53	0,47	-	0,51	0,49	0	0,51	0,49
CE	-	0,65	0,35	-	0,61	0,39	-	0,61	0,39	-	0,55	0,45	-	0,54	0,46	0	0,54	0,46
DF	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	0	0	1,00
ES	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	0	0	1,00
GO	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	0	0	1,00
MA	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	0	0	1,00
MG	0,06	0,07	0,87	0,06	0,06	0,88	0,06	0,06	0,88	0,06	0,06	0,89	0,05	0,05	0,89	0,05	0,05	0,89
MS	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	0	0	1,00
MT	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	0	0	1,00
PA	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	0	0	1,00
PB	-	0,71	0,29	-	0,68	0,32	-	0,68	0,32	-	0,61	0,39	-	0,59	0,41	0	0,59	0,41
PE	-	0,42	0,58	-	0,41	0,59	-	0,41	0,59	-	0,39	0,61	-	0,40	0,60	0	0,40	0,60
PI	-	0,35	0,65	-	0,34	0,66	-	0,34	0,66	-	0,30	0,70	-	0,28	0,72	0	0,28	0,72
PR	0,35	-	0,65	0,44	-	0,56	0,44	-	0,56	0,51	-	0,49	0,52	-	0,48	0,52	0	0,48
RJ	0,01	-	0,99	0,01	-	0,99	0,01	-	0,99	0,01	-	0,99	0,01	0,01	0,98	0,01	0,01	0,98
RN	-	0,74	0,26	-	0,70	0,30	-	0,70	0,30	-	0,62	0,38	-	0,60	0,40	0	0,60	0,40
RO	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	0	0	1,00
RR	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	0	0	1,00
RS	0,84	-	0,16	0,85	-	0,15	0,85	-	0,15	0,89	-	0,11	0,91	-	0,09	0,91	0	0,09
SC	0,84	-	0,16	0,83	-	0,17	0,83	-	0,17	0,87	-	0,13	0,88	-	0,12	0,88	0	0,12
SE	-	0,36	0,64	-	0,33	0,67	-	0,33	0,67	-	0,28	0,72	-	0,26	0,74	0	0,26	0,74
SP	0,05	-	0,95	0,05	-	0,95	0,05	-	0,95	0,05	-	0,95	0,05	-	0,95	0,05	0	0,95
TO	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	0	0	1,00
Brasil	0,13	0,15	0,72	0,13	0,14	0,73	0,12	0,14	0,74	0,13	0,12	0,75	0,12	0,12	0,76	0,13	0,12	0,75

Fonte: Dados médios (1970 a 2010) municipais de temperatura média anual (MAT), precipitação média anual (MAP) e potencial de evapotranspiração (PET) (INMET, 2015); dados de população total residente (IBGE, 1991; 2022).

Tabela A.VIII.2. Fração da população com acesso a locais manejados de disposição de resíduos sólidos (aterros sanitários) em relação à população atendida com coleta de MSW.

Relatório do Inventário Nacional | 1990-2022

UF	1970			1980			1990			2000			2016			2022		
	Temperado		Tropical	Temperado		Tropical	Temperado		Tropical	Temperado		Tropical	Temperado		Tropical	Temperado		Tropical
	Úmido	Seco	Úmido	Úmido	Seco	Úmido	Úmido	Seco	Úmido	Úmido	Seco	Úmido	Úmido	Seco	Úmido	Úmido	Seco	Úmido
AC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	-	-	0,55
AL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	-	0,34	0,80
AM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,65
AP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63	-	-	0,84
BA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,39	-	0,14	0,34	-	0,15	0,45
CE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,05	-	0,09	0,04	-	0,12	0,38
DF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04
ES	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	0,60	-	-	0,49	-	-	0,92
GO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	-	-	0,19	-	-	0,29
MA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37
MG	-	-	-	-	-	0,43	-	-	0,25	-	-	0,29	0,02	-	0,37	0,06	-	0,77
MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,49	-	-	0,82
MT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	-	-	0,35	-	-	0,53
PA	-	-	-	-	-	-	-	-	0,77	-	-	0,41	-	-	0,33	-	-	0,44
PB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,03	0,29	-	0,53	0,55
PE	-	-	-	-	0,06	-	-	0,04	0,09	-	0,04	0,08	-	0,15	0,17	-	0,36	0,64
PI	-	-	-	-	-	-	-	-	0,66	-	-	0,60	-	0,01	0,42	-	0,01	0,00
PR	0,17	-	-	0,06	-	0,10	0,29	-	0,07	0,26	-	0,15	0,31	-	0,32	0,55	-	0,49
RJ	-	-	-	-	-	0,07	-	-	0,62	-	-	0,55	-	0,01	0,75	0,01	0,01	0,90
RN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,28	-	0,27	0,44
RO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	-	-	0,79
RR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
RS	-	-	-	0,01	-	-	0,05	-	-	0,39	-	-	0,43	-	0,01	1,01	-	0,10
SC	-	-	-	-	-	-	0,15	-	-	0,21	-	0,04	0,43	-	0,05	1,05	-	0,13
SE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,04	0,79
SP	-	-	-	-	-	0,39	0,02	-	0,40	0,02	-	0,50	0,03	-	0,69	0,05	-	0,94
TO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	-	-	0,45	-	-	0,55
Brasil	0,07	-	-	0,05	0,03	0,27	0,24	0,02	0,33	0,39	0,07	0,39	0,50	0,22	0,52	0,14	0,05	0,65

Fonte: Adaptado de Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir) (MMA, 2015); Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (2003 a 2024) (MCID, 2022); IBGE (1994; 2000; 2008; 2019d; 2019e); Inmet (2015). O símbolo “-” significa que não havia população com acesso a aterro sanitário naquela UF, ano e clima.

Incineração e Queima de Resíduos a Céu Aberto

Tabela A.VIII.3. Fração da população total que realiza queima de resíduos a céu aberto nas Unidades Federativas (UFs), entre os anos 1990 e 2022.

UF	1990	1995	2000	2005	2010	2016	2020 ^a	2022
AC	0,18	0,21	0,25	0,20	0,20	0,18	0,19	0,19
AL	0,02	0,06	0,11	0,13	0,16	0,15	0,12	0,11
AM	0,09	0,21	0,26	0,22	0,21	0,15	0,15	0,15
AP	0,18	0,17	0,16	0,11	0,10	0,06	0,09	0,08
BA	0,07	0,10	0,16	0,17	0,19	0,15	0,15	0,15
CE	0,07	0,10	0,12	0,15	0,18	0,20	0,16	0,13
DF	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
ES	0,26	0,19	0,17	0,13	0,11	0,03	0,07	0,07
GO	0,32	0,21	0,13	0,09	0,07	0,00	0,05	0,05
MA	0,25	0,26	0,31	0,32	0,34	0,34	0,25	0,26
MG	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,04	0,07	0,07
MS	0,25	0,24	0,19	0,15	0,01	0,09	0,05	0,08
MT	0,26	0,19	0,17	0,14	0,12	0,10	0,09	0,09
PA	0,15	0,25	0,29	0,27	0,27	0,27	0,21	0,20
PB	0,04	0,07	0,12	0,15	0,17	0,16	0,16	0,14
PE	0,04	0,06	0,10	0,11	0,13	0,12	0,12	0,11
PI	0,17	0,18	0,24	0,26	0,30	0,29	0,27	0,24
PR	0,28	0,20	0,13	0,11	0,08	0,00	0,05	0,05
RJ	0,14	0,10	0,06	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01
RN	0,06	0,09	0,13	0,12	0,13	0,08	0,09	0,08
RO	0,45	0,34	0,36	0,28	0,25	0,17	0,19	0,18
RR	0,22	0,20	0,20	0,18	0,18	0,12	0,10	0,17
RS	0,18	0,14	0,11	0,08	0,06	0,01	0,03	0,03
SC	0,30	0,20	0,13	0,09	0,06	0,01	0,03	0,03
SE	0,06	0,09	0,14	0,13	0,14	0,08	0,10	0,08
SP	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01
TO	0,32	0,29	0,27	0,22	0,20	0,13	0,13	0,13
Brasil	0,17	0,16	0,17	0,15	0,14	0,11	0,11	0,11

Fonte: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), 1989 a 2015 (IBGE, 2019b; 2019c); Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNADC), 2016 a 2022 (IBGE; 2023a); Censo (IBGE, 1991; 2019a; 2022).

