



**ADITIVO AO  
COMPONENTE 1  
DA FASE DE  
IMPLEMENTAÇÃO  
DO PMR BRASIL**

**SUBCOMPONENTE FLORESTAL**

**Atividade B.2 - Quantificação do potencial de geração de ativos de carbono através de atividades florestais**

RELATÓRIO – PB.F2.2



[WWW.WAYCARBON.COM](http://WWW.WAYCARBON.COM)

## ENTREGÁVEL

Produto B.2.2

Relatório – Quantificação do potencial de geração de ativos de carbono através de atividades florestais

## AUTORES

COORDENADOR GERAL

Sergio Margulis (WayCarbon)

GERENTE DO PROJETO

Matheus Brito (WayCarbon)

EQUIPE DE ESPECIALISTAS

Raoni Rajão (UFMG)

Felipe Nunes (UFMG)

Tiago Cisalpino (WayCarbon)

Letícia Gavioli (WayCarbon)

Mariana Barbosa Vilar (Ecossistêmica)

## Agradecimentos

Nossos agradecimentos especiais a Beatriz Soares da Silva e Ana Luiza Champloni que muito contribuíram para a coleta de dados e discussão técnica dos principais desafios relacionados à geração e transação de ativos florestais em mercados regulados. **Histórico do documento**

Nome do documento	Data	Natureza da revisão
<b>PB.F2.2 – Relatório</b>	29/10/2019	Versão final
<b>PB.F2.2 – Relatório_v2</b>	29/11/2019	Versão final 2
<b>PB.F2.2 – Relatório_v3</b>	31/03/2020	Versão final 3
<b>PB.F2.2 – Relatório_v4</b>	15/04/2020	Versão final 4

---

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>IV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	<b>7</b>
2.1 MODELAGEM DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA .....	7
2.2 ESTIMATIVA DAS ÁREAS DE ATIVO E PASSIVO AMBIENTAL .....	13
2.3 DEFINIÇÃO DAS ABORDAGENS DE CONTABILIDADE DE ATIVOS FLORESTAIS .....	16
2.4 CURVAS DE OFERTA DE ATIVOS FLORESTAIS E CURVAS DE ABATIMENTO .....	25
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>31</b>
3.1 POTENCIAL DE ATIVOS DA RESTAURAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA .....	31
3.2 POTENCIAL DE ATIVOS DE FLORESTAS PLANTADAS .....	32
3.2.1 <i>Estimativas das emissões líquidas dos setores consumidores e produtores de Madeira</i> .....	32
3.2.2 <i>Emissão de créditos de carbono temporário de projetos MDL de florestas plantadas</i> .....	37
3.3 POTENCIAL DE ATIVOS DE DESMATAMENTO EVITADO (EMIÇÃO DE CRA) .....	38
<b>4 ATUALIZAÇÃO DA MATRIZ DE FORÇAS, OPORTUNIDADES, FRAQUEZAS, AMEAÇAS (FOFA)</b> .....	<b>40</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>44</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>46</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ABORDAGEM GERAL DA MODELAGEM PARA ALOCAÇÃO DO USO DA TERRA NO BRASIL .....	7
FIGURA 2: MAPA DE USO DA TERRA EM 2012 CONSTRUÍDO COMO ENTRADA PARA A PLATAFORMA OTIMIZAGRO .....	8
FIGURA 3: ESTIMATIVA DO VALOR ANUAL EQUIVALENTE, CONSOLIDADO, PARA A ATIVIDADE FLORESTAL NO BRASIL COM FINALIDADE DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL, CELULOSE, PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA E MADEIRA SERRADA .....	9
FIGURA 4: BIOMASSA DA VEGETAÇÃO ORIGINAL (TON C/HA) DE ACORDO COM AGUIAR ET AL. (2015) .....	11
FIGURA 5: MAPA DO ESTOQUE DE CARBONO ORIGINAL (REFERÊNCIA) NO SOLO REPRODUZIDO A PARTIR DA METODOLOGIA DE BERNOUX ET AL. 2001 .....	13
FIGURA 6: FLUXOGRAMA APRESENTANDO OS PRINCIPAIS DADOS DE ENTRADA, ROTINAS DE CÁLCULO E RESULTADOS DA MODELAGEM DO CÓDIGO FLORESTAL .....	15
FIGURA 7: CATEGORIAS DE USO DA TERRA EM INVENTÁRIOS NACIONAIS SOB A UNFCCC PARA UM PAÍS HIPOTÉTICO NO ANO X DO PERÍODO DE COMPROMISSO .....	17
FIGURA 8: ÁREAS RELATADAS SOB ATIVIDADES DOS ARTIGOS 3.3 E 3.4 DO PROTOCOLO DE KYOTO PARA UM PAÍS HIPOTÉTICO NO ANO X DO PERÍODO DE COMPROMISSO .....	17
FIGURA 9: ESQUEMA DE COMPENSAÇÃO UTILIZANDO CRA DE EXCEDENTE DE RESERVA LEGAL, ONDE PROPRIETÁRIOS COM ATIVO FLORESTAL (ESQUERDA) DISPONIBILIZAM CRAs PARA PROPRIETÁRIOS COM PASSIVO (DIREITA).....	20
FIGURA 10: DESMATAMENTOS HISTÓRICOS E PROJETADOS PARA OS BIOMAS AMAZÔNIA (ACIMA EM LINHA TRASTEJADA) E CERRADO (EM BAIXO EM LINHA SÓLIDA) SOB O CENÁRIO DE GOVERNANÇA AMBIENTAL INTERMEDIÁRIA (VERMELHO) E FORTE (AZUL).....	22
FIGURA 11: NÍVEL DE AMEAÇA SIMULADO PELA PLATAFORMA OTIMIZAGRO .....	23
FIGURA 12: PROJEÇÃO DA EXPANSÃO DE FLORESTAS PLANTADAS SIMULADA PELA PLATAFORMA OTIMIZAGRO NO PERÍODO DE 2012 A 2050.....	24
FIGURA 13: DISTRIBUIÇÃO ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DO PREÇO MÉDIO DE TERRA DE PASTAGEM (À ESQUERDA) E DO PREÇO MÉDIO DE TERRA FLORESTADA (À DIREITA) .....	27
FIGURA 14: CURVA DE CUSTO MARGINAL DE ABATIMENTO PARA EMISSÃO DE RMUs DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL DE ÁREAS DE PASSIVO (ESQUERDA) E TRECHO DA CURVA COM CUSTO DE ABATIMENTO INFERIOR A R\$ 100 TCO <sub>2</sub> E .....	31
FIGURA 15: CURVA DE CUSTO MARGINAL DE ABATIMENTO PARA EMISSÃO DE RMUs DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL DE ÁREAS DE PASSIVO (ESQUERDA) E TRECHO DA CURVA COM CUSTO DE ABATIMENTO INFERIOR A R\$ 100 TCO <sub>2</sub> E, INCLUINDO OS CUSTOS DE OPORTUNIDADE.....	32
FIGURA 18: EMISSÕES DE CARBONO DOS SETORES PRODUTORES E CONSUMIDORES DE MADEIRA (LINHA TRASTEJADA) E POTENCIAL DE EMISSÃO DE RMUs A PARTIR DA EXPANSÃO DE FLORESTAS PLANTADAS SOB A LÓGICA DE INVENTÁRIOS NACIONAIS ENTRE 2020 E 2030.....	36

FIGURA 19: CURVA DE CUSTO MARGINAL DE ABATIMENTO DE FLORESTAS PLANTADAS SOB A LÓGICA DE PROJETOS DE MDL ENTRE 2020 E 2030.....	37
--	----

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: ESTOQUE DE CARBONO MÉDIO POR CATEGORIA DE USO DA TERRA E BIOMA EM TONELADAS DE CARBONO POR HECTARE...	25
TABELA 2: CUSTO DE TRANSAÇÃO POR HECTARE PARA CONTRATOS DE CRA DE 30 ANOS.....	26
TABELA 3: ESTIMATIVA DE EMISSÕES (GG CO <sub>2</sub> ) PARA OS PRINCIPAIS SETORES CONSUMIDORES DE MADEIRA .....	28
TABELA 4: ESTIMATIVAS DE CUSTOS DE TRANSAÇÃO POR AGENTES ECONÔMICOS .....	29
TABELA 5: ESTIMATIVAS DA DEMANDA DE ENERGIA.....	33
TABELA 6: ESTIMATIVAS DA DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA POR SEGMENTO INDUSTRIAL .....	33
TABELA 7: EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA RELACIONADOS AO CONSUMO DE ENERGIA DO SETOR INDUSTRIAL .....	35
TABELA 8 – ESTIMATIVAS DAS EMISSÕES DE GEE DOS SEGMENTOS INDUSTRIAIS DO BRASIL .....	35
TABELA 9: EMISSÕES E GERAÇÃO POTENCIAL DE RMUS (MILHÕES DE TCO <sub>2</sub> E) RELATIVAS AO SETOR PRODUTOR E CONSUMIDOR DE MADEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS.....	36

## 1 INTRODUÇÃO

O presente relatório apresenta as estimativas do potencial de geração de créditos de carbono ou outros ativos florestais (*offsets*), incluindo custos adicionais de geração e manutenção desses ativos, visando informar a análise de impactos a ser realizada no âmbito dos Componentes 2A e 2B do Projeto PMR Brasil. Os resultados aqui disponibilizados consideram as melhores informações geoespecializadas atuais, com destaque para a base de imóveis rurais do Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), os mapas de uso da terra para mensuração de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a análise de cumprimento do código florestal (Lei nº 12.561/ 2012) no nível do imóvel rural para todo o território nacional. O objetivo principal é apoiar o processo de formulação de instrumentos de valoração de carbono com estimativas espacialmente explícitas em um contexto de implementação do código florestal e consecução das metas de mitigação de GEE do Brasil sob um enfoque econômico-geográfico. Além disso, esse estudo fornece insumos para a implementação do art. 41 do código florestal que se refere ao pagamento por serviços ambientais. Por serem as primeiras estimativas realizadas em escala nacional dos custos e potencial de geração de créditos de carbono a partir de ativos florestais, o presente estudo deve ser considerado como um insumo para a formulação de políticas públicas. Sendo assim, a construção de mecanismos com a geração efetiva de créditos de carbono deverá demandar análises mais aprofundadas dos aspectos legais e fundiários desses ativos florestais, que não fazem parte do escopo desse estudo.

Este trabalho parte da premissa de que potenciais créditos de carbono de base florestal devem respeitar um arcabouço mínimo de regras de mensuração, relato e contabilização dos estoques e fluxos do setor de mudança de uso da terra e florestas (UNFCCC, 2008; IPCC, 2014). São estas regras e recomendações que garantem que os ativos emitidos e/ou transacionados por diferentes agentes econômicos representem unidades contábeis e que permitem comprovar a redução de emissões de GEE em diferentes contextos (países em desenvolvimento e desenvolvidos), categorias de uso da terra (florestas manejadas, pastagens, etc.) e atividades humanas (plantios florestais comerciais, restauração da vegetação nativa, etc.). Apesar de essas regras estarem atualmente em discussão no contexto da implementação do Acordo de Paris, esse estudo parte do pressuposto que a regulamentação, em particular do seu Art. 6, irá manter grande parte das regras já consolidadas pelo Protocolo de Quioto e decisões posteriores.

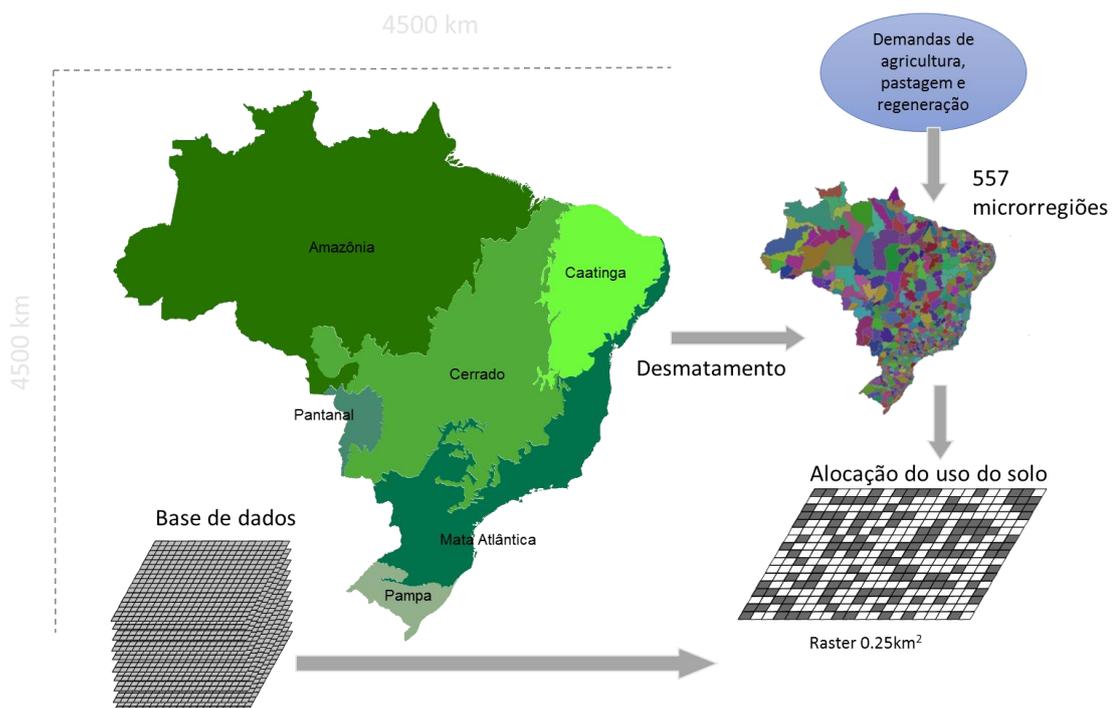
À luz destes desafios, foram desenvolvidos (e integrados) modelos de simulação espacialmente explícitos e projeções de modo a quantificar o potencial de geração de créditos de carbono a partir de: 1) remoção de gases de efeito estufa a partir da recuperação da vegetação nativa para fins de cumprimento do Código Florestal; 2) remoção de gases de efeito estufa por florestas plantadas para fins comerciais (eucalipto e pinus); e 3) redução das emissões de gases de efeito estufa ao evitar o desmatamento de áreas passíveis de serem suprimidas legalmente a partir da emissão de Cotas de Reserva Ambiental (CRA).