^a valores de 2020 e 2021 obtidos a partir da interpolação linear entre os valores observados nos anos 2019 e 2022.

Tratamento e Despejo de Águas Residuárias

Tabela A.VIII.4. Fator de correção de metano (MCF) anual, por setor industrial inventariado.

Ano	Açúcar	Álcool	Leite cru	Leite pasteurizado	Celulose	Cerveja	Abate de aves	Abate de bovinos	Abate de suínos
1990 ^a	-	-	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
1991	-	-	0,19	0,19	0,18	0,21	0,18	0,19	0,19
1992	-	-	0,19	0,20	0,17	0,24	0,19	0,19	0,19
1993	-	-	0,20	0,21	0,17	0,28	0,19	0,20	0,20
1994	-	-	0,20	0,21	0,17	0,31	0,20	0,20	0,21
1995	-	-	0,21	0,22	0,17	0,34	0,20	0,21	0,21
1996	-	-	0,21	0,23	0,16	0,37	0,21	0,21	0,22
1997	-	-	0,22	0,24	0,16	0,40	0,21	0,22	0,23
1998	-	-	0,22	0,25	0,16	0,44	0,22	0,23	0,24
1999	-	-	0,23	0,26	0,16	0,47	0,22	0,23	0,24
2000	-	-	0,23	0,27	0,15	0,50	0,23	0,24	0,25
2001	-	-	0,24	0,27	0,15	0,53	0,23	0,24	0,26
2002	-	-	0,24	0,28	0,15	0,56	0,23	0,25	0,26
2003	-	-	0,25	0,29	0,15	0,60	0,24	0,25	0,27
2004	-	-	0,25	0,30	0,14	0,63	0,24	0,26	0,28
2005 ^b	-	-	0,26	0,31	0,14	0,66	0,25	0,27	0,28
2006	-	-	0,26	0,32	0,14	0,62	0,25	0,27	0,29
2007	-	-	0,27	0,33	0,14	0,59	0,26	0,28	0,30
2008	-	-	0,27	0,33	0,13	0,55	0,26	0,28	0,31
2009	-	-	0,28	0,34	0,13	0,51	0,27	0,29	0,31
2010 ^c	-	-	0,28	0,35	0,13	0,47	0,27	0,30	0,32
2011	-	-	0,28	0,35	0,13	0,47	0,27	0,30	0,32
2012	-	-	0,28	0,35	0,13	0,47	0,27	0,30	0,32
2013	-	-	0,28	0,35	0,13	0,47	0,27	0,30	0,32
2014	-	-	0,28	0,35	0,13	0,47	0,27	0,30	0,32
2015	-	-	0,28	0,35	0,13	0,47	0,27	0,30	0,32
2016	-	-	0,28	0,35	0,13	0,47	0,27	0,30	0,32
2017	-	-	0,28	0,35	0,13	0,47	0,27	0,30	0,32
2018	-	-	0,28	0,35	0,13	0,47	0,27	0,30	0,32
2019	-	-	0,28	0,35	0,13	0,47	0,27	0,30	0,32
2020	-	-	0,28	0,35	0,13	0,47	0,27	0,30	0,32
2021	-	-	0,28	0,35	0,13	0,47	0,27	0,30	0,32
2022	-	-	0,28	0,35	0,13	0,47	0,27	0,30	0,32

Fonte: Valores de MCF atualizados, mantendo as proporções da água residuária tratada por tecnologia de tratamento, exceto para açúcar e álcool (vide tabela anterior). ^a (Brasil, 2004); ^b (Brasil, 2010); ^c (Brasil, 2015).

APÊNDICE IX. SÉRIE HISTÓRICA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

A série histórica de emissões e remoções de GEE por gás e por setor foi submetida à UNFCCC no formato das Tabelas Comuns de Reporte (CRT, sigla em inglês). A seguir, o resumo das emissões líquidas (em kt CO₂ eq) para a série de 1990 a 2022.

SETOR	EMISSÕES LÍQUIDAS (kt CO ₂ eq)										
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
TOTAL	1.588.395	1.428.422	1.552.595	1.603.544	1.602.577	2.748.731	2.014.089	1.713.281	1.997.993	1.968.105	2.048.689
1. ENERGIA	196.119	199.709	204.745	208.971	217.727	233.681	250.761	266.948	274.713	284.685	291.613
2. IPPU	56.870	61.809	60.109	62.931	62.926	67.651	67.127	70.241	74.440	73.874	77.809
3. AGROPECUÁRIA	394.743	406.182	412.339	418.084	426.689	430.657	404.854	413.141	419.662	425.255	440.797
4. LULUCF	908.066	726.204	839.122	874.712	854.112	1.973.225	1.245.647	915.577	1.179.953	1.132.596	1.184.464
5. RESÍDUOS	32.596	34.517	36.281	38.847	41.121	43.516	45.700	47.374	49.225	51.696	54.006
SETOR	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
TOTAL	2.019.047	2.246.261	3.360.112	3.596.053	2.561.246	2.196.460	1.850.441	1.990.232	1.356.216	1.352.807	1.423.603
1. ENERGIA	300.269	298.946	292.016	307.869	318.363	322.870	336.288	355.898	344.452	377.678	390.598
2. IPPU	74.447	78.932	79.839	83.540	83.335	83.914	88.978	87.279	77.407	87.353	94.143
3. AGROPECUÁRIA	457.789	469.719	499.763	520.394	520.260	519.892	504.549	514.042	520.528	538.559	541.626
4. LULUCF	1.129.709	1.339.596	2.427.048	2.621.326	1.573.714	1.201.775	852.790	963.934	342.440	277.144	324.150
5. RESÍDUOS	56.832	59.067	61.445	62.923	65.574	68.008	67.836	69.079	71.389	72.073	73.086
SETOR	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
TOTAL	1.305.805	1.586.905	1.465.525	1.562.802	1.603.968	1.493.407	1.523.108	1.727.820	1.824.760	2.116.314	2.039.236
1. ENERGIA	423.887	455.039	481.449	457.340	424.610	432.090	409.953	409.287	390.210	436.516	418.451
2. IPPU	95.464	97.042	94.725	95.670	93.931	97.958	99.422	95.394	96.992	105.846	102.317
3. AGROPECUÁRIA	539.920	544.717	550.226	555.694	567.146	565.120	564.395	568.286	583.740	600.474	622.014
4. LULUCF	172.897	411.276	259.775	373.264	436.546	313.282	362.156	567.067	665.084	882.478	805.694
5. RESÍDUOS	73.636	78.832	79.350	80.833	81.735	84.956	87.184	87.785	88.735	90.999	90.761

APÊNDICE X. SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

↑ *C* HWP DC – Emissão de carbono para atmosfera de Produtos florestais madeireiros em uso + emissão de carbono para atmosfera de Produtos florestais madeireiros em Sítios de depósito de resíduos sólidos

A – Área queimada

A – Rios e Lagos

Aa – Floresta Ombrófila Aberta Aluvial

Ab – Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio

ABC – Agência Brasileira de Cooperação

ABCM – Associação Brasileira do Carvão Mineral

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química

ABLV – Associação Brasileira da Indústria de Látex de Longa Vida

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal

ABRACAL – Associação Brasileira dos Produtores de Calcário

ABRACICLO – Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas Ciclomotores Motonetas Bicicletas e Similares

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração Ar-Condicionado Ventilação e Aquecimento

AC – Acre

Ac – Área agrícola

Ac-Res – Agricultura para Reservatório

Ac-S – Agricultura para Assentamentos

Ac-SE – Agricultura para Solo exposto

AFOLU – (Agriculture, Forestry and Other Land Use) Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo

AGB – (Above Ground Biomass) Biomassa acima do solo

AGB – Biomassa aérea

AGdm – (Above-ground residues dry matter) Matéria seca da biomassa aérea

AL – Alagoas

AM – Amazonas

Am – Floresta Ombrófila Aberta Montana

ANA – Agência Nacional de Águas

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários

ANUALPEC – Anuário Estatístico da Produção Animal

AP – Amapá

Ap – Pastagem

APA – Área de Proteção Ambiental

Ap-Ac – Pastagem para Agricultura Anual

Ap-Apd – Pastagem para Pastagem Degradada

Ap-CANA – Pastagem para Agricultura Semiperene

APD – Pastagem Degradada

Ap-FSec – Pastagem para Floresta Secundária

Ap-GSec – Pastagem para Campo Secundário

Ap-Min – Pastagem para Mineração

APNE – Associação Plantas do Nordeste

Ap-OFLSec – Pastagem para Outras Formações Lenhosas Secundárias

APP – Área de Preservação Permanente

Ap-Ref – Pastagem para Reflorestamento

Ap-Res – Pastagem para Reservatório

Ap-S – Pastagem para Assentamentos
 Ap-SE – Pastagem para Solo exposto
 APU – (Auxiliary Power Unit) Unidade de Energia Auxiliar
 Ar – Afloramento Rochoso
 AR4 – (Fourth Assessment Report) Quarto Relatório de Avaliação do IPCC
 AR5 – (Fifth Assessment Report) Quinto Relatório de Avaliação do IPCC
 ArM – Afloramento Rochoso Manejado
 ArnM – Afloramento Rochoso Não Manejado
 ARPA – Programa Áreas Protegidas da Amazônia
 As – Floresta Ombrófila Aberta Submontana
 ASD – Área Suscetível à Desertificação
 ASH – (Ash) Teor de cinzas contido no dejetos
 Asha – Conteúdo de Cinzas nos Anodos Cozidos
 BA – Bahia
 BA – Produção de Anodo Cozido
 BEN – Balanço Energético Nacional
 BEU – Balanço de Energia Útil
 BGB – (Below Ground Biomass) Biomassa abaixo do solo ou subterrânea
 BGdm – (Below-ground residues dry matter) matéria seca nos resíduos subterrâneos
 Bo – (Maximum methane producing capacity) Capacidade máxima de produção de metano
 BTR – (Biennial Transparency Reports) Relatórios Bienais de Transparência
 BTR1 – (First Biennial Transparency Report) Primeiro Relatório Bienal de Transparência
 BW – (Average live body weight) Peso animal médio
 C – (Net energy coefficient required by the animal for growth) Coeficiente de energia requerido pelo animal para o crescimento
 C – Carbono
 C₂F₆ – Hexafluoroetano
 C₆F₁₄ – Perfluoro-hexano
 Ca – (Net energy coefficient required by the animal for animal activity) Coeficiente de energia líquida requerido pelo animal para a atividade animal
 Ca – Cálcio
 Ca – Floresta Estacional Decidual Aluvial
 CAc – Estoque de carbono da agricultura
 CAc Anual – Estoque de agricultura anual
 CAc Per – Estoque de agricultura perene
 CaCO₃ – Carbonato de cálcio
 CAD – capacidade de armazenamento de água do solo
 CANA – Agricultura semiperene
 CaO – Óxido de Cálcio
 Cap – Estoque de pastagem
 cap. – capítulo
 CApD – Estoque de pastagem degradada
 Cb – Floresta Estacional Decidual Terras Baixas
 CBIT – (Capacity Building Initiative for Transparency) Iniciativa de Formação de Capacidades para Transparência
 CCST – Centro de Ciência do Sistema Terrestre do INPE
 CE – Ceará
 Cepagro – Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo
 CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
 CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
 Cf – (Combustion factor) Fator de combustão
 Cf – (Net energy coefficient required by the animal for maintenance) Coeficiente de energia necessária ao animal para manutenção

CF – carbono total do Resíduo Sólido Municipal
 CF₄ – Tetrafluorometano
 CFCs – Clorofluorcarbonetos
 CFOAi – (conversion factor for organic amendment i (in terms of its relative effect with respect to straw applied shortly before cultivation) fator de conversão para aporte de material orgânico, tendo como referência o efeito proporcionado pela aplicação de palha de arroz imediatamente antes do cultivo
 CGCL – Coordenação-Geral de Ciência do Clima do MCTI
 CH₄ – Metano
 CH₄ emitido queimaT – quantidade de CH₄ emitido a partir da queima no ano
 CH₄ emitidoT – quantidade de CH₄ emitido em efluentes domésticos no ano
 CH₄ emitidoT – quantidade de CH₄ emitido no ano
 CH₄ geradox,T – quantidade de CH₄ gerado no local de disposição final no ano
 CHF₃ – Trifluorometano
 CHP – (Combined heat and power) Geração combinada de calor e energia
 CIM – Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima
 CKD – (Cement Kiln Dust) Pó de forno de cimento
 cm – Centímetros
 Cm – Floresta Estacional Decidual Montana
 CMA1 – Conferência das Partes na qualidade de reunião das Partes do Acordo de Paris
 CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
 CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
 CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
 CNs – Comunicações Nacionais
 CO – Estoque de carbono de outros usos
 CO – Monóxido de Carbono
 CO119 – Quantidade total de RDO e RPU coletada por todos os agentes
 CO164 – População total atendida no município com coleta regular de pelo menos uma vez por semana
 CO₂ – Dióxido de Carbono
 CO₂ emitido incineraçãoT – quantidade de CO₂ emitido a partir da incineração no ano
 CO₂ emitido queimaT – quantidade de CO₂ emitido a partir da queima no ano
 CO₂ eq – Dióxido de Carbono Equivalente
 CODi – Concentração de Material Carbonáceo contida na Água Residuária
 COi – Carga orgânica
 COMEX STAT – Estatística comércio exterior
 Conab – Companhia Nacional de Abastecimento
 Cons – Consumo de combustível
 COP – Conferência das Partes da UNFCCC
 COS – Carbono Orgânico do Solo
 Cpregnancy – (Pregnancy rate) Taxa de prenhez
 CPRM – Serviço Geológico do Brasil
 CRA – Cota de Reserva Ambiental
 CRef – Estoque carbono médio em reflorestamento
 CRef – Estoque de carbono médio
 Cref – Estoque médio de carbono de reflorestamento (t C ha⁻¹)
 CRes – Estoque de C de reservatórios
 CRT – (Common Reporting Tables) Tabelas Comuns de Reporte
 CS – (Country-specific) Fator de emissão específico do país
 CS – Corte Seletivo
 Cs – Floresta Estacional Decidual Submontana
 CS-Ac - Corte Seletivo para Agricultura Anual
 CS-Ap – Corte Seletivo para Pastagem