As estimativas são apresentadas na forma de curvas marginais de abatimento de GEE, que representam o custo adicional em USD necessário para a abater uma dada quantidade de GEE em tCO<sub>2</sub>e.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 MODELAGEM DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

O primeiro passo para a mensuração do potencial de créditos de carbono de base florestal é a contabilização das mudanças de uso da terra e as emissões e remoções de GEE resultantes. Nesse sentido, a modelagem aqui utilizada é compatível com o setor de Agricultura Florestas e Uso do solo (AFOLU) da Terceira Comunicação Nacional (TCN) do Brasil submetida à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Aguiar, 2015; Alves, 2015; Packer et al., 2015; Scivittaro et al., 2015 e Berndt et al., 2014). Os fatores e parâmetros da TCN foram utilizados, sempre que possível, para cálculo dos estoques e fluxos de carbono visando harmonizar as estimativas do potencial de ativos florestais com as bases de dados reportadas pelo Brasil (Figura 1). Contudo, é importante enfatizar que, diferentemente de um inventário nacional de emissões de GEE que considera todas as atividades de AFOLU relevantes, este estudo considera somente as atividades florestais elegíveis para a geração de ativos dentro das modalidades e metodologias de contabilidade de carbono descritas acima.

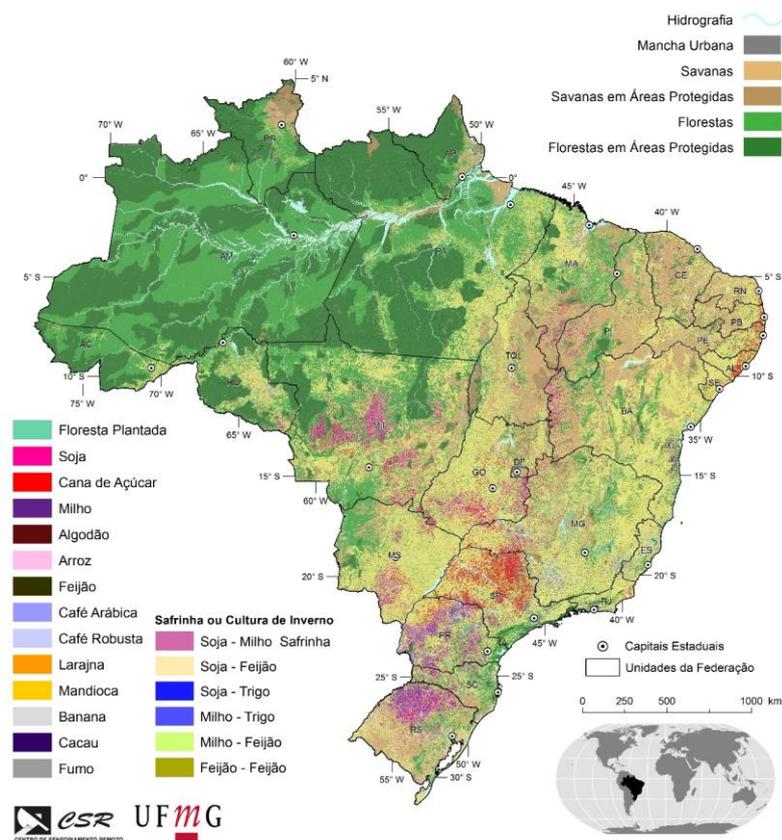


**Figura 1: Abordagem geral da modelagem para alocação do uso da terra no Brasil**

Fonte: Soares-Filho et al (2017).

A metodologia é consistente ainda com a abordagem “Land Based” mais detalhada recomendada pelo IPCC (IPCC, 2014). Assim, para a simulação do uso e mudanças de uso da terra, os cálculos foram realizados para cada célula de resolução de 500 x 500 metros utilizando a plataforma Otimizagro (Soares-Filho et al., 2013; Soares-Filho et al., 2017). Trata-se de uma plataforma integrada de modelagem de uso e mudança do uso da terra, emissões e custos de abatimento para todo o território

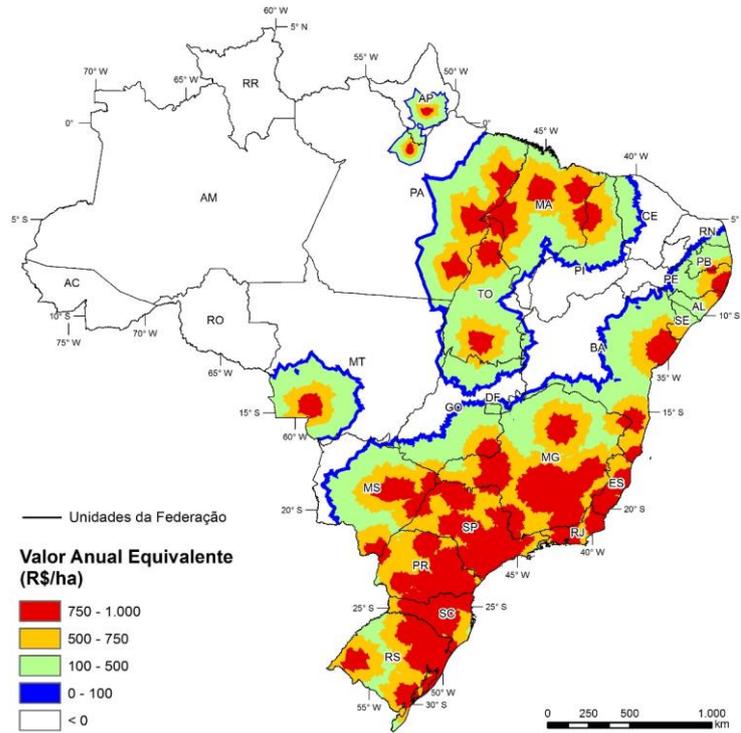
nacional, que foi aplicada para a construção de cenários de mitigação de GEE (Soares-Filho et al., 2017). Os cenários consideram, entre outras premissas, metas de expansão agrícola; de recomposição da vegetação nativa prevista no código florestal e no PLANAVEG (Brasil, 2014), de redução de desmatamento do Plano Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC (Brasil, 2008) e estratégias de baixo carbono do Plano ABC (Brasil, 2012). A simulação do uso da terra considerando estas metas, juntamente com o cálculo dos passivos e ativos ambientais dos imóveis rurais georreferenciados, permitiu estimar curvas potenciais de oferta de ativos florestais para todo o território brasileiro.



**Figura 2: Mapa de uso da terra em 2012 construído como entrada para a plataforma Otimizagro**

Fonte: Soares-Filho et al. (2017).

Para as florestas plantadas, foram consideradas as demandas dos setores que utilizam a madeira como insumo (setor energético, residencial e industrial), os parâmetros de produção da madeira e disponibilidade de uso da terra. Assim, as estimativas estão atreladas às projeções dos principais segmentos consumidores de madeira *in natura* de plantações florestais (IBA, 2014) a saber: 1) celulose; 2) painéis de madeira reconstituídos; 3) madeira serrada; 4) lenha para uso industrial e residencial e; 5) carvão vegetal para os setores de ferro-gusa e ferro-ligas (Figura 3). São utilizadas ainda, além da rentabilidade potencial, a logística de transporte, aptidão agrícola e a adequação climática para alocação dos plantios. As áreas de expansão da silvicultura são definidas pelo OTIMIZAGRO após considerar a atividade mais rentável para cada hectare. Desse modo a silvicultura expande somente nas áreas onde não existe opção de maior rentabilidade viável.



**Figura 3: Estimativa do valor anual equivalente, consolidado, para a atividade florestal no Brasil com finalidade de produção de carvão vegetal, celulose, painéis de madeira reconstituída e madeira serrada**

Fonte: Brasil (2017).

As demais categorias de uso da terra contabilizadas pela plataforma Otimizagro, e suas respectivas correspondências com as classes de uso da terra da TCN e IPCC (IPCC, 2006), são discriminadas a seguir:

**Quadro 1 – Categorias de uso da terra simuladas e respectivas correspondências com a TCN e IPCC**

OTIMIZAGRO	TCN	IPCC
<b>Florestas Plantadas</b>	Reflorestamento	Floresta
<b>Floresta</b>	Floresta não manejada/Floresta com Extração Seletiva de Madeira	
<b>Floresta em área protegida</b>	Floresta manejada/Floresta com Extração Seletiva de Madeira	
<b>Regeneração</b>	Floresta secundária/ Campo secundário	
<b>Savana</b>	Campo não manejado	Campo
<b>Savana em área protegida</b>	Campo manejado	
<b>Pastagem</b>	Pastagem Plantada	
<b>Soja</b>	Área agrícola	Área agrícola
<b>Cana de açúcar</b>		
<b>Milho</b>		
<b>Algodão</b>		
<b>Arroz</b>		
<b>Trigo</b>		
<b>Feijão</b>		
<b>Café arábica</b>		
<b>Café robusta</b>		
<b>Laranja</b>		
<b>Mandioca</b>		
<b>Banana</b>		
<b>Cacau</b>		
<b>Fumo</b>		
<b>Área urbana</b>	Área urbana	Área urbana
<b>Hidrografia</b>	Rios e Lagos/ Reservatórios	Área alagada
-	Outros usos	Outros usos
-	Área não observada	

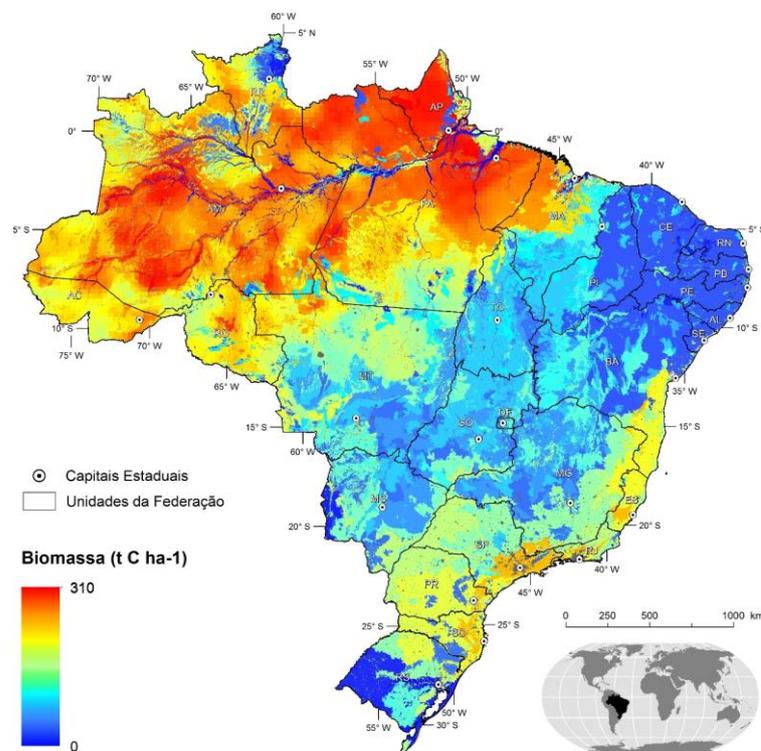
Fonte: Soares-Filho et al (2017).

Para elaboração de inventários nacionais considerando as categorias definidas acima, o IPCC estabelece quatro reservatórios de carbono terrestres: i) biomassa viva acima do solo; ii) biomassa viva abaixo do solo; iii) matéria orgânica morta; e iv) solos<sup>1</sup>. Todos estes reservatórios foram quantificados

<sup>1</sup> No âmbito do Protocolo de Quioto, os produtos colhidos de madeira passam a ser um reservatório obrigatório a ser contabilizado a partir do segundo período de compromisso (IPCC, 2014).

na plataforma Otimizagro a partir do mapa de biomassa produzido por Aguiar et al. (2015), e pelo mapa do estoque de carbono nos solos reproduzido a partir de metodologia de Bernoux et al. (2001). Por meio da comparação dos estoques de biomassa e carbono no solo em momentos diferentes, estimou-se tanto os estoques quanto os fluxos de carbono resultantes das mudanças de uso da terra no período de 2012 a 2050. Para tanto, os mapas de uso da terra no tempo foram sobrepostos, comparando-se os estoques em toneladas de carbono/hectare associados às classes de uso do mapa de um ano com os estoques do mapa do ano anterior.

Para quantificação da biomassa das áreas de vegetação nativa utilizou-se o mapa de biomassa produzido por Aguiar et al. (2015), que atribui valores de estoques de carbono (tonelada de carbono/ha) às fitofisionomias de cada bioma brasileiro a partir de valores de biomassa viva, tanto aérea como subterrânea e matéria orgânica morta (madeira morta e serapilheira).



**Figura 4: Biomassa da vegetação original (ton C/ha) de acordo com Aguiar et al. (2015)**

Fonte: Soares-Filho et al (2017).

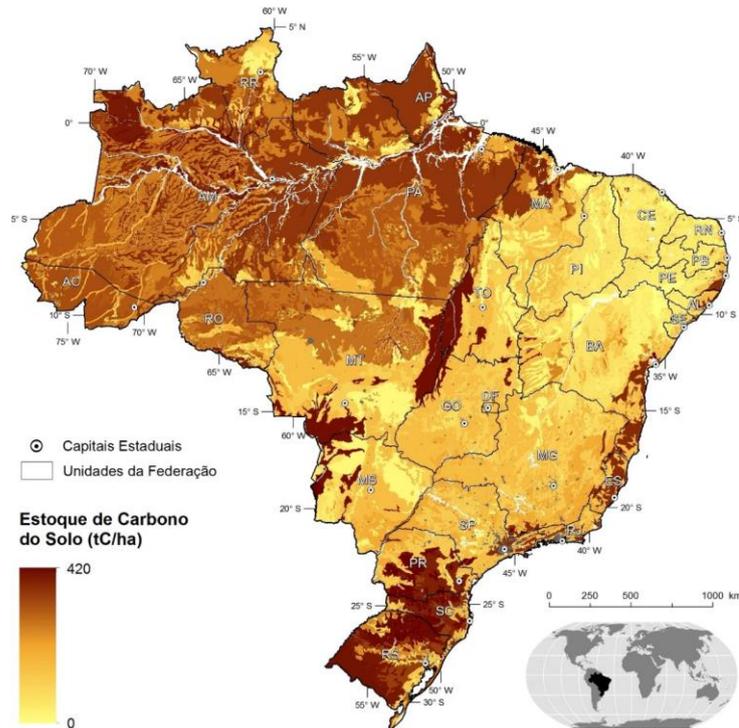
No tocante às áreas de pastagens e florestas plantadas, foram utilizados os valores médios constantes de biomassa, conforme Aguiar et al. (2015). Nas áreas em processo de regeneração há menos de 10 anos, a taxa de sequestro de carbono é desagregada nas classes de florestas e campos. Para ambas, foi aplicado um fator de saturação para que a biomassa atinja apenas 44% do estoque de carbono da

vegetação primária (Aguiar et al., 2015). Este fator está em consonância com os estoques médios de áreas de vegetação florestal secundária observados na literatura<sup>2</sup>.