CS-CS – Corte Seletivo permanecendo Corte Seletivo
 CS-FSec – Corte Seletivo para Floresta Secundária
 CSI – Cement Sustainability Initiative
 CS-Min – Corte Seletivo para Mineração
 CS-PER – Corte Seletivo para Agricultura Perene
 CS-Ref – Corte Seletivo para Floresta Reflorestamento
 CS-Res – Corte Seletivo para Reservatório
 CT – Câmaras Temáticas
 CW – Resíduos de Serviços de Saúde
 CWcoleta – Massa anual de CW coletada em cada UF
 CWPB – (Cell Wall Prebake) Pré-cozimento da parede celular
 CWper capita – Massa per capita de resíduos de serviços de saúde
 D – (IPCC default) Fator de emissão padrão do IPCC
 D – Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Pluvial)
 DA – Dado de Atividade
 Da – Floresta Ombrófila Densa Aluvial
 DA – Valores de desmatamento anual por bioma
 DAMS – Digestibilidade aparente da Matéria Seca
 DATASUS – Sistema Único de Saúde do Brasil
 Db – Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas
 DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
 DCI – Departamento de Comunicação e Informação
 DDOCm – Massa de carbono orgânico degradável decomponível
 DDOCm decompT – Matéria orgânica degradável decomposta no ano T
 DDOCmaT – DDOCm acumulado no SWDS ao final do ano T
 DDOCmaT-1 – DDOCm acumulado no SWDS ao final do ano T-1
 DDOCmdT – DDOCm depositado no SWDS no ano T
 DE – (Digestible Energy) Taxa de Digestibilidade
 DF – Distrito Federal
 DGI – Divisão de Geração de Imagens
 DIMS – Digestibilidade In Vitro da Matéria Seca
 DI – Floresta Ombrófila Densa Alto Montana
 Dm – Floresta Ombrófila Densa Montana
 dm – Massa seca total do Resíduo Sólido Urbano
 dmi – Massa seca do resíduo (base úmida) incinerada
 dmj – Massa seca do componente j do Resíduo Sólido Urbano queimada a céu aberto
 Dn – Dunas
 DnM – Dunas Manejadas
 DnM-Ac – Duna Manejada para Agricultura Anual
 DnM-Ap – Duna Manejada para Pastagem
 DnM-PER – Duna Manejada para Agricultura Perene
 DnM-Ref – Duna Manejada para Reflorestamento
 DnM-S – Dunas Manejadas para Área Construída
 DnNM – Dunas não Manejadas
 DnNM-Ac – Duna Não Manejada para Agricultura Anual
 DnNM-Ap – Duna Não Manejada para Pastagem
 DnNM-PER – Duna Não Manejada para Agricultura Perene
 DnNM-Ref – Duna Não Manejada para Reflorestamento
 DnNM-S – Dunas Não Manejadas para Assentamentos
 DOC – Fração de carbono orgânico degradável
 DOCf – Fração de carbono orgânico degradável decomponível
 DOCi – Carbono orgânico degradável no ano de deposição em cada categoria de resíduo
 DOM – (Dead Organic Matter) Matéria Orgânica Morta

dos Oceanos e Estudos do Clima
 Dperíodo j – Média aritmética da área desmatada período para o bioma
 DPVAT – Seguro de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre
 DQO – Demanda Química de Oxigênio
 DRY – Fração de matéria seca nos grãos
 Ds – Floresta Ombrófila Densa Submontana
 DW – Madeira morta em pé
 DWW - Sistemas de tratamento de águas residuárias domésticas
 E – Estepe
 E – (Emission) Emissão de carbono para atmosfera de Produtos florestais madeireiros em uso
 Ea – Savana-Estépica Arborizada
 EBA – (Estimating Biomass in the Amazon) Biomassa estimada na Amazônia
 ECO₂ – Emissões de CO₂ (Dióxido de Carbono)
 EEA – (European Environment Agency) Agência Europeia do Ambiente
 EEDb – (Engine Emissions Data Bank) Banco de dados de emissões de motores
 EF – (Emission Factor) Fator de Emissão por inundação contínua, sem aporte de material orgânico
 EF – Fatores de emissão para tratamento de compostagem
 EFEfluente – Fator de emissão de N₂O da água residuária despejada
 EFi – Fator de emissão de N₂O para o tipo de resíduo
 EFj – Fator de emissão do efluente
 EFk – Fator de emissão da indústria para cada tratamento/sistema utilizado no ano inventariado
 Eg – Estepe Gramíneo-Lenhosa
 EM – Contato Estepe/Floresta Ombrófila Mista
 Emater – Empresa de Assistência Técnica Rural
 Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
 EMEP – (European Monitoring and Evaluation Programme) Programa Europeu de Monitorização e Avaliação
 EN – Contato Estepe/Floresta Estacional
 ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
 ENREDD+ – Estratégia Nacional para REDD+
 EOR – (Enhanced Oil Recovery) Recuperação Avançada de Petróleo
 EP – Contato Estepe Formações
 Ep – Estepe Parque
 Epagri – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
 EPE – Empresa de Pesquisa Energética
 Eperíodo j – Média aritmética da emissão bruta de CO₂ no período para o bioma)
 ES – Espírito Santo
 ESA – (European Space Agency) Agência Espacial Europeia
 ETF – (Enhanced Transparency Framework) Estrutura de Transparência Aprimorada
 EVI – (Enhanced Vegetation Index) Índice Aprimorado de Vegetação
 EW – Emissão de carbono para atmosfera de Produtos florestais madeireiros em Sítios de depósito de resíduos sólidos
 F – Floresta Estacional Semidecidual
 F – Floresta
 F – Fração de gás metano no gás de aterro
 Fa – Florestas Estacionais Semidecíduais Aluvial
 FAM – (Fraction of Manure) Quantidade de Nitrogênio na forma de adubo orgânico correspondeu àquele presente nos dejetos manejados
 FAO – (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
 FAOSTAT – (Food and Agriculture Organization Statistics) Organização Estatística para Alimentação e Agricultura
 Fat – (Fat content) Teor de gordura no leite

Fb – Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas
 FBMC – Fórum Brasileiro de Mudança do Clima
 fC – Fator de alteração do carbono do solo
 FCF – Fração de carbono fóssil
 FCR – (Crop residue N, including N-fixing crops and forage/ pasture renewal, returned to soils) Quantidade de Nitrogênio correspondeu àquele presente nos resíduos de culturas e renovação de pastagens
 FE – Fator de emissão
 fI – Fator de mudança de estoque devido à adição de matéria orgânica
 FIND-CON – Fator para proteína comercial e industrial co-dispostos no sistema de coleta
 fIU – Fator de mudança de estoque devido ao 1 tipo de uso ou mudança de uso da terra
 Fm – Floresta Estacional Semidecidual Montana
 FM – Floresta Manejada
 FM-Ac – Floresta Manejada para Agricultura Anual
 FM-Ap – Floresta Manejada para Pastagem
 FM-Apd – Floresta Manejada para Pastagem Degradada
 FM-CANA – Floresta Manejada para Agricultura Semiperene
 FM-CS – Floresta Manejada para Corte Seletivo
 FM-FM – Floresta Manejada permanecendo Floresta Manejada
 FM-FSec – Floresta Manejada para Floresta Secundária
 fMG – Fator de mudança de estoque devido ao regime de 2 manejo
 FM-Min – Floresta Manejada para Mineração
 FM-PER – Floresta Manejada para Agricultura Perene
 FM-Ref – Floresta Manejada para Reflorestamento
 FM-Res – Floresta Manejada para Reservatório
 FM-S – Floresta Manejada para Assentamentos
 FM-SE – Floresta Manejada para Solo Exposto
 FNM – Floresta Não Manejada
 FNM – Floresta não Manejada
 FNM-Ac – Floresta Não Manejada para Agricultura Anual
 FNM-Ap – Floresta Não Manejada para Pastagem
 FNM-CANA – Floresta Não Manejada para Agricultura Semiperene
 FNM-CS – Floresta Não Manejada para Corte Seletivo
 FNM-FM – Floresta Não Manejada para Floresta Manejada
 FNM-FSec – Floresta Não Manejada para Floresta Secundária
 FNM-Min – Floresta Não Manejada para Mineração
 FNM-PER – Floresta Não Manejada para Agricultura Perene
 FNM-Ref – Floresta Não Manejada para Reflorestamento
 FNM-Res – Floresta Não Manejada para Reservatório
 FNM-S – Floresta Não Manejada para Assentamentos
 FNM-SE – Floresta Não Manejada para Solo Exposto
 FNON-CON – Fator para proteína não consumida adicionada à água residuária
 FNP – Informe Econômico FNP
 FNPR – Fração de nitrogênio na proteína
 FON – (Annual amount of organic nitrogen additions applied to soils) Quantidade anual de adições orgânicas de Nitrogênio aplicadas aos solos (dejetos, resíduos de culturas
 FOOA – (Amount of nitrogen in the form of organic fertilizer present in vinasse and filter cake) Quantidade de Nitrogênio na forma de adubo orgânico correspondeu àquele presente na vinhaça e torta de filtro
 FOS – (Annual area of managed/drained organic soils) área anual de solos orgânicos manejados/drenados
 FPRP – (Amount of nitrogen in organic fertilizer present in unmanaged manure) Quantidade de Nitrogênio na forma de adubo orgânico correspondeu àquele presente nos dejetos não manejados

FRA – (Global Forest Resources Assessment) Avaliação Global de Recursos Florestais

FracGASF – (Fraction of synthetic fertilizer nitrogen that is lost through volatilization as NH_3 and NO_x gases) Fator de perda de Nitrogênio por volatilização para uso de fertilizantes sintéticos

FracGASM – (Fraction of manure nitrogen and organic fertilizer nitrogen lost through volatilization as NH_3 and NO_x gases) Fator de perda de Nitrogênio por volatilização para uso adubos orgânicos e de dejetos não manejados

FracGasMS – (percent of managed manure nitrogen for livestock that volatilises as ammonia and nitrogen oxides in the manure management system) Fração de nitrogênio dos dejetos não manejados e de adubos orgânicos perdido por volatilização como gases de amônia e óxidos de nitrogênio

FracLEACH – (Fraction of nitrogen lost by leaching and runoff from managed soils) Fator de perda de Nitrogênio por lixiviação em solos manejados

FracLossMS – (Fraction of nitrogen lost for each manure management system that is not accounted for as organic fertilizer) Fator de perda de Nitrogênio para cada manejo dos dejetos que é perdido e não contabilizado como adubo orgânico

FracNew – (Renewal factor) Fator de renovação

FracRenew – (Fraction of the total area cultivated with crop T that is renewed annually) Fração da área total cultivada com a cultura T que é renovada anualmente

Fs – Floresta Estacional Semidecidual Submontana

FSec – Floresta Secundária

FSec-Ac – Floresta Secundária para Agricultura Anual

FSec-Ap – Floresta Secundária para Pastagem

FSec-CANA – Floresta Secundária para Agricultura Semiperene

FSec-CS – Floresta Secundária para Corte Seletivo

FSec-Min – Floresta Secundária para Mineração

FSec-PER – Floresta Secundária para Agricultura Perene

FSec-Ref – Floresta Secundária para Reflorestamento

FSec-Res – Floresta Secundária para Reservatório

FSec-S – Floresta Secundária para Assentamentos

FSec-SE – Floresta Secundária para Solo Exposto

FSN – (Amount of nitrogen in the form of synthetic fertilizers) Quantidade de Nitrogênio na forma de adubo correspondeu àquele presente nos fertilizantes sintéticos

FSOM – (Amount of nitrogen mineralized due to carbon loss from soil) Quantidade de Nitrogênio mineralizado pela perda de Carbono do solo

FUNAI – Fundação Nacional do Índio

G – Gramínea

GA – Peso Original dos Anodos

GE – (Gross Energy Intake) Ingestão de Energia Bruta

GEE – Gases de efeito estufa

GEEng – Google Earth Engine

Gef – Fator de emissão

GEF – (Global Environment Facility) Fundo Global para o Meio Ambiente

Gg – Giga gramas

GM – Campo Manejado

GM-Ac – Campo Manejado para Agricultura Anual

GM-Ap – Campo Manejado para Pastagem

GM-CANA – Campo Manejado para Agricultura Semiperene

GM-GM – Campo Manejado permanecendo Campo Manejado

GM-GSec – Campo Manejado para Campo Secundário

GM-Min – Campo Manejado para Mineração

GM-PER – Campo Manejado para Agricultura Perene

GM-Ref – Campo Manejado para Reflorestamento

GM-Res – Campo Manejado para Reservatório

GM-S – Campo Manejado para Assentamentos
 GM-SE – Campo Manejado para Solo exposto
 GNM – Campo não Manejado
 GNM-Ac – Campo Não Manejado para Agricultura Anual
 GNM-Ap – Campo Não Manejado para Pastagem
 GNM-CANA – Campo Não Manejado para Agricultura Semiperene
 GNM-GM – Campo Não Manejado para Campo Manejado
 GNM-GSec – Campo Não Manejado para Campo Secundário
 GNM-Min – Campo Não Manejado para Mineração
 GNM-PER – Campo Não Manejado para Agricultura Perene
 GNM-Ref – Campo Não Manejado para Reflorestamento
 GNM-Res – Campo Não Manejado para Reservatório
 GNM-S – Campo Não Manejado para Assentamentos
 GNM-SE – Campo Não Manejado para Solo exposto
 GNV - Gás Natural Veicular
 GO – Goiás
 GPG – (Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories) Diretrizes de Boas Práticas de 2000 do IPCC
 GSec – Campo Secundário
 GSec-Ac – Campo Secundário para agricultura anual
 GSec-Ap – Campo Secundário para Pastagem
 GSec-CANA – Campo Secundário para Agricultura Semiperene
 GSec-Min – Campo Secundário para Mineração
 GSec-PER – Campo Secundário para Agricultura Perene
 GSec-Ref – Campo Secundário para Reflorestamento
 GSec-Res – Campo Secundário para Reservatório
 GSec-S – Campo Secundário para Assentamentos
 GT – Grupo de Trabalho
 GTP – (Global Temperature change Potential) Potencial de aumento de Temperatura Global
 GWL – (Global Warming Level) Nível de Aquecimento Global
 GWP – (Global Warming Potential) Potencial de Aquecimento Global
 H – Colheita de madeira para ser usada em Produtos florestais madeireiros
 ha – hectare
 hab – habitantes
 HAC – (High Activity Clay) Solos com alto conteúdo de argila
 HCFC-22 – Hidroclorofluorcarbono-22
 HCFCs – Hidrofluorclorocarbonos
 HFCs – Hidrofluorcarbonos
 HNO₃ – ácido nítrico
 HSS – Horizontal Stud Soderberg
 Hw – Conteúdo de Hidrogênio dos Anodos
 HWP – (Harvested Wood Products) Produtos de Madeira Colhida
 I - fator de correção para despejo adicional de DBO industrial na rede de esgoto
 i.e. (Id est) – Isto é
 IA – Índices de anualização utilizados para estimar as emissões anuais brutas de CO₂
 IABr – Instituto Aço Brasil
 IAC – Instituto Agrônomo
 IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores
 IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
 IBRAVIN – Instituto Brasileiro do Vinho
 IBTS – Instituto Brasileiro de Transportes Sustentáveis
 ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade de serviços de transporte interestadual, intermunicipal e de comunicação