Com relação ao estoque de carbono no solo, tomou-se como ponto de partida o estoque inicial sob vegetação nativa que cobria originalmente a área, denominado como carbono de referência (Figura 5). O estoque de carbono de um instante foi determinado a partir da multiplicação deste referencial por um conjunto de fatores de emissão, que incluem: i) o fator para uso da terra, que representa a perda de carbono após 20 anos de cultivo contínuo; ii) o fator de manejo que se refere ao tipo de preparo do solo (convencional, mínimo ou plantio direto); e iii) o fator de aporte de insumos que reflete a adoção ou não de insumos, como irrigação, adubação, calagem, entre outros (IPCC, 2003). Em resumo, o fator de mudança de estoque representa a perda ou ganho de carbono em um período de 20 anos para uma camada de 30 centímetros de profundidade, uma vez que esse estoque se estabilizaria após esse período (IPCC, 2006). Foram adotados ainda os fatores de mudança estabelecidos por Aguilar et al. (2015), como, por exemplo, biomassa das áreas de vegetação nativa e Incremento anual (ton C/ha/ano) estabelecido para as áreas de regeneração. No entanto, a TCN não desagrega as áreas de pastagens e agricultura de acordo com o manejo agropecuário. Essa diferenciação é importante para se calcular o potencial de mitigação de emissões de GEE pela introdução ou expansão de técnicas de cultivo de baixo carbono. Por esta razão foram considerados neste estudo apenas os plantios florestais como sistemas de produção relevantes para a criação e manutenção de estoques de carbono terrestre. Visto o foco em carbono florestal desse estudo, não foram consideradas as mudanças no estoque do carbono no solo provindos do manejo agropecuário.

---

2 O estoque médio de carbono em áreas de vegetação florestal secundária é obtido a partir da média de valores encontrados nos biomas Amazônia (FEARNSIDE & GUIMARÃES, 1996; ALVES et al., 1997), Mata Atlântica (MELO & DURIGAN, 2006) e Pantanal (SCHONGART et al., 2011), para vegetação florestal secundária em diferentes idades. Isso resultou em um valor de estoque médio de carbono de 44% da vegetação primária para a vegetação secundária em todos os biomas brasileiros.



**Figura 5: Mapa do estoque de carbono original (referência) no solo reproduzido a partir da metodologia de Bernoux et al. 2001**

Fonte: Soares-Filho et al (2017).

## 2.2 ESTIMATIVA DAS ÁREAS DE ATIVO E PASSIVO AMBIENTAL

O potencial de emissão de créditos de carbono florestal provindos da restauração florestal para regularização ambiental e da emissão de CRA de excedentes florestais exige a elaboração de estimativas no nível do imóvel rural do balanço do Código Florestal. O cálculo dessas estimativas é desafiador em razão da dimensão continental do Brasil e da complexidade das regras do Código Florestal. É preciso notar também que essa estimativa incorpora incertezas provindas da ausência de um registro cartográfico padronizado e sem sobreposições da malha fundiária nacional que conta com cerca de cinco milhões de propriedades, mapas em escala de detalhe da rede de drenagem, registro das larguras dos rios e de uma base integrada por todos os biomas dos remanescentes de vegetação nativa nos seus vários estágios de conservação e regeneração. Por outro lado, a inexistência dessa base ideal não impede que estimativas a nível nacional possam ser realizadas. Soma-se a isso, a crescente disponibilidade de recursos computacionais que possibilitam análises cada vez mais finas dessa gigantesca base de dados (i.e., computação em paralelo). Neste estudo, utilizou-se as bases cartográficas formadas pelo mapa de uso da terra (ano-base de 2008) disponibilizado pelo projeto Mapbiomas na resolução espacial de 30 por 30 metros (Mapbiomas, 2019); a base hidrográfica da Agência Nacional das Águas (ANA, 2017); a malha fundiária dos imóveis rurais cadastrados no SICAR com remoção das sobreposições (IMAFLOTA, 2019) e o mapa de desmatamento dos biomas Amazônia e Cerrado disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (INPE, 2018). Todas as bases foram reprojatadas para a projeção Albers Cônica equivalente, o que garante a

mínima distorção em área. O modelo analítico foi implementado na plataforma de modelagem do *software* livre Dinamica EGO (Soares-Filho et al., 2013) (Figura 6).

Para a estimativa do ativo e passivo ambiental decorrente do cumprimento do código florestal em todo o território nacional, foram contabilizadas as áreas dos imóveis cadastrados no SICAR, as áreas consolidadas, as áreas de vegetação nativa, as áreas de preservação permanente em torno dos recursos hídricos (APP) e as áreas definidas como RL conforme os percentuais exigidos por bioma. Foram aplicadas as regras para definição de APP de curso d'água (regra da “escadinha”), na qual a faixa a ser recuperada depende, além da largura do rio, do tamanho do módulo fiscal. Também se considerou a isenção em recuperar a RL em áreas consolidadas em propriedades com tamanho de até quatro módulos rurais, além do cômputo de APP no cálculo do percentual da RL, dentre outras especificidades trazidas pelo novo código florestal (Lei nº 12.561/ 2012).

Para isso, inicialmente, foram tabuladas as áreas de déficit e excedente de RL (ativos e passivos) de cada imóvel rural, que constitui a base de cálculo da oferta de RMUs (ou outros ativos florestais de restauração) e oferta de CRA. Foi utilizado o banco de dados PostgreSQL, e sua extensão PostGis, juntamente com o *software* de modelagem Dinamica EGO, para manipulação dos 4,2 milhões de registros de imóveis rurais e seus respectivos potenciais de biomassa a ser transformada em unidades de remoção ou outros ativos florestais.

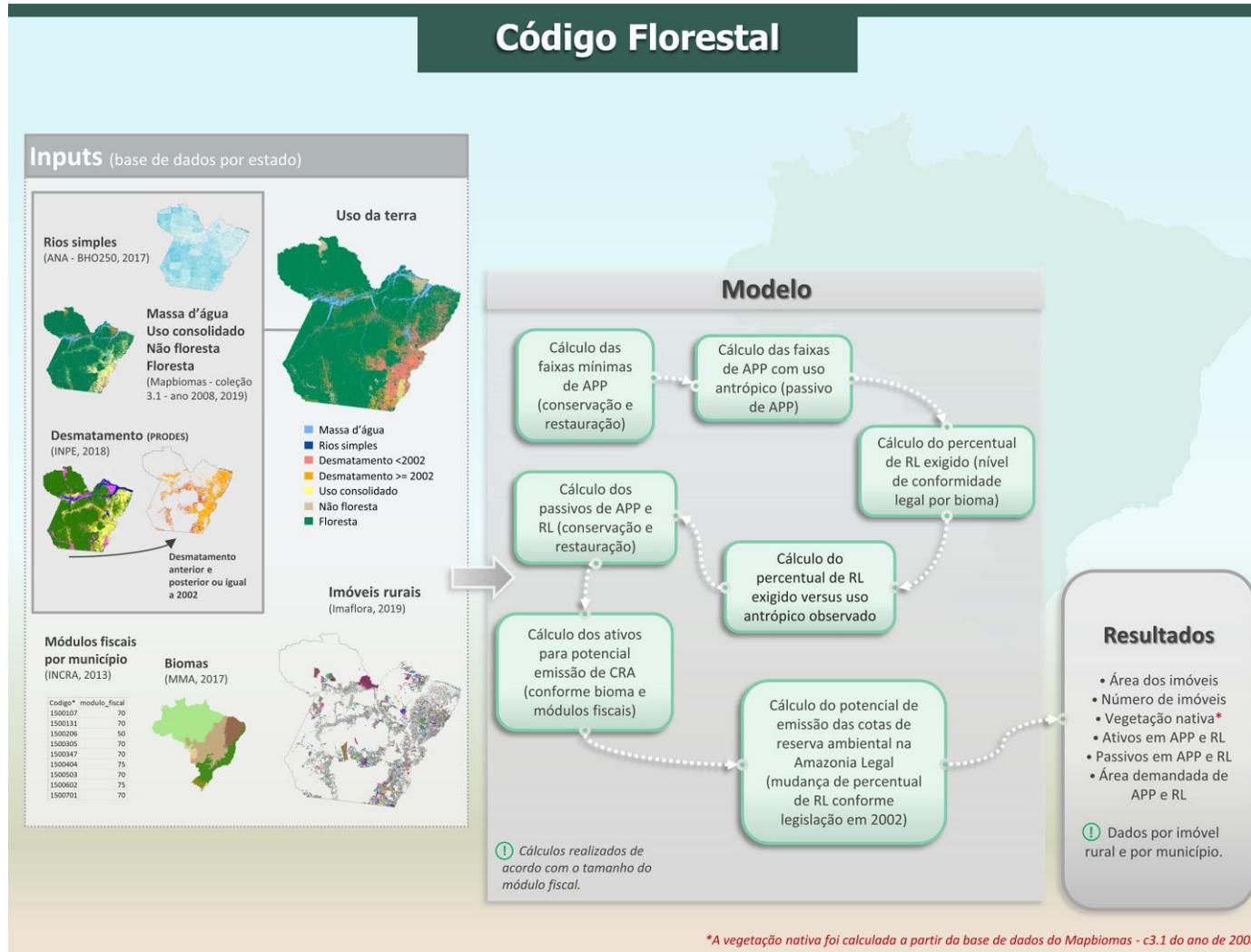


Figura 6: Fluxograma apresentando os principais dados de entrada, rotinas de cálculo e resultados da modelagem do código florestal

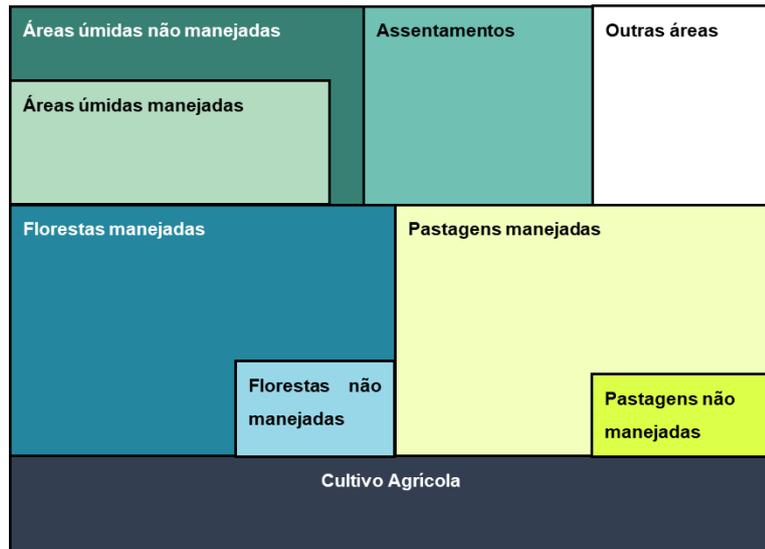
Fonte: Soares-Filho, Rajão et al (2014).

A biomassa potencial correspondente às áreas de ativo e passivo ambiental foi obtida por meio da aplicação do algoritmo de estatísticas zonais para cada imóvel rural. A oferta total de ativos oriundos da restauração da vegetação nativa (RMUs ou outros ativos florestais) foi estimada assumindo que todos os possuidores de imóveis rurais identificados com déficit de RL buscarão se regularizar e reflorestar as áreas de passivo em suas propriedades. Da mesma forma, os proprietários com excedente de RL buscariam emitir CRA para fins de valoração de suas áreas florestadas. Para transformar a biomassa de toneladas de carbono (tC) para emissões de toneladas de dióxido de carbono (tCO<sub>2e</sub>) foi utilizado o parâmetro do IPCC (2006) onde uma tC corresponde a 3,66 tCO<sub>2e</sub>. Nas próximas subseções será detalhado como as estimativas de ativo e passivo foram utilizadas para o cálculo dos créditos de carbono potenciais provindos da restauração florestal e desmatamento evitado.

## 2.3 DEFINIÇÃO DAS ABORDAGENS DE CONTABILIDADE DE ATIVOS FLORESTAIS

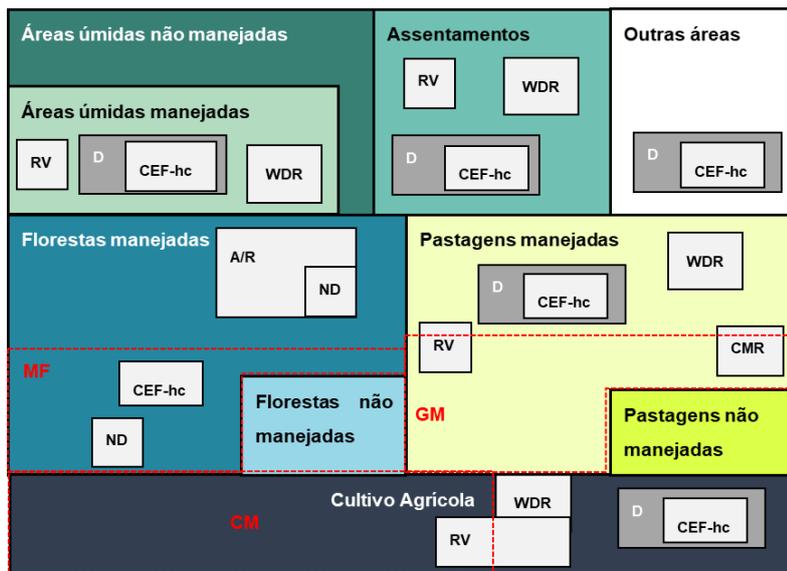
Nas subseções anteriores foram apresentadas as metodologias para gerar estimativas sobre os estoques e fluxos de carbono floresta no Brasil, assim como a classificação dos mesmos em relação aos mecanismos do Código Florestal. Porém, para obter as estimativas de geração de carbono de base florestal é necessário considerar como diferentes abordagens contabilizam esses estoques e fluxos em alinhamento com as decisões da UNFCCC e os parâmetros do IPCC. A partir de um levantamento sistemático de diferentes abordagens de relato e contabilidade (ver Relatório da Atividade B.1) foram propostas as metodologias que melhor se adequem ao caso brasileiro. Nessa subseção será apresentado brevemente essas abordagens de contabilidade de ativos florestais, indicando como as estimativas de estoque e fluxo descritas acima foram utilizadas para gerar as estimativas de geração de carbono florestal.