IE – (included elsewhere) Incluída em Outro Local
 iLPF – Integração Lavoura Pecuária Floresta
 Incra – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
 INCT – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
 INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
 IPCC – (Intergovernmental Panel on Climate Change) Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
 iPF – Integração pecuária-floresta
 IPPU – Processos Industriais e Uso de Produtos
 IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz
 Iv – Incremento líquido médio anual em volume, adequado para processamento industrial
 IWi – Massa de resíduo sólido do tipo i incinerada ou queimada
 k – Constante de geração de metano
 kg – Quilograma
 km² – Quilômetro quadrado
 kt – Quilotonelada (mil toneladas)
 L – Campinarana
 La – Campinarana Arborizada
 LAC – (Low Activity Clay) Solos com baixo conteúdo de argila
 Lb – Campinarana Arbustiva
 Ld – Campinarana Florestada
 Lg – Campinarana – Gramíneo-Lenhosa
 LGN – Líquido de Gás Natural
 LiDAR – Light Detection and Ranging
 LO – Comtato Campinarana/Floresta Ombrófila
 LSPA – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola
 LULUCF – (Land Use, Land-Use Change and Forestry) Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas
 M – Floresta Ombrófila Mista
 M – Massa de resíduo orgânico tratada pelo tratamento biológico de compostagem
 m³ – Metros cúbicos
 Ma – Floresta Ombrófila Mista Aluvial
 MA – Maranhão
 MAP – Precipitação média anual
 MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
 MAT – Temperatura média anual
 MB – (Biomass available for combustion) Biomassa disponível para combustão
 MCF – (Methane Conversion Factor) Fator de Conversão de Metano
 MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
 MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
 MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário
 MDIC – Ministério da Indústria Comércio Exterior e Serviços
 MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
 MEC – Ministério da Educação
 MF – Ministério da Fazenda
 Mg – Magnésio
 MG – Minas Gerais
 MgCO₃ – Carbonato de magnésio
 MgO – Óxido de Magnésio
 MI – Ministério da Integração Nacional
 Milk – Produção de leite
 Min – Mineração

Min-Ac – Mineração para Agricultura Anual
 Min-Ap – Mineração para Pastagem
 Min-FSec – Mineração para Floresta Secundária
 Min-GSec – Mineração para Campo secundário
 Min-OFLSec – Mineração para Outras Formações Lenhosas Secundárias
 Min-Ref – Mineração para Reflorestamento
 MJ – Megajoule
 MI – Floresta Ombrófila Mista Alto-montana
 MLME – Modelo Linear de Mistura Espectral
 Mm – Floresta Ombrófila Mista Montana
 mm – (millimeter) milímetro
 MMA – Ministério do Meio Ambiente
 MME – Ministério de Minas e Energia
 MPDG – Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão
 MPGs – (Modalities, Procedures and Guidelines) Modalidades, Procedimentos e Diretrizes
 MRE – Ministério das Relações Exteriores
 MRV – Mensuração, Relato e Verificação
 MS – (Fraction of manure management system utilization) Fração de utilização de cada sistema de manejo de dejetos animal
 Ms – Floresta Ombrófila Mista – Submontana
 MS – Mato Grosso do Sul
 MSW – (Municipal Solid Waste) Resíduo Sólido Municipal
 MSWB - massa total de MSW queimada a céu aberto
 MSWcoletado – Massa de MSW coletada anualmente
 MSWP – Geração de resíduo por habitante
 MT – Mato Grosso
 MTE – Ministério do Trabalho e Emprego
 MVC – Dicloroetano e Cloreto de Vinila
 N – Estacionais
 N – Nitrogênio
 N₂O – Óxido Nitroso
 N₂O emitido incineração ou queimaT – Quantidade de N₂O emitido a partir da incineração ou queima no ano
 N₂O emitidoT – Quantidade de N₂O emitido a partir do tratamento do efluente doméstico no ano
 N₂O emitidoT – Quantidade de N₂O emitido no ano
 NA – (not applicable) Não Aplicável
 NA – atividade em uma determinada categoria de fonte/sumidouro que ocorre no país, mas não resultou em emissões ou remoções de um gás específico
 NAC – Consumo Líquido de Anodo Pré-Cozido
 Nag – (Fraction of nitrogen in above-ground residues) Frações de Nitrogênio nos resíduos de parte aérea e raízes
 Nbg – (Fraction of nitrogen in below-ground residues) Frações de Nitrogênio nos resíduos subterrâneos
 NE – (not estimated) Não Estimada
 NE – Categorias não estimadas
 NE – dados de atividade e/ou emissões por fontes e remoções por sumidouros de GEE que não tenham sido estimados, mas para os quais uma atividade correspondente pode ocorrer no país
 NE – Nordeste
 NEE – (Net Ecosystem Exchange) Troca de C líquida do ecossistema
 NEfluente – Nitrogênio do efluente despejado no ambiente aquático
 Nex – (Annual nitrogen excretion rate) Taxa anual de excreção de Nitrogênio
 NF₃ – Trifluoreto de Nitrogênio
 NH₃ – Amônia

NIR – (National Inventory Report) Relatório de Inventário Nacional
 NLodo – Nitrogênio removido via lodo
 NM – Contato Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista
 NMVOC – Outros Compostos Orgânicos Voláteis não Metânicos
 NO – (not occurring) Não Ocorre
 NO – Área Não Observada
 NO_x – Óxidos de Nitrogênio
 NP – Contato Floresta Estacional/ Formações Pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga)
 NP – Dados não publicados
 NRC – (National Research Council) Conselho Nacional de Pesquisa
 O – Ombrófilas
 O – Outras Terras
 O – Outras transferências transfronteiriças possíveis de carbono do resto de Agricultura, Florestas e Outros usos do solo
 OACI – Organização da Aviação Civil Internacional
 OFi – Fator de oxidação
 OFL – Outras Formações Florestais
 OFLM – Outras Formações Lenhosas Manejadas
 OFLM-Ac – Outras Formações Lenhosas Manejadas para Agricultura Anual
 OFLM-Ref – Outras Formações Lenhosas Manejadas para Reflorestamento
 OFLM-Ap – Outras Formações Lenhosas Manejadas para Pastagem
 OFLM-Min – Outras Formações Lenhosas Manejadas para Mineração
 OFLM-OFLM – Outras Formações Lenhosas Manejadas permanecendo Outras Formações Lenhosas Manejadas
 OFLM-OFLSec – Outras Formações Lenhosas Manejadas para Outras Formações Lenhosas Secundárias
 OFLM-PER – Outras Formações Lenhosas Manejadas para Agricultura Perene
 OFLM-Res – Outras Formações Lenhosas Manejadas para Reservatório
 OFLM-S – Outras Formações Lenhosas Manejadas para Assentamentos
 OFLNM – Outras Formações Lenhosas não Manejadas
 OFLNM-Ap – Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Pastagem
 OFLNM- Min – Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Mineração
 OFLNM-Ac – Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Agricultura Anual
 OFLNM-CANA – Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Agricultura Semiperene
 OFLNM-OFLM – Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Outras Formações Lenhosas Manejadas
 OFLNM-OFLSec – Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Outras Formações Lenhosas Secundárias
 OFLNM-PER – Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Agricultura Perene
 OFLNM-Ref – Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Reflorestamento
 OFLNM-Res – Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Reservatório
 OFLNM-S – Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Assentamentos
 OFLNM-SE – Outras Formações Lenhosas Não Manejadas para Solo Exposto
 OFLSec – Outras Formações Lenhosas Secundárias
 OFLSec-Min – Outras Formações Lenhosas Secundárias para Mineração
 OFLSec-Res – Outras Formações Lenhosas Secundárias para Reservatório
 OFLSec- S – Outras Formações Lenhosas Secundárias para Assentamentos
 OFLSec-SE - Outras Formações Lenhosas Secundárias para Solo Exposto
 OFLSec-Ac – Outras Formações Lenhosas Secundárias para Agricultura Anual
 OFLSec-Ap – Outras Formações Lenhosas Secundárias para Pastagem
 OFLSec-CANA – Outras Formações Lenhosas Secundárias para Agricultura Semiperene
 OFLSec-PER – Outras Formações Lenhosas Secundárias para Agricultura Perene