Uma das principais referências adotadas para esse estudo foi a metodologia de contabilização de remoções e emissões de AFOLU exigida dos países do Anexo I do Protocolo de Quioto. O Brasil é um país não-Anexo I e, portanto, sujeito a exigências de relato mais simplificadas no âmbito da UNFCCC onde devem ser declarados os principais usos do solo (Figura 7). Porém o Protocolo de Quioto exige, para além da indicação das categorias de uso do solo (ex. florestas), a indicação das atividades que ocorrem naquelas áreas (ex. reflorestamento, manejo florestal) (Figura 8). É a partir da contabilização dessas atividades que os países do Anexo I podem gerar unidades de remoção (RMUs) de ativos florestais.



**Figura 7: Categorias de uso da terra em inventários nacionais sob a UNFCCC para um país hipotético no ano X do período de compromisso**

Fonte: IPCC (2014).



**Figura 8: Áreas relacionadas sob atividades dos artigos 3.3 e 3.4 do Protocolo de Kyoto para um país hipotético no ano X do período de compromisso**

Fonte: IPCC (2014). A- Florestamento; R- Reflorestamento; D- Desmatamento; MF- Manejo Florestal; CM- Manejo agrícola; GM - Manejo de Pastagem; RV-Revegetação; CMR- Manejo agrícola com pastagem; WDR - Drenagem de Terras Alagadas e regeneração; ND - Distúrbios Naturais; CEFC - Conversão de Floresta Equivalente em Carbono, onde CEF-hc: área onde as árvores foram colhidas e convertidas em terras não florestais, CEF-ne: áreas onde florestas equivalentes foram recentemente estabelecidas.

Partindo do pressuposto que as regras do Art. 6 do Acordo de Paris serão fortemente inspiradas pelas regras já vigentes no Protocolo de Quioto, esse estudo utiliza as regras do Protocolo para contabilizar

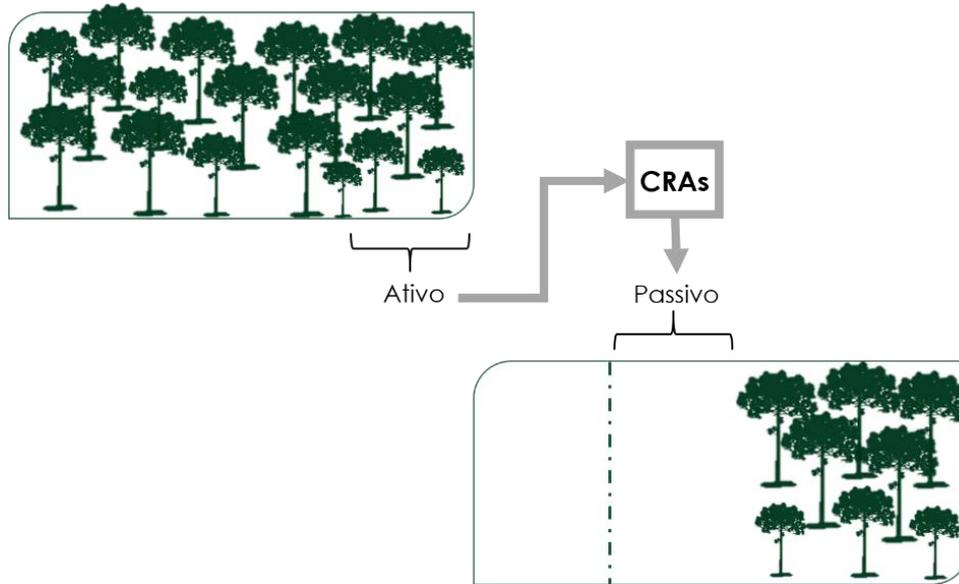
a emissão de RMU com base na restauração florestal. Nessa abordagem contabilizam-se as mudanças de uso da terra para se quantificar as emissões e remoções com impacto no território nacional. Portanto, considera-se a diferença de estoque de carbono em uma determinada área no momento que esta é convertida para outro uso, gerando assim uma potencial remoção que pode ser localizada no tempo e no espaço. No caso da transição de uma área de pastagem para florestas plantadas, por exemplo, ao invés de se estimar as remoções dos plantios anualmente, calcula-se a remoção durante o ciclo completo de corte por meio do ganho médio de biomassa no período. Em termos práticos, para fins da modelagem aqui utilizada, significa que após ser contabilizada pela primeira vez, o uso da terra naquela área deixa de gerar unidades de remoção continuamente, uma vez que essas unidades, tidas como permanentes, são contabilizados somente uma vez no inventário nacional.

As áreas de passivo ambiental (déficit de RL) previamente identificadas foram classificadas como atividades de reflorestamento/florestamento (A/R) em potencial. Como premissa, portanto, as atividades de reflorestamento advindas da regularização dos passivos existentes em propriedades privadas – que podem envolver técnicas de condução da regeneração natural, plantios de mudas, semeadura direta, etc –, são elegíveis para emissão de RMUs ou outros ativos florestais. Esta pode ser realizada por meio do emprego de diferentes métodos de restauração que podem variar desde a condução de regeneração natural, passando pelo plantio exclusivo de espécies nativas, até os plantios mistos (intercalando espécies nativas e exóticas), considerando restrições de área, tipologia, biomas e prazos. Contudo, é importante destacar que a regularização dos passivos é uma exigência legal, sendo conveniente discutir se a utilização de incentivos econômicos, como no caso da emissão de unidades de remoção de carbono para adequação ambiental, é justificável do ponto de vista ético e legal em todas as situações. Por isso, no cálculo do custo da RMU foi considerado o custo de transação juntamente com o custo da restauração (i.e. insumos e mão de obra), excluindo o custo de oportunidade visto que se trata de uma exigência legal. Ao mesmo tempo, visto que o Código Florestal estabelece um prazo de 20 anos para a regularização, a emissão de RMUs para restauração imediata de uma área gera uma adicionalidade ambiental.

Para lidar com a questão da permanência dos RMUs levou-se em consideração que o desmatamento de áreas restauradas no âmbito do Programa de Regularização Ambiental (PRA) é ilegal, e por isso não é necessário estabelecer salvaguardas adicionais. O PRA é o instrumento pelo qual os proprietários rurais podem regularizar seus passivos ambientais de Reserva Legal (RL) e/ou de Área de Preservação Permanente (APP), considerando as condições específicas de cada Estado. Essa mesma lógica foi implementada no âmbito do projeto “Opções de Mitigação” (Brasil, 2017), cujos cenários estão na base também do presente estudo. É importante destacar que a emissão de RMUs, sob o Protocolo de Quioto, deve obedecer a uma série de regras, inclusive a verificação de salvaguardas ambientais e sociais. Portanto, estudos adicionais são necessários para verificação da elegibilidade destas áreas para fins da participação em mercados de carbono nacionais e internacionais.

No caso da geração de créditos de carbono de desmatamento evitado no nível do imóvel rural, as decisões da UNFCCC oferecem indicações mais vagas. Uma fonte de inspiração é o debate sobre os mecanismos de REDD+ (Redução do Desmatamento e Degradação Florestal, mais manejo florestal sustentável). As metodologias de REDD+ atualmente em vigor no contexto do Marco de Varsóvia estabelecem regras somente para pagamentos por resultados em escala nacional, exigindo definições adicionais para a geração de créditos de carbono para mecanismos de mercado internacional (Decisões 9-11/CP.19 da UNFCCC). Visto a necessidade de precificar a redução de emissões por desmatamento para um mercado nacional, no presente estudo é proposta uma abordagem que calcula o potencial de geração de crédito de carbono levando em consideração o estoque de carbono e o risco de desmatamento no nível do imóvel rural. Já os custos de transação foram estimados partindo do pressuposto que a emissão de créditos será realizada enquanto Cota de Reserva Ambiental (CRA).

A CRA é um título legal negociável representativo de áreas com vegetação nativa intacta ou em regeneração que excedem os requisitos de reserva legal (RL), podendo, no caso de pequena propriedade ou posse rural familiar, incluir a RL. O Código Florestal também permite a emissão de CRA sob as áreas de RL dos médios e grandes imóveis que excederem os 50% e que poderiam ter obtido a autorização de supressão desse percentual antes da mudança da legislação em 2001. A principal função da CRA é permitir aos imóveis rurais com áreas consolidadas (i.e., desmatadas até 22 de julho de 2008) e que precisam restaurar a vegetação nativa de modo a atender os requisitos mínimos da RL, possam manter a sua área produtiva e compensar a sua RL por meio da aquisição das cotas ao invés de recompor a vegetação nativa dentro do imóvel (Figura 9). Esse escopo inicial da CRA foi expandido a partir de um estudo realizado pela UFMG em colaboração com Coordenação-Geral de Meio Ambiente e Mudanças Climáticas do Ministério da Economia. Ao notar a presença de uma oferta muito superior à demanda de cotas para compensação de reserva legal, Rajão e Soares-Filho (2015) propuseram que a infraestrutura da CRA desenvolvida pelo Serviço Florestal Brasileiro poderia se tornar “uma plataforma para o pagamento de serviços ambientais [... sendo utilizada] para a redução de emissão de gases de efeito estufa” entre outros serviços (pg. 67). Essa proposta foi adotada pelo governo federal no art. 29 do Decreto N° 9.640/2018 onde fica explicitado que “além da compensação de reserva legal, a CRA poderá ser emitida e utilizada para outros usos, tais como a retribuição pela manutenção e a conservação da vegetação nativa existente ou em processo de recuperação nas áreas vinculadas ao título”.



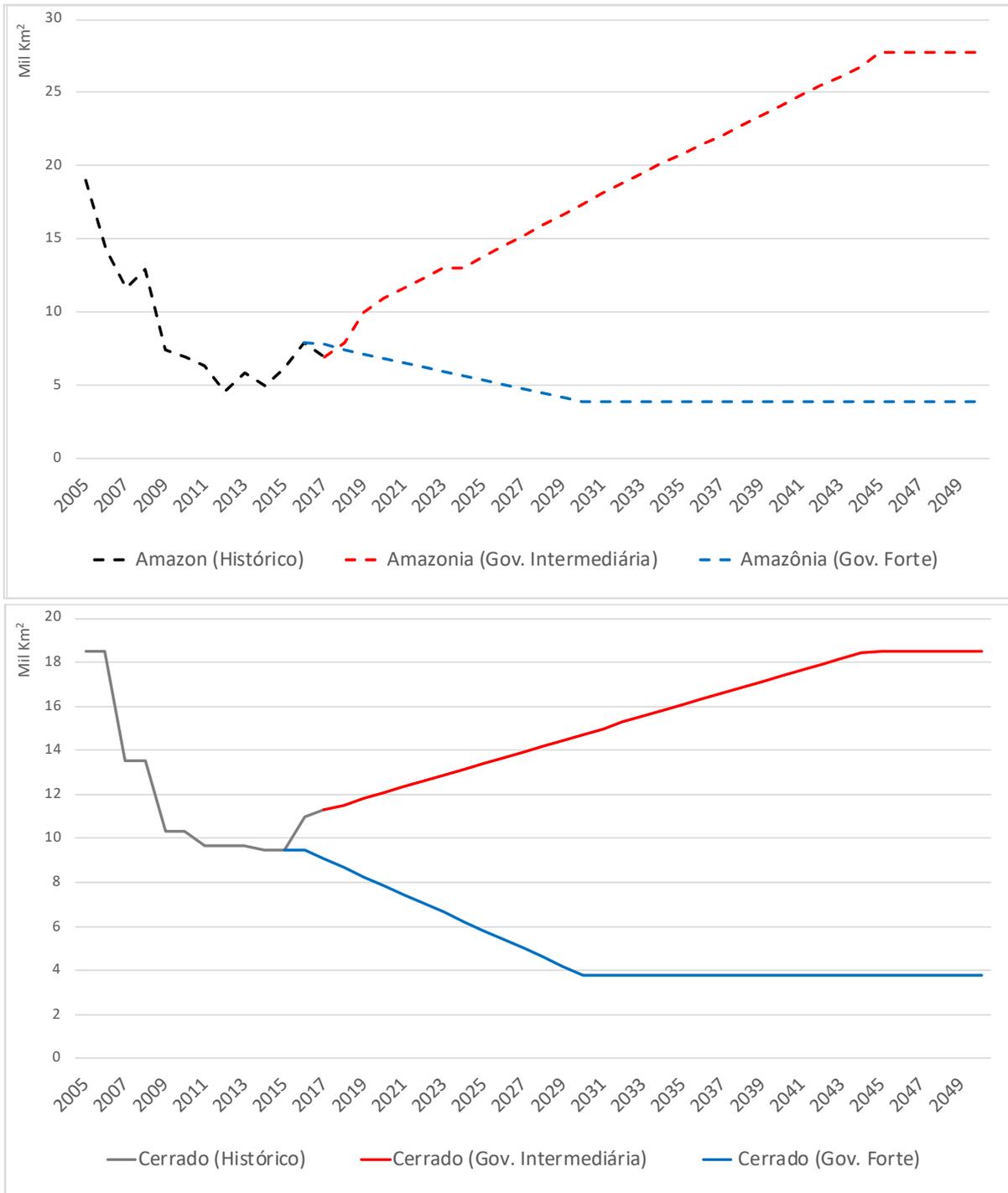
**Figura 9: Esquema de compensação utilizando CRA de excedente de Reserva Legal, onde proprietários com ativo florestal (esquerda) disponibilizam CRAs para proprietários com passivo (direita).**

Fonte: Rajão e Soares-Filho (2015).