OFLSec-Ref – Outras Formações Lenhosas Secundárias para Reflorestamento
 OM – Contato Floresta Ombrófila Densa /Floresta Ombrófila Mista
 OMM – Organização Meteorológica Mundial
 ON – Contato Floresta Ombrófila/Floresta Estacional
 ONU – Organização das Nações Unidas
 OP – Contato Floresta Ombrófila/ Formações Pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga)
 OP – órbita/ponto
 OR – Outras regiões da Mata Atlântica
 OR – Outras Regiões
 OTH – (other) outros
 Ox – Fator de Oxidação
 OXT – Fator de Oxidação no ano
 P – Formação Pioneira
 P – população
 Pa – Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre
 PA – Pará
 PAM – Produção Agrícola Municipal
 PB – Paraíba
 PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
 PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
 PC – Peso Corporal
 PC – Plantio convencional
 PCS – Programa Nacional de Conservação e Uso Sustentável do Bioma Cerrado (Programa Cerrado Sustentável)
 PDE – Plano Decenal de Energia
 PE – Pernambuco
 PEE – Programa de Eficiência Energética
 PER – Agricultura perene
 PER – Perene
 PET – Potencial de evapotranspiração
 PEX – Transferência de carbono na forma de biomassa de produtos madeireiros exportados
 Pf – Formação Pioneira com influência fluviomarinha (mangue)
 PFCs – Perfluorcarbonos
 PFMs – Produtos Florestais Madeireiros
 Pfrac – Fração da população que realiza queima
 PGIRS – Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
 PI – Piauí
 Pi – Produção industrial
 PIA – Pesquisa Industrial Anual
 PIB – Produto Interno Bruto
 PIM – Transferência de carbono na forma de biomassa de produtos madeireiros importados
 Pk – Produção industrial total para a indústria do setor i
 Plano ABC – Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura
 PlanSab – Plano Nacional de Saneamento Básico
 Pm – Formação Pioneira com influência marinha (restinga)
 PMDBBS – Projeto de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite
 PMFS – Planos de Manejo Florestal Sustentável da Caatinga
 PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
 PNADC – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua
 PNMC – Política Nacional sobre Mudança do Clima
 PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNSH – Plano Nacional de Segurança Hídrica
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPCDAM – Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia
PPM – Pesquisa da Pecuária Municipal
PR – Paraná
Proálcool – Programa Nacional do Alcool
PROCEL – Programas de Educação em Conservação de Energia Elétrica
PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
Prodes – Sistema de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal
Proveg – Política Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa
PROZON – Programa Brasileiro de Substituição de Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio
PSA – Pagamento por Serviços Ambientais
PSF – Programa Saúde da Família
PTN – Consumo de proteína per capita
PV – Peso Vivo
QA – (Quality Assurance) Garantia de Qualidade
QA/QC – (Quality assurance/Quality control) Garantia de qualidade/ Controle de qualidade
QC – (Quality Control) Controle de Qualidade
R – Metano recuperado
R – Proporção de raiz
Rag – (Ratio of dry residue to dry harvested product) Razão entre resíduo seco e produto colhido seco
Rbg-bio – (Ratio of below-ground dry residue to above-ground biomass dry matter) Relação entre matéria seca de resíduos subterrâneos e matéria seca da biomassa de parte aérea
REDD+ – Desmatamento e da Degradação Florestal, Conservação dos Estoques de Carbono Florestal, Manejo Sustentável de Florestas e Aumento de Estoques de Carbono Florestal
Rede CLIMA – Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais
Ref – Reflorestamento
Ref-OFLSec – Reflorestamento para Outras Formações Lenhosas Secundárias
Ref-Ac – Reflorestamento para Agricultura Anual
Ref-Ap – Reflorestamento para Pastagem
Ref-CANA – Reflorestamento para Agricultura Semiperene
Ref-FSec – Reflorestamento para Floresta Secundária
Ref-GSec – Reflorestamento para Campo Secundário
Ref-Min – Reflorestamento para Mineração
Ref-PER – Reflorestamento para Agricultura Perene
Ref-Res – Reflorestamento para Reservatório
Ref-S – Reflorestamento para Assentamentos
Ref-SE – Reflorestamento para Solo Exposto
RES – Reservatórios
RIDESA – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
RJ – Rio de Janeiro
RL – Refúgio Alto- Montano
RL – Reserva Legal
Rm – Refúgio montano
RM – Região Metropolitana
RN – Rio Grande do Norte
RO – Rondônia
ROAi – (Dose of organic material applied, based on dry matter for rice straw and fresh matter for other residues) Dose de material orgânico aplicado, com base em matéria seca para a palha do arroz e em matéria fresca para demais resíduos

RR – Roraima
 Rs – Refúgio Submontano
 RS – Rio Grande do Sul
 S - Assentamentos
 S – Componente orgânico removido como lodo
 S – Savana
 S1 – Solos com argila de atividade alta
 S2 – Latossolos com argila de atividade baixa
 S3 – Não Latossolos com argila de atividade baixa
 S4 – Solos arenosos
 S5 – Solos hidromórficos
 S6 – Outros Solos
 Sa – Conteúdo de Enxofre nos Anodos Cozidos
 Sa – Conteúdo de Enxofre nos Anodos Cozidos
 Sa – Savana Arborizada
 SAE – Society of Automotive Engineers
 SAF – (Sustainable Aviation Fuel) Combustível Sustentável de Aviação
 SAR – (Second Assessment Report) Segundo Relatório de Avaliação do IPCC
 SAR/ANAC – Superintendência de Aeronavegabilidade
 SC – Santa Catarina
 Sd – Savana Florestada
 SDO – Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio
 S-DWW – Lodo de Esgoto Doméstico
 SE – Sergipe
 SE – Solo Exposto
 SE-Ac – Solo exposto para Agricultura Anual
 SE-Ap – Solo exposto para Pastagem
 SE-FSec – Solo exposto para Floresta Secundária
 SE-GSec – Solo exposto para Campo Secundário
 SE-OFLSec – Solo exposto para Outras Formações Lenhosas Secundárias
 SEPPE – Secretaria de Políticas e Programas Estratégicos do MCTI
 SE-Ref – Solo exposto para Reflorestamento
 SESI – Serviço Social da Indústria
 SF₆ – Hexafluoreto de enxofre
 SFB – Serviço Florestal Brasileiro
 SFo – (Scaling factor explaining variations in the type and amount of organic material added to soil) Fator de escala que explica as variações no tipo e quantidade de material orgânico aportado ao solo
 SFp – (Scaling factor explaining differences in water regime prior to rice cultivation) Fator de escala que explica as diferenças de regime hídrico no período que antecede o cultivo do arroz (entressafra)
 SFw – (Scaling factor explaining differences in water regime during rice cultivation) Fator de escala que explica as diferenças de regime hídrico durante o período de cultivo do arroz
 Sg – Savana Gramíneo-Lenhosa
 SiCAR – Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural
 SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática
 SIECESC – Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina
 SIN-ABC – Sistema Integrado de Informações do Plano Setorial para Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura
 SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
 SIRENE – Sistema de Registro Nacional de Emissões
 SM – Contato Savana/Floresta Ombrófila Mista
 SN – Contato Savana/Floresta Estacional