No presente estudo é proposto que as CRAs provindas de excedente de reserva legal (e, portanto, passíveis de autorização de supressão e sem proteção legal) possam ser transacionadas como parte de um mercado nacional de carbono. Para isso, porém, é necessário determinar a correspondência entre as áreas das CRAs (em hectares) e toneladas de CO<sub>2</sub>e. O primeiro passo para isso é estimar o estoque de carbono contido nas áreas de CRA, porém nem todas as áreas com estoque de biomassa e que podem emitir CRAs efetivamente estão sob risco de desmatamento. A metodologia de REDD+ atualmente em vigor representa o risco do desmatamento enquanto uma linha de base que projeta o desmatamento esperado no futuro com base em médias ou tendências históricas. Para isso, foram simulados cenários de projeções de desmatamento a fim de se estimar o risco de não permanência dos eventuais ativos florestais nestas áreas. Para tal, analisou-se de modo *ex-ante* o risco de desmatamento no Brasil entre 2020 e 2050. Mesmo que o período do estudo seja até 2030 é importante simular o desmatamento em uma escala temporal mais ampla de modo a incluir no mercado áreas com diferentes graus de risco de desmatamento. Porém, o ajuste de risco ocorre levando em consideração o tempo, sendo que os desmatamentos que na simulação ocorrem somente após 2030 são tratados como áreas de baixa probabilidade de desmatamento nos próximos anos, e por isso geram proporcionalmente poucos créditos de carbono (veja detalhamento metodológico abaixo).

Foi utilizada uma simulação espacialmente explícita sob três cenários de governança ambiental na plataforma OTIMIZAGRO (Rochedo et al., 2018). O cenário de governança fraca pressupõe o abandono das atuais políticas de controle de desmatamento e forte apoio político a práticas agrícolas predatórias, o que resulta no retorno aos patamares históricos das taxas anuais de desmatamento já em 2025. O cenário de governança intermediária considera a tendência de aumento de desmatamento

na Amazônia calculado como uma regressão linear que considera as taxas entre 2012 e 2017 projetados até alcançar os valores máximos históricos (i.e. 27 mil km<sup>2</sup> observados em 2004). Uma abordagem similar foi adotada no Cerrado, porém foi considerado a regressão linear do desmatamento entre 2015 e 2017. Por fim, o cenário de governança forte pressupõe que o Brasil irá conseguir alcançar as metas de redução nesses dois biomas apresentada no Plano Nacional de Mudanças Climáticas (redução de 80 e 40% nos biomas Amazônia e Cerrado, respectivamente). Com base nos dados do PRODES, a meta corresponde a 3916 e 3795 km<sup>2</sup> por ano na Amazônia e Cerrado, respectivamente, que seriam alcançados em 2030 (ao invés de 2020, como previsto no PNMC) após um período de transição com a diminuição linear do desmatamento.



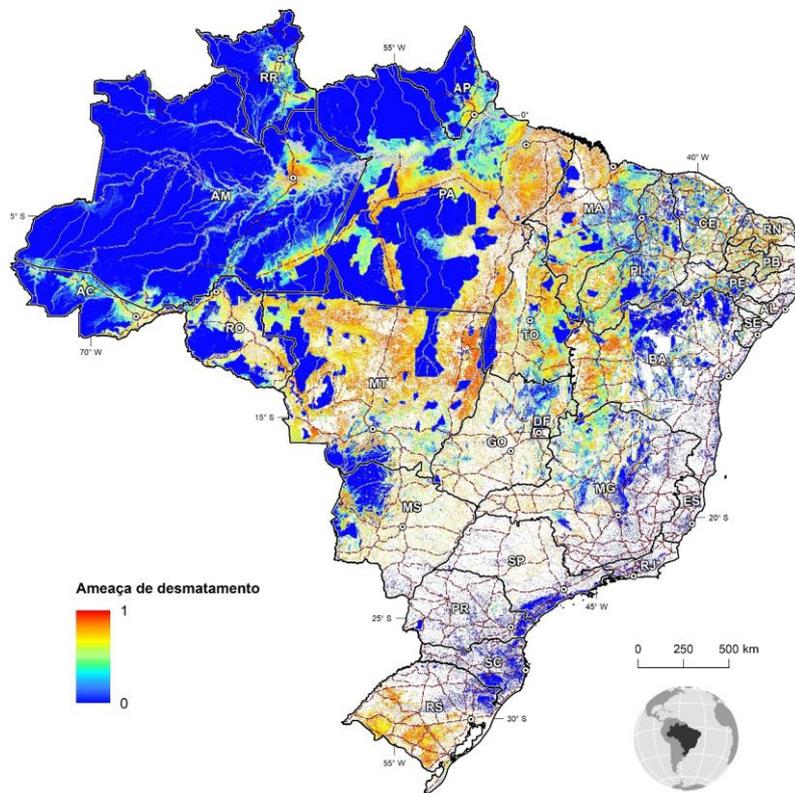
**Figura 10: Desmatamentos históricos e projetados para os biomas Amazônia (acima em linha tracejada) e Cerrado (em baixo em linha sólida) sob o cenário de governança ambiental intermediária (vermelho) e forte (azul)**

Fonte: Rochedo et al (2018).

A OTIMIZAGRO inicia as simulações regionalizando as taxas anuais de desmatamento usando tendências históricas e projeções futuras. A seguir, as taxas regionais são alocadas espacialmente com base na influência de um conjunto de determinantes espaciais. Estes determinantes representam

causas proximais do desmatamento (abertura ou pavimentação de uma estrada) ou são simplesmente sítios mais favoráveis, como solos férteis com baixa declividade, ou zonas mais restritas como as áreas protegidas. Dentre os diversos fatores que influenciam a localização do desmatamento na Amazônia (Soares-Filho et al., 2006), foram escolhidas as seguintes variáveis: 1) distância aos rios; 2) distância às estradas principais; 3) máximo valor presente líquido entre as rendas de soja e gado; 4) aptidão agrícola para culturas mecanizadas, 5) elevação, 6) declividade, e 7) atração por centros urbanos. As influências dos determinantes espaciais são então integradas em um mapa de probabilidade de desmatamento usando-se o método de Pesos de Evidências para a previsão espacial do desmatamento (Bohan-Carter, 1965; Soares-Filho et al., 2013). Como o nível de ameaça é dependente do tempo que ocorre o desmatamento, foi estabelecido o seguinte índice:

$$\text{Nível de ameaça} = (\text{tempo final} + 1 - \text{ano do desmatamento}) / (\text{Tempo final} + 1 - \text{tempo inicial})$$



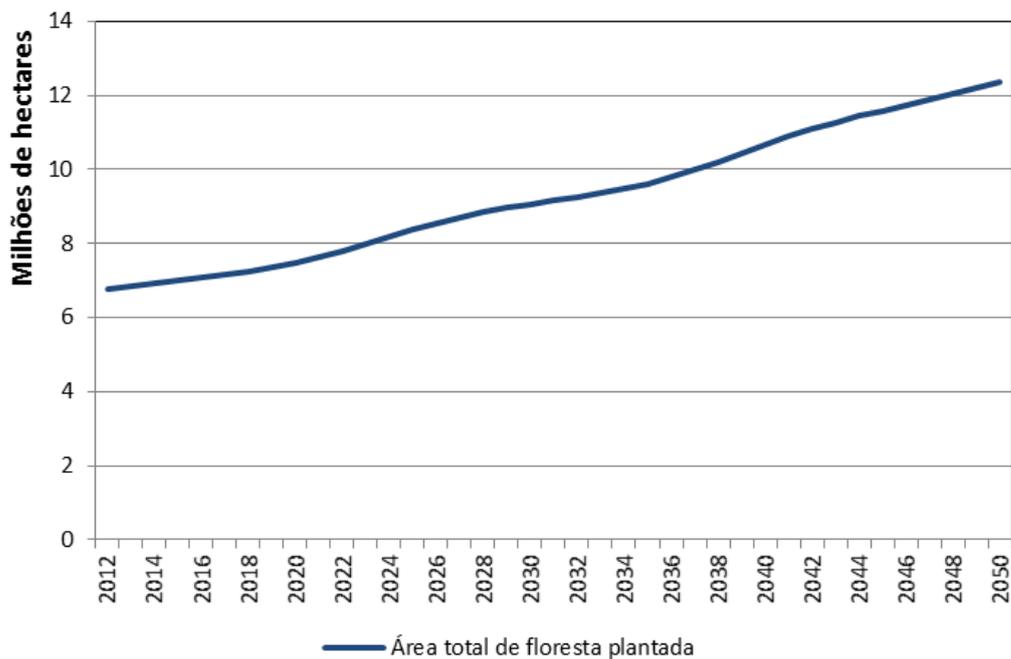
**Figura 11: Nível de ameaça simulado pela plataforma OTIMIZAGRO**

Fonte: Adaptado de Rochedo et al (2018).

Como resultado, o mapa de nível de ameaça (Figura 11) aponta as áreas com maior risco de desmatamento no tempo e espaço para os períodos de 2020 a 2050. Ao multiplicar o índice de ameaça de desmatamento (normalizado entre 0 e 1) e o estoque de carbono de uma dada área de CRA, é possível estimar no nível do imóvel o potencial de emissão de crédito de carbono de desmatamento evitado.

Já para as florestas plantadas para fins comerciais foram adotadas duas metodologias de modo comparativo. A primeira é a de geração de RMUs com base na mesma metodologia de contabilidade da restauração de florestas nativas inspirada no Protocolo de Quioto. A segunda adota a metodologia do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para geração de créditos temporários de carbono (tCERs). Na lógica de projetos de MDL são mensuradas as atividades florestais que promovem continuamente a remoção de carbono em categorias específicas de uso da terra (i.e., manejo florestal em áreas previamente classificadas como pastagens), podendo envolver diferentes arranjos temporais para emissão de créditos devido ao risco de não-permanência dos estoques de carbono.

O cálculo do potencial de ativos em um futuro mercado depende da simulação da expansão das florestas comerciais. Portanto, a partir da expansão projetada, foram estimados o potencial de geração de ativos na modalidade de unidades de remoção (RMUs) e o potencial de geração de créditos de carbono (tCERs), uma vez que o Brasil conta com experiências reconhecidas internacionalmente em projetos de MDL florestal. A partir desta abordagem, a renovação de um projeto de MDL na mesma área (sem mudança de uso no período), por exemplo, tem potencial para gerar *offsets* adicionais. Contudo, estas remoções não seriam contabilizadas no inventário nacional, podendo inclusive haver dupla contagem se não forem feitos os ajustes correspondentes. A forma exata desses ajustes entre abordagens ainda está em discussão no âmbito da regulamentação do art. 6 do Acordo de Paris.



**Figura 12: Projeção da expansão de florestas plantadas simulada pela plataforma Otimizagro no período de 2012 a 2050**

Fonte: Brasil (2017).

Por fim, para o cálculo do potencial de ativos da expansão de florestas plantadas, adotou-se tanto a lógica de inventários nacionais para emissão de RMUs, quanto a lógica de projetos de MDL para

emissão de créditos de carbono (tCERs), separadamente. Apesar de somente uma dessas formas de cálculo poder ser aplicada para a emissão de créditos de carbono ligados às florestas plantadas, é importante considerar o resultado das duas estimativas de modo a informar os tomadores de decisão sobre o melhor desenho para o mercado. Considerou-se o cenário de expansão das florestas plantadas “FIPE-3” do projeto Opções de Mitigação, no qual os grandes massivos florestais (em sua maioria formado por grandes e médias empresas do setor) atingem cerca de 12,5 Mha em 2050 (Brasil, 2017) (Figura 12). É importante destacar aqui que o Brasil conta atualmente com três projetos de MDL de atividades florestais aprovados no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (UNFCCC), o que justifica a estimativa sob a lógica de projetos. Em particular, assume-se que todas as áreas de florestas plantadas são elegíveis para emissão de créditos temporários de carbono (tCERs) no período de 2020 a 2030. Para isso, foi utilizado o fator de remoção de carbono de 6,47 tCO<sub>2</sub>/ha/ano, aprovado no âmbito do primeiro projeto de MDL florestal do grupo Plantar junto à UNFCCC (UNFCCC,2010).

**Tabela 1: Estoque de carbono médio por categoria de uso da terra e bioma em toneladas de carbono por hectare**

Categorias de uso da terra	Bioma (ton C/ha)					
	Amazônia	Cerrado	Mata Atlântica	Caatinga	Pampas	Pantanal
Pastagens	7,57	7,57	7,57	4,09	6,35	7,57
Florestas Plantadas (Pinus)	87,03	87,03	87,03	87,03	87,03	87,03
Florestas Plantadas (Eucalipto)	49,83	49,83	49,83	49,83	49,83	49,83

Fonte: Brasil (2017).

Para as estimativas dos RMUs de florestas plantadas foram contabilizadas as diferenças de estoque de carbono oriundas apenas da expansão de florestas plantadas. Assim, a simulação das transições de uso de pastagens para florestas plantadas é utilizada para cálculo das remoções líquidas de carbono ao longo do tempo. Para isso, são contabilizados o estoque médio de carbono da biomassa de plantios florestais e as mudanças de estoque provenientes da mudança de uso do solo de pastagens para plantios comerciais (Tabela 1).

## 2.4 CURVAS DE OFERTA DE ATIVOS FLORESTAIS E CURVAS DE ABATIMENTO

Como última etapa, são construídas as curvas de oferta de ativos florestais e curvas de custos de abatimento, que têm como objetivo contrastar os custos marginais de abatimento com o total de emissões abatidas ou ativos florestais gerados. Para a emissão de CRAs foram considerados os custos de transação estimados por Rajão e Soares-Filho (2015), que foi calculado com base em entrevistas com profissionais de georeferenciamento de imóveis rurais e levantamento dos custos de registro das

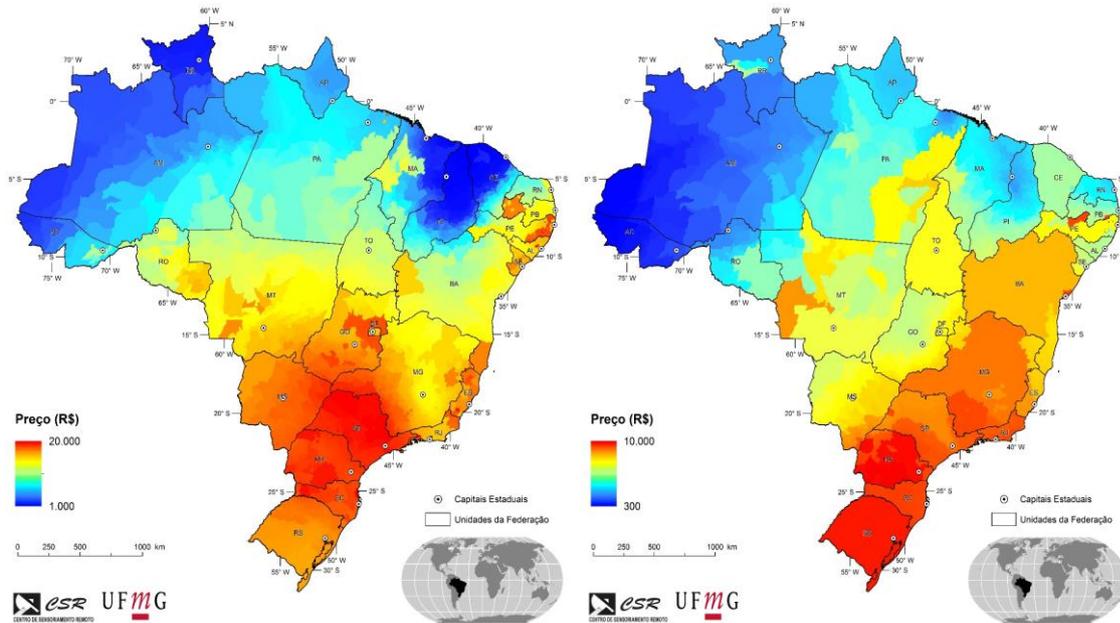
contas em cartório. A partir do cálculo do custo do CRA por imóvel rural e da área emitida como CRA (i.e. que podem conter um ou mais hectares) foi estabelecido então o custo de transação por faixa de tamanho de pacotes de CRA (Tabela 2).

**Tabela 2: Custo de transação por hectare para contratos de CRA de 30 anos**

Custo de transação por tamanho de pacote de CRA	CRA 30 anos R\$/ha	Faixa de variação (±)
De 0 a 20 ha	430,49	215,75
De 20 a menos de 50 ha	205,72	142,63
De 50 a menos de 100 ha	97,51	65,05
De 100 a menos de 200 ha	53,08	28,34
De 200 a menos de 500 ha	27,07	5,73
De 500 a menos de 1000 ha	15,00	1,55
De 1000 a menos de 2500 ha	6,47	0,63
Acima de 2500 ha	3,02	0,29

Fonte: Soares-Filho et al (2016).

No caso do CRA, além do custo da transação é preciso incluir também uma estimativa da disposição a aceitar (WTA, *willingness to accept*) uma compensação para abrir mão do direito de desmatar e realizar o uso agropecuário de uma dada área. O WTA é mais abrangente que o custo de oportunidade pois esse último considera somente o valor do uso agropecuário de uma dada área (ex. rentabilidade da pecuária), enquanto o primeiro considera também outros valores diretos e indiretos que podem ser mais predominantes com base em diferentes metodologias de valoração econômica. No caso da CRA, o WTA foi estimado usando uma abordagem hedônica onde são analisadas as preferências reveladas dos agentes econômicos expresso no preço da terra com diferentes características. Em particular, a partir da constatação de que um dos principais vetores do desmatamento é a busca pela posse e valorização da terra, calculou-se como WTA da CRA o ganho patrimonial que ocorreria caso um dado hectare de floresta fosse convertido para formação de pastagens (Rajão e Soares-Filho, 2015; Soares-Filho et al, 2016). A CRA é um título que é transacionado com base em um contrato com duração específica. Mas para fins de simplificação, foi considerado que um contrato de 30 anos corresponde ao ganho imobiliário permanente.



**Figura 13: Distribuição espacialmente explícita do preço médio de terra de pastagem (à esquerda) e do preço médio de terra florestada (à direita)**

Fonte: Soares-Filho et al (2016).

Por sua vez, o custo de abatimento da regeneração das florestas nas áreas de passivo do Código Florestal desconsiderou o WTA visto que se trata de uma exigência legal e os produtores não devem esperar ter um ganho econômico adicional que compense a perda de área agrícola. Também não foi considerado o custo de transação do agente econômico, visto que esses custos já foram absorvidos no contexto da inscrição no Cadastro Ambiental Rural (CAR), sendo o MRV também de responsabilidade dos entes públicos. Apesar da restauração florestal (ou compensação) ser uma exigência legal, nesse estudo se considerou que o WTA do produtor é igual ao custo da implantação das técnicas de restauração, sugerindo que essa atividade deveria ser subsidiada pelo menos em parte. Esse pressuposto é justificado pelo próprio Código Florestal que determina que o governo deve apoiar o processo de regularização de pequenos produtores. Sob esta lógica, espera-se que grande parte dos produtores não irá reflorestar sem apoio e, considerando o prazo de regularização de até 20 anos, incentivos para acelerar esse processo podem ser considerados ações custo-efetivas e com adicionalidade ambiental. Então, adotou-se a metodologia desenvolvida por Nunes et al (2017) para calcular o custo marginal de abatimento a partir do custo médio das principais técnicas de restauração de florestas ponderado pelas faixas esperadas de favorabilidade da regeneração natural.

Finalmente, foi calculado o potencial de créditos de carbono das florestas plantadas em relação às abordagens do Protocolo de Quioto (RMUs) e do MDL (tCERs). Para os RMUs partiu-se do pressuposto que esses créditos seriam provenientes de transações de agentes econômicos já registrados em um programa mandatário de relato de GEE similar ao *EU Emissions Trading System* (EU ETS). Esses agentes seriam tanto geradores de remoções a partir de florestas plantadas como também sujeitos ao

um sistema de *cap-and-trade* onde os RMUs só poderiam ser transacionados caso sejam excedentes à cota de AAU (Assigned Amount Unit) fornecidos para cada agente. Desse modo, a questão chave é se as RMUs irão superar ou não as emissões estimadas para os consumidores e produtores de madeira, e que também podem ter florestas plantadas. Para isso, a WayCarbon realizou uma estimativa das emissões projetadas para os principais setores consumidores de madeira até 2030. Posteriormente essas emissões serão comparadas com o potencial de geração de RMUs de modo a verificar a capacidade do setor de neutralizar as próprias emissões.

**Tabela 3: Estimativa de emissões (Gg CO<sub>2</sub>) para os principais setores consumidores de madeira**

Setor	2016	2020	2025	2030
Ferro-gusa e aço	34540.85	37093.40	40550.97	46749.79
Ferro-ligas	2779.15	3033.95	3385.55	4188.98
Papel e celulose	29379.57	33660.77	39899.96	45159.62
Madeira	18064.47	18636.11	19376.16	755.44

Fonte: Elaboração com dados da Empresa de Pesquisa Energética.

Já para a geração de tCERs de florestas plantadas a partir de projetos MDL, partiu-se do pressuposto que a expansão da silvicultura irá ocorrer de modo a atender a demanda por madeira para diversos fins. Ao mesmo tempo, como o OTIMIZAGRO define para cada área o uso já com a maior rentabilidade líquida, o custo de oportunidade de realizar a silvicultura com relação a outras opções (principalmente pecuária) é sempre negativo.

Desse modo, a emissão de tCERs não depende da compensação de um eventual custo de oportunidade sendo a WTA igual a zero ou negativo. Ao mesmo tempo, a emissão de tCERs exige a contratação de especialistas para a elaboração e implementação de um projeto de MDL para cada agente gerador de créditos de carbono, sendo então o custo de abatimento do tCERs proporcional ao custo de transação. A literatura sobre custos de transação de MDLs apresenta grande variabilidade de estimativas relacionadas à busca de informações, desenho do projeto (concepção e desenvolvimento), negociação, validação, aprovação e registro do projeto, mensuração e monitoramento, verificação e certificação, tramites contratuais e processos administrativos. Por exemplo, Phan et al (2017) estima os custos médios de transação em US\$/t 0,328, enquanto um guia elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente do Japão (2007) estima os custos de transação entre USD 30.500 e 342.700 por projeto. Porém, um desafio maior que estimar a ordem de grandeza do custo de transação é estabelecer a quantidade e o tamanho dos projetos que serão realizados. Isso ocorre pois, apesar dos custos poderem variar em mais de 10 vezes entre projetos de pequena e grande proporções, a quantidade de tCERs emitidos por projeto parte de poucos milhares de toneladas até muitos milhões, consistindo assim na principal fonte de incerteza.

**Tabela 4: Estimativas de custos de transação por agentes econômicos**

Agentes econômicos (matrizes)	N. Empresas	N. médio de empregos por empresa	Tamanho projeto em CERs (tCO <sub>2</sub> e)	Custo de transação (USD/projeto)	Custo de Transação (USD/tCERs)
De 1 a 4	7511	2	1.516,38	30.500	20,11
De 5 a 9	3830	7	4.724,51	44.600	9,44
De 10 a 19	3399	14	9.756,17	89.200	9,14
De 20 a 49	2573	30	21.460,79	133.800	6,23
De 50 a 99	950	70	49.395,80	178.400	3,61
De 100 a 249	575	155	109.278,92	223.000	2,04
De 250 a 499	232	349	246.403,69	267.600	1,09
De 500 a 999	115	705	497.607,96	312.200	0,63
1000 ou Mais	46	2.295	1.619.213,39	342.700	0,21

Fonte: Elaboração própria.

Para estimar a estrutura do setor de produção florestal partiu-se do total de tCERs potenciais entre 2020 e 2030. Visto a diferença de 30% entre as estimativas das áreas de floresta plantada estimada pela Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) e pelo IBGE, considerou-se que 70% dessa oferta potencial de tCERs seria proveniente de plantações comerciais e por isso viáveis de serem efetivamente certificadas e transacionadas. Esse total corresponde a 416 milhões de tCERs.

Para simular a estrutura e nível de concentração dos setores consumidores e produtores de florestas plantadas, foram analisados a distribuição dos empregos formais registrados na base de Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho (agora parte do Ministério da Economia) relativos aos seguintes setores: extração de madeira em florestas plantadas, produção de carvão vegetal - florestas plantadas, extração de madeira em florestas nativas, produção de carvão vegetal - florestas nativas, papel e celulose, metalurgia, desdobramento de madeira e fabricação de madeira laminada e de chapas de madeira compensada. Estão registradas no total 2.295 empresas, que fornecem 590 mil empregos formais.

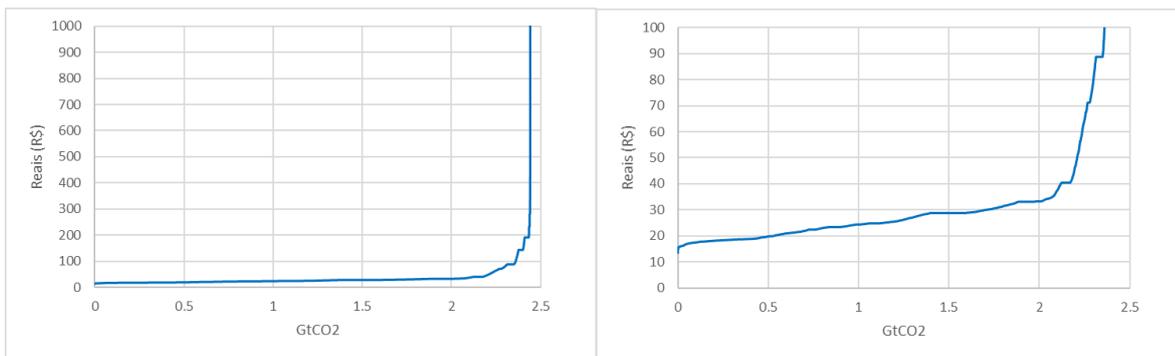
Se partirmos do pressuposto que cada empresa irá realizar um único projeto de MDL e que a área de floresta plantada e de tCERs a serem gerados é proporcional ao número de empregados de cada empresa, é possível então estratificar as empresas em classes de tamanho a partir do número de empregados e estimar para cada classe o tamanho médio do projeto. Finalmente, ao considerar o custo de transação mínimo e máximo por projeto estimado pelo Ministério do Meio Ambiente do Japão (2007) como os valores correspondentes às classes com menor e maior número de empregados (i.e. de 1 a 4 e acima de 1000, respectivamente) e distribuir linearmente os valores intermediários é possível estimar os custos de transação por classe calculados em USD por tCERs gerados (Tabela 4). O dado fornecido pelo guia do governo Japonês foi escolhido como fonte de dados pois é a fonte que apresenta maior

variabilidade de valores e que considera projetos de diferentes tamanhos. É possível notar que o custo de transação por tCERs de USD 0,63 e 0,21 das duas maiores faixas (i.e. empresas com entre 500 e 999 empregados e com mais de 1000 empregados) é compatível com o valor médio calculado por Phan et al (2017) em USD 0,32 tCER.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo são apresentados e discutidos os resultados das curvas marginais de abatimento de carbono para cada uma das atividades e metodologias descritas acima.