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
 SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
 SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
 SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação
 SO – Contato Savana/Floresta Ombrófila
 SP – Centrais Elétricas de Serviço Público
 SP – Contato Savana/Formações Pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga)
 SP – São Paulo
 Sp – Savana Parque
 SPD – Sistema de Plantio Direto
 ST – Contato Savana/Formações pioneiras – Específico para Formação Pioneira com Influência Marinha (Restinga)
 ST – Contato Savana/Savana-Estépica
 STN - Contato Savana/Savana-Estépica/Floresta Estacional
 SWDS – Disposição final de resíduo sólidos
 SWi – Massa de resíduo sólido do tipo i (base úmida) incinerada
 T – ano inventariado
 T – Savana Estépica
 t – tempo de crescimento
 T – tempo do ciclo do plantio (ano)
 T/2 – Metade do período
 T1 – *Tier 1*
 t1/2 – tempo de meia vida
 T2 – *Tier 2*
 T2a – *Tier 2a*
 T3 – *Tier 3*
 T3a – *Tier 3a*
 Ta – Asvana Estépica Arborizada
 TAM – (Typical animal mass) Massa corporal típica de um animal
 Td – Asvana Estépica Florestada
 TFT – (thin film transistor) transistor de película fina
 Tg – Savana Estépica Gramíneo Lenhosa
 TI – Terras Indígenas
 Tij – Grau de utilização do sistema de tratamento/sistema ou caminho de despejo por cada fração de grupo de renda no ano inventariado
 TIs – Terras Indígenas
 TN – Contato Savana-Estépica/Floresta Estacional
 TO – Tocantins
 TOC – Teor de Carbono Orgânico
 TODA – Tratamento de Dejetos Animais
 TOW – Material orgânico degradável em águas residuárias industriais
 TP – Savana Estépica-Parque
 UC – Unidade de Conservação
 UE – (Urinary Energy) Energia Urinária
 UF – Unidade Federativa
 Ui – População no grupo de renda i no ano inventariado
 UNFCCC – (United Nations Framework Convention on Climate Change) Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
 UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar
 UP003 – Tipo de unidade, segundo o município informante
 UP025 – Município de origem dos resíduos

USDA – (United States Department of Agriculture) Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

v. – volume

VLT – Veículo Leve sobre Trilhos

VN – Vegetação nativa

VNAT – Vegetação Nativa

VSS – Vertical Stud Soderberg

W – massa de resíduo depositado

W – Transferência de carbono de resíduos madeireiros em Sítios de depósito de resíduos sólidos

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development

WFj – Fração gravimétrica do tipo de resíduo/componente do MSW

WG – (Daily weight gain) Ganho de Peso Diário

Wi – Proporção gravimétrica por categoria de resíduo i (fração);

Wi – Volume de água residuária gerada por unidade de produto

Wk – Efluente gerado

WT - Resíduo de Alcatrão Coletado

x – Tipo de resíduo/material

Ym – (Methane conversion rate) Taxa de conversão de metano

Δ (AFOLU sem HWP) – mudança anual no estoque de carbono de Agricultura, Florestas e Outros usos do solo sem Produtos florestais madeireiros

Δ C HWP SWDS DH – Variação anual do carbono armazenado no Produtos florestais madeireiros em produtos no Sítios de depósito de resíduos sólidos que provém de madeira de colheita doméstica do país

Δ CGAc – Alteração do estoque de carbono da agricultura

Δ CGAc Per – Remoção de agricultura perene

Δ CGAc Semiperene – Remoção de agricultura semiperene

Δ CGCS – Ganho de carbono em área florestal submetida a corte seletivo

Δ CGFM – Remoção de floresta primária

Δ CGFSec1 – Remoção de floresta secundária com histórico de floresta

Δ CGFSec2 – Remoção de floresta secundária com histórico de pastagem

Δ CGFSec3 – Remoção de floresta secundária com histórico de agricultura

Δ CGFSec4 – Remoção de floresta secundária com outros históricos

Δ CGGM – Remoção de campo primário

Δ CGGSec – Remoção de campo secundário

Δ CGRef – Remoção anual de carbono em reflorestamento

Δ CGRef – Remoção anual de carbono

Δ CHWP DC – Liberação anual de carbono para a atmosfera de Produtos florestais madeireiros contida no país declarante. Inclui liberação de carbono de toda a madeira colhida e retida no país e de importações de madeira no país, mas excluindo as exportações

Δ CHWP DH – Liberação anual de carbono para a atmosfera a partir de Produtos florestais madeireiros proveniente da madeira colhida no país declarante. Isso inclui a liberação de carbono de toda a madeira colhida no país, incluindo madeira que é exportada, mas excluindo importações

Δ CHWP IU DH – Mudança anual no carbono armazenado no Produtos florestais madeireiros em produtos em uso que provém da colheita doméstica do país

Δ CLCS – Perda de carbono em área florestal submetida a corte seletivo

Δ CLFSec – Percentual de estoque de floresta secundária remanescente em relação ao carbono inicial

Δ CLGSec – Percentual de estoque de campo secundária remanescente em relação ao carbono inicial

Δ C HWP IU DC – Mudança anual no estoque de carbono de Produtos florestais madeireiros em uso

Δ C HWP SWDS DC – Mudança anual no estoque de carbono de Produtos florestais madeireiros em Sítios de depósito de resíduos sólidos nos quais a madeira é proveniente da colheita doméstica

ΔC_{Ref} – Incremento anual previamente calculado para cada uma das duas espécies

A_i – Área do polígono

AFA – método de fluxo atmosférico

BEF = fator de expansão da biomassa para converter o incremento líquido médio anual para incremento da biomassa da árvore acima do solo

C_{solo} – Carbono orgânico no solo sob a associação solo-vegetação do polígono (carbono de referência)

D – densidade básica de madeira

$D_{ano\ i}$ – Área desmatada no ano no bioma

$D_{ano\ i-1}$ – Área desmatada no ano imediatamente anterior ao ano no bioma

ES_i – Emissão líquida associada ao polígono no período devido a variação no carbono do solo

G_{ef} – Fator de emissão

G_w – Média anual de incremento da biomassa acima do solo

$I_{Aano\ i\ período\ j}$ – Índice de anualização do ano no período para o bioma

$L\ (cm)$ – Profundidade inferior do incremento

L_{fogo} – Emissão de gases efeito estufa pelo fogo

$N\ HWP\ AFOLU\ AFA$ – Contribuição das emissões líquidas de Produtos florestais madeireiros de Agricultura, Florestas e Outros

R – Razão biomassa raiz/biomassa parte aérea para cada cultura especificamente

T – Número de anos do período avaliado no inventário

$U\ (cm)$ – Profundidade superior do incremento

$f_c(t)$ – Fator de alteração de carbono de solo no instante

RELATÓRIO DO INVENTÁRIO NACIONAL DAS EMISSÕES ANTRÓPICAS POR FONTES E DAS REMOÇÕES POR SUMIDOUROS DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO BRASIL

PRIMEIRO RELATÓRIO
BIENAL DE TRANSPARÊNCIA
À CONVENÇÃO-QUADRO
DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE
MUDANÇA DO CLIMA



CIÊNCIA & CLIMA



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO