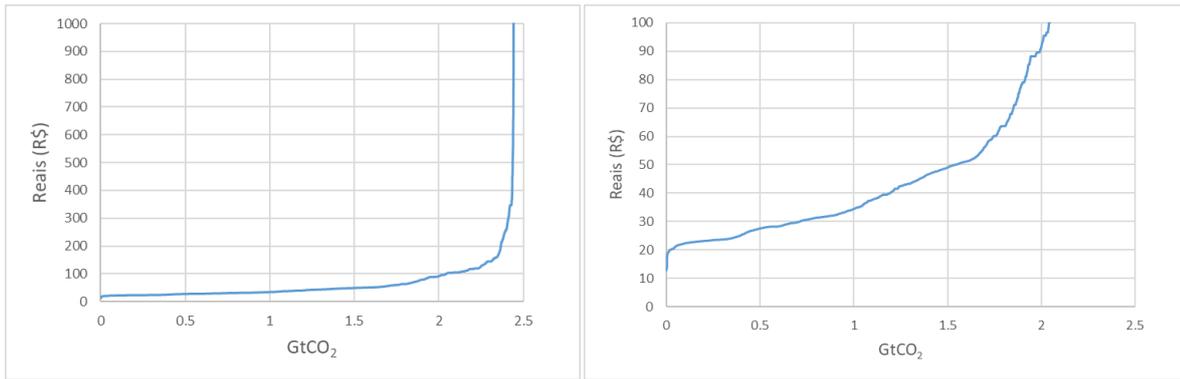
#### 3.1 POTENCIAL DE ATIVOS DA RESTAURAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA



**Figura 14: Curva de custo marginal de abatimento para emissão de RMUs da restauração florestal de áreas de passivo (esquerda) e trecho da curva com custo de abatimento inferior a R\$ 100 tCO<sub>2e</sub>**

Fonte: Elaboração própria.

As estimativas indicam que a restauração de 14,3 Mha de passivo de reserva legal tem o potencial de gerar RMUs que totalizam cerca de 2,4 GtCO<sub>2e</sub>. Este montante pressupõe a permanência e saturação destes estoques de carbono no tempo (biomassa potencial original) uma vez iniciadas as técnicas de restauro. Os resultados ressaltam a importância de se alcançar as metas de restauração florestal da NDC e implementar efetivamente o Código Florestal. É possível notar que cerca de 2 GtCO<sub>2e</sub> desse potencial pode ser alcançado a um custo por tonelada inferior a R\$ 35, correspondendo às áreas no território nacional que podem ser restauradas a partir de técnicas passivas de baixo custo. Porém, para atingir todo o potencial são necessários altos investimentos em técnicas de restauração ativa (ex. plantio total com mudas) que podem ter custos superiores a R\$ 1000 por tCO<sub>2e</sub>. Isso indica não só o grande potencial da geração de RMUs de baixo custo ligados à implementação do Código Florestal, mas também a necessidade de priorizar o emprego de técnicas de restauração passivas.



**Figura 15: Curva de custo marginal de abatimento para emissão de RMUs da restauração florestal de áreas de passivo (esquerda) e trecho da curva com custo de abatimento inferior a R\$ 100 tCO<sub>2</sub>e, incluindo os custos de oportunidade**

Fonte: Elaboração própria.

Todavia, é importante mencionar que a restauração das áreas de passivo ambiental é uma obrigação legal, e por isso a partir de uma perspectiva jurídica, não gera direito à compensação econômica pela perda da área agropecuária. Porém, enquanto teste de sensibilidade adicional e considerando o custo social da implementação da lei, foi estimado a curva de restauração também considerando o custo de oportunidade. Nota-se que o custo da restauração de todo o potencial no país ainda supera os 1000 tCO<sub>2</sub>e, vistos os custos altos do uso de técnicas de restauração ativas mesmo em áreas com baixo custo de oportunidade. Ao mesmo tempo, a inclusão do custo de oportunidade eleva os custos de abatimento até 2 GtCO<sub>2</sub>e que sobem de cerca de R\$ 35 tCO<sub>2</sub>e para R\$ 90 tCO<sub>2</sub>e. De forma similar, o abatimento até 500 MtCO<sub>2</sub>e se eleva de R\$ 20 para aproximadamente R\$ 30 tCO<sub>2</sub>e com a inclusão dos custos de oportunidade.

## 3.2 POTENCIAL DE ATIVOS DE FLORESTAS PLANTADAS

Para a estimativa do potencial de ativos de Florestas Plantadas foram considerados duas modalidades de contabilidade complementares. A primeira se inspira no Protocolo de Quioto e estima a emissão de RMUs provindos da expansão das florestas plantadas, de forma similar à restauração florestal vista acima. Porém, visto que o setor produtor de florestas plantadas também gera emissões de GEE, o objetivo dessa análise é estimar o potencial de redução das emissões setoriais. Na sequência será avaliado o potencial de geração de créditos de carbono temporários (tCERs) também com base em projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) com florestas plantadas.

### 3.2.1 ESTIMATIVAS DAS EMISSÕES LÍQUIDAS DOS SETORES CONSUMIDORES E PRODUTORES DE MADEIRA

As estimativas das emissões de gases de efeito estufa para os setores produtores e consumidores de floresta foram desenvolvidas a partir de um conjunto de bases de dados e relatórios de pesquisas de referência nessa área no Brasil, como o inventário nacional de GEE do Brasil, estimativas da EPE entre

outras bases dados oficiais que oferecem informações sobre o número de empresas e empregos formais por setores de atividade a empresa de pesquisa energética (EPE) desenvolve projeções do consumo de energia por setores econômicos até 2050, esses estudos também dispõem de estimativas para o consumo futuro de energia de segmentos do setor industrial que respondem pela maior parte das emissões de gases de efeito estufa. A EPE precisa estimar a demanda energética até 2050 para fins de planejamento dos investimentos e ações para garantia da oferta de energia. Como cada segmento industrial tem intensidades diferentes, com demandas de energia em maior ou menor grau é importante para o planejamento energético entender a distribuição da demanda por segmento industrial. Como os setores com maior intensidade de consumo de energia também são os que em média mais emitem gases de efeito estufa podemos fazer uso das projeções setoriais da EPE para estimar as emissões por segmento industrial até 2030. Com base nessas projeções foi possível estimar a demanda de energia para os segmentos industriais do país até 2030.

A metodologia utilizada será detalhada. Parte-se inicialmente da demanda total do sistema até 2030 e a participação esperada do setor industrial para o mesmo período. Assim estima-se a demanda total do setor industrial para 2030.. A Tabela 5 mostra as estimativas da EPE para a demanda de energia no Brasil, a participação esperada da indústria

**Tabela 5: Estimativas da demanda de energia**

Referência	2016	2020	2030
Total (milhões de tep)	256.90	276.63	345.67
Indústria (%)	0.32	0.32	0.33
Indústria (milhões de tep)	80.92	88.34	114.94

Fonte: Elaboração com dados da Empresa de Pesquisa Energética.

A EPE projeta também a distribuição do consumo por setores industriais até 2050. Com isso é possível entender algumas tendências de mudanças na estrutura produtiva brasileira nas próximas décadas e ajustar a demanda energética por segmento industrial até 2030. Combinando a estimativa absoluta do consumo energético da indústria com a distribuição entre segmentos ao longo do tempo é possível estimar o consumo absoluto de energia de cada segmento industrial hoje e ao longo do tempo. A Tabela 6 sintetiza as projeções da EPE para o consumo de energia dos segmentos industriais até 2030 .

**Tabela 6: Estimativas da distribuição relativa do consumo de energia por segmento industrial**

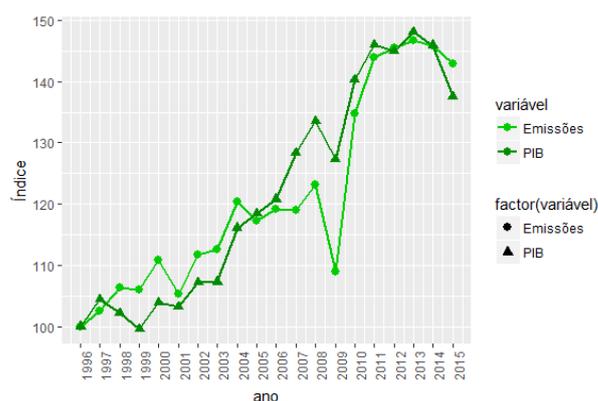
Participação da indústria	2016	2020	2025	2030
Alimentos e Bebidas	28.0%	27.9%	28.2%	27.1%
Cimento	6.0%	5.0%	4.9%	5.4%
Não-Ferrosos	8.0%	6.8%	6.9%	5.4%

Participação da indústria	2016	2020	2025	2030
Ferro-gusa e aço	19.0%	17.4%	17.1%	16.8%
Mineração e pelotização	4.0%	3.8%	3.8%	4.3%
Ferroligas	2.0%	1.4%	1.4%	1.6%
Papel e celulose	11.0%	14.8%	15.5%	14.0%
Química	8.0%	7.1%	6.9%	8.5%
Têxtil	1.0%	1.1%	1.1%	1.1%
Outras indústrias	8.0%	9.1%	8.6%	9.1%

Fonte: Elaboração com dados da Empresa de Pesquisa Energética.

O passo seguinte consiste em avaliar a relação entre o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa. Essa estatística está disponível no Inventário Nacional de GEE publicado pelo MCTIC. As emissões relacionadas ao consumo de energia do setor industrial estão disponíveis para o período entre 1990 e 2010 e as estimativas para o período entre 2010 e 2016. Considerando que as emissões do setor industrial variam diretamente com o consumo de energia é possível, a partir das projeções futuras de consumo de energia, estimar as emissões de GEE da indústria.

A premissa é de que as emissões do setor industrial iriam crescer às mesmas taxas que o consumo de energia desse setor. Essa hipótese se confirma pela análise das relações históricas entre emissões do setor industrial e a dinâmica econômica desse setor. O mesmo ocorrendo com as emissões do setor de energia. As emissões desses setores tem relação direta com a dinâmica produtiva dessa atividade, como pode ser observado na figura 16 que mostra a relação entre as emissões da indústria e o PIB do setor industrial.



**Figura 16 - Relação entre PIB Industrial e Emissões de Processos Industriais**

Fonte: Elaboração WayCarbon com dados do MCTIC e IBGE

**Tabela 7: Emissões de gases de efeito estufa relacionados ao consumo de energia do setor industrial**

Setor	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Total	505.031,00	524.897,00	558.597,00	598.672,00	578.879,00	550.780,00
Industrial	154.633,00	166.820,00	178.674,00	118.679,00	178.925,00	193.277,00
Pct (%)	30,6%	31,8%	32,0%	19,8%	30,9%	35,1%

Fonte: Elaboração com dados da Empresa de Pesquisa Energética.

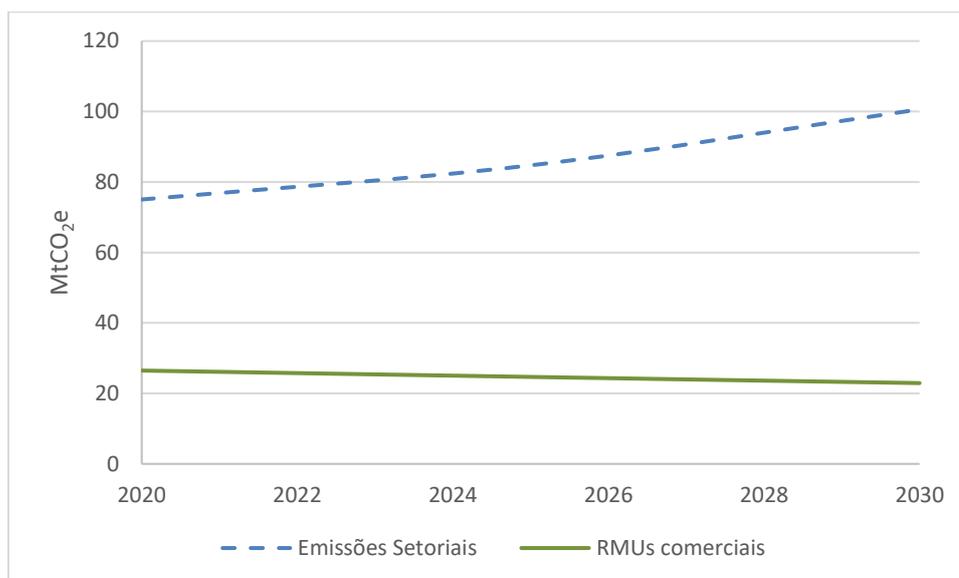
Com as projeções de demanda energética estimamos as emissões futuras partindo da premissa da existência de uma relação direta entre ambas, fundamentadas pela relação histórica entre essas variáveis no Brasil. Como a EPE também estima as participações setoriais podemos estimar a distribuição das emissões setoriais de acordo com as projeções da EPE.

Para concluir as estimativas faltaria compatibilizar a classificação dos segmentos industriais da EPE com alguma classificação setorial mais desagregada que permitisse avaliar as emissões dos setores de interesse. Isso ocorre porque o nível de desagregação dos setores de interesse dos consumidores de floresta difere da classificação utilizada pela EPE. A Tabela 8 mostra os resultados das emissões projetadas para os principais segmentos industriais avaliados pela EPE. Para os setores incluídos na categoria de outras indústrias vamos utilizar a *proxy* do número de empregos para estimar as emissões até 2030.

**Tabela 8 – Estimativas das emissões de GEE dos segmentos industriais do Brasil**

Setor	Emissões projetadas			
	2016	2020	2025	2030
Alimentos e Bebidas	55.384,46	61.149,91	69.207,89	79.596,35
Cimento	9.925,53	10.660,04	11.655,09	14.046,10
Não-Ferrosos	13.498,72	14.993,02	17.095,62	18.192,31
Ferro-gusa e aço	34.540,85	37.093,40	40.550,97	46.749,79
Mineração e pelotização	7.543,40	8.147,63	8.971,42	10.968,80
Ferroligas	2.779,15	3.033,95	3.385,55	4.188,98
Papel e cellulose	29.379,57	33.660,77	39.899,96	45.159,62
Química	14.094,25	15.033,68	16.296,51	20.517,47
Têxtil	2.183,62	2.383,82	2.660,08	3.052,51
Outras indústrias	18.064,47	18.636,15	19.376,27	2.2762,80

Fonte: Elaboração com dados da Empresa de Pesquisa Energética.



**Figura 17: Emissões de carbono dos setores produtores e consumidores de madeira (linha tracejada) e potencial de emissão de RMUs a partir da expansão de florestas plantadas sob a lógica de inventários nacionais entre 2020 e 2030**

Fonte: Elaboração própria.

A etapa seguinte consiste em estimar o potencial de captura de carbono das florestas plantadas utilizando a metodologia dos inventários nacionais. No total, foi estimado que entre 2020 e 2030 a expansão das florestas plantadas poderá gerar um total de RMUs correspondente a 271 MtCO<sub>2</sub>e. Desse total, 70% foram considerados como provindos da expansão de florestas plantadas das indústrias consumidoras e produtoras de madeira. A Figura 17 mostra as tendências de emissão do setor assim como o potencial de geração de RMUs. Em um eventual mercado com início em 2020 cerca de 35% das emissões, em teoria, poderiam ser compensadas por meio da emissão de RMUs. Contudo, com o passar dos anos, o distanciamento entre as curvas reduziria o potencial de compensação para 23% em 2030 (Tabela 9). Aqui parte-se da hipótese de uma indústria verticalizada onde os mesmos agentes econômicos geram emissões e possuem atividades de silvicultura.

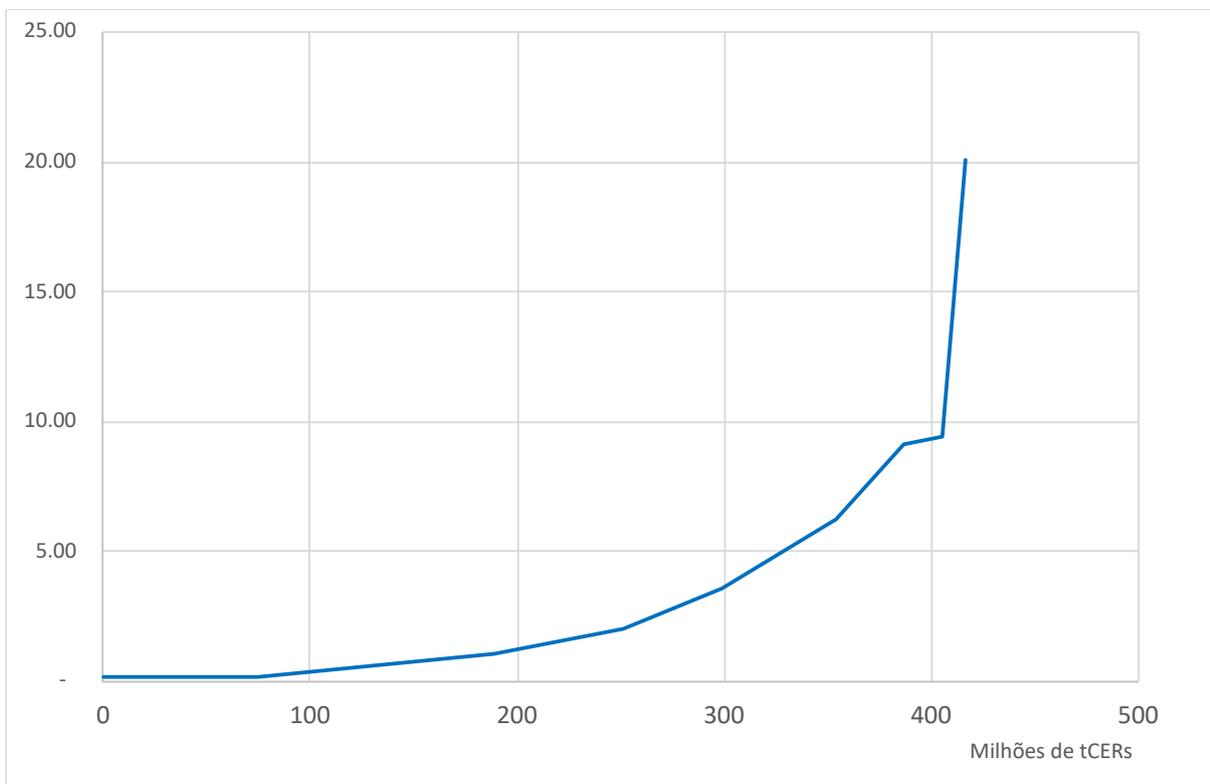
**Tabela 9: Emissões e geração potencial de RMUs (milhões de tCO<sub>2</sub>e) relativas ao setor produtor e consumidor de madeira de florestas plantadas**

Ano	Emissões Setoriais	RMUs comerciais (70%)	Emissões Líquidas	% abatimento setorial
2020	75,04	26,49	10,79	35%
2025	84,73	24,68	16,50	29%
2030	100,61	22,93	28,40	23%

Fonte: Elaboração própria.

Pressupõe-se também que o sistema de monitoramento, reporte e verificação (MRV) da silvicultura deverá integrar o inventário de GEE corporativo, assim como as demais atividades da empresa, fazendo com que a geração de RMUs não resulte em custos adicionais. Isso somado ao custo de oportunidade igual a zero ou negativo da silvicultura, o custo do RMU seria também igual a zero. Ao mesmo tempo, a estimativa do potencial de RMUs é uma informação relevante para o setor para que ele possa estimar suas emissões líquidas, o potencial competitivo internacional na produção e exportação de ferro, aço e papel e celulose com baixo conteúdo de carbono. Nesse cálculo não foi considerado o problema da permanência das RMUs com a manutenção do uso do solo para as florestas plantadas.

### 3.2.2 EMISSÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO TEMPORÁRIO DE PROJETOS MDL DE FLORESTAS PLANTADAS



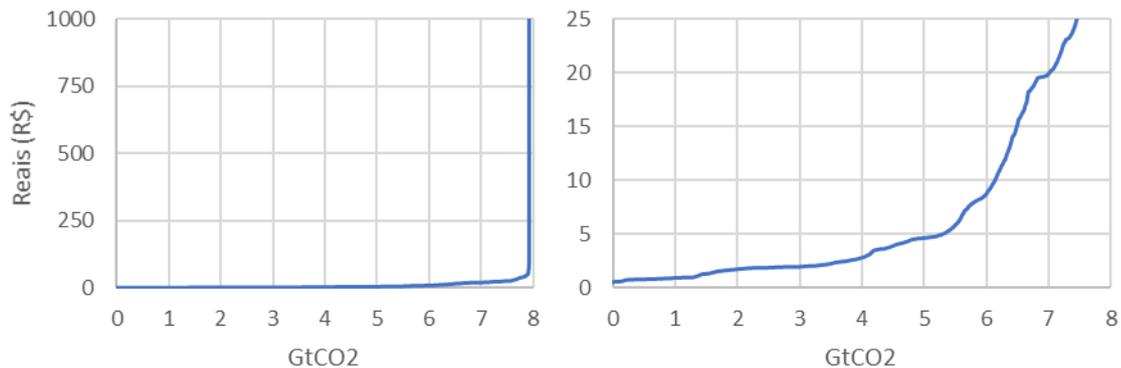
**Figura 18: Curva de custo marginal de abatimento de florestas plantadas sob a lógica de projetos de MDL entre 2020 e 2030**

Fonte: Elaboração própria.

Finalmente, a emissão de créditos de carbono provindos de projetos MDL de florestas plantadas têm o potencial de gerar 416 MtCERs no período 2020-2030, já considerando a opção de 70% do total da silvicultura que ocorre em escala comercial. Mais da metade do potencial de abatimento pode ser alcançado a um custo marginal inferior a R\$ 2,50 por tCER. Esse custo, porém, aumenta substancialmente a partir dos 400 MtCER, chegando a R\$ 20 por causa do alto custo de transação dos pequenos projetos de MDL. Vale notar que as tCERs possuem uma validade máxima de 5 anos, e por

isso novas tCERs precisam ser adquiridas para cobrir as emissões também de períodos anteriores gerando uma demanda maior no futuro, e um preço inferior das tCERs no mercado em relação às RMUs que garantem permanência.

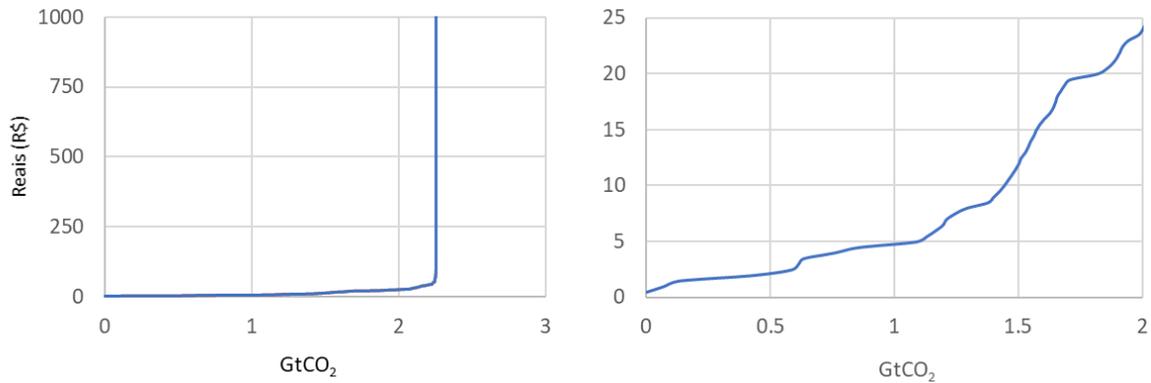
### 3.3 POTENCIAL DE ATIVOS DE DESMATAMENTO EVITADO (EMIÇÃO DE CRA)



**Figura 19: Curva de custo marginal de abatimento de desmatamento evitado por meio de emissão de CRAs (direita) e o potencial na faixa até R\$ 25,00/tonelada (direita)**

Fonte: Elaboração própria.

Estima-se de forma conservadora que os imóveis rurais inscritos no CAR possuem cerca de 75 Mha excedentes às exigências do Código Florestal, e que por isso têm o potencial de gerarem créditos de carbono a partir da emissão de CRAs. Caso fossem desmatadas, essas áreas poderiam gerar emissões da ordem de no mínimo 19 GtCO<sub>2</sub>e. Porém, há grande variação espacial e temporal nos padrões de estocagem de carbono e risco de desmatamento, com ocorrência de áreas chave para valoração da floresta em pé. Assim, ao ponderar o estoque de carbono médio em imóveis privados e restringir os ativos aos que apresentam risco significativo, o potencial teórico atinge aproximadamente 8 GtCO<sub>2</sub>e (figura 18), a depender dos cenários de governança ambiental considerados. Com relação aos custos, há também uma grande diversidade de áreas com excedentes florestais. Por exemplo, nos imóveis com alto custo da terra pela proximidade de áreas de expansão da soja e alto risco de desmatamento, os custos marginais de abatimento podem superar R\$ 1.000,00 por tonelada. Ao mesmo tempo, estima-se um potencial teórico de cerca de 5 GtCO<sub>2</sub>e com um custo marginal de até R\$ 5,00 a tonelada.



**Figura 20: Curva de custo marginal de abatimento para emissão de RMUs ou outros ativos florestais, à luz do cenário de governança forte, provenientes da emissão de CRA (desmatamento evitado) em áreas de ativo ambiental em todo o território nacional**

Fonte: Elaboração própria.

À luz das taxas de desmatamento projetadas em um cenário de governança forte, onde o desmatamento poderá ser mitigado até alcançar as metas estabelecidas pelo PNMC no período de 2020 a 2030, é possível notar uma redução significativa no potencial de geração de créditos de carbono por desmatamento evitado. Isso ocorre, pois, com um cenário com taxas menores, o risco de desmatamento também é reduzido ajustando, com isso, a curva de oferta dos ativos. Ao mesmo tempo, o custo de abatimento também aumenta visto que o WTA do produtor se mantém igual independentemente do risco de desmatamento. Mesmo assim, é possível alcançar, em teoria, o abatimento de cerca de 1 GtCO<sub>2e</sub> a um custo inferior a R\$ 5 a tonelada.

## 4 ATUALIZAÇÃO DA MATRIZ DE FORÇAS, OPORTUNIDADES, FRAQUEZAS, AMEAÇAS (FOFA)

A Matriz de Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças (FOFA) apresentada no Produto B.1.2 foi organizada através da compilação das principais potencialidades a serem recomendadas como pontos positivos e os principais aspectos que merecem atenção em termos de vulnerabilidade, debilidades e pontos de defesa dos exemplos de geração de ativos de carbono de base florestal estudados pela equipe da Ecosistêmica, WayCarbon e UFMG. O Quadro 2 apresenta a análise FOFA atualizada após reunião, realizada em 19 de novembro de 2019, com *stakeholders* do setor florestal e dos setores consumidores de produtos florestais e ilustra os pontos analisados sobre as principais metodologias de geração de ativos de carbono provenientes de atividades florestais. Ressalta-se que o objetivo da matriz FOFA é analisar as fortalezas, oportunidades, fraquezas e ameaças de algumas opções de geração de ativos de carbono de base florestal separadamente, assumindo-se que é desejável a inclusão do setor florestal em um eventual sistema de precificação de carbono, já que pela importância que o setor possui no país, desde os primeiros desenvolvimentos do projeto PMR Brasil, apresentou-se, por parte de *stakeholders*, a demanda pela inclusão do setor florestal em um eventual sistema de precificação de carbono. Por outro lado, o Componente 2 irá complementar a análise na medida em que, inserir o potencial de geração de ativos de carbono de base florestal na modelagem macroeconômica, assim como na análise de impacto regulatório possibilitaria a recomendação final para a implementação de um sistema de precificação de carbono considerando o setor florestal em seu arranjo.

Quadro 2 – Análise FOFA dos ativos de carbono de base florestal propostos

TIPOS DE ATIVOS	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	FRAQUEZAS	AMEAÇAS
<b>tCERs - ATIVOS DE FLORESTAS PLANTADAS EM PROJETOS MDL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Múltiplos benefícios para a população local e meio ambiente.</li> <li>Abordagens de monitoramento são sólidas e verificáveis, portanto, garantem transparência.</li> <li>Projetos piloto demonstram viabilidade, credibilidade e benefícios.</li> <li>O financiamento de carbono pode melhorar e potencializar o desenvolvimento sustentável das atividades florestais.</li> <li>Metodologias aprovadas apresentam amplo escopo de possíveis tipos de projetos (por exemplo, madeira, bioenergia, agrossilvicultura).</li> <li>Tem potencial de reduzir os custos de <i>compliance</i> dos agentes, por meio da possibilidade de compra de ativos alternativos à permissão de emissão, que comumente são mais baratos.</li> <li>Sua unidade é globalmente fungível.</li> <li>Seus créditos são temporários, o que é coerente com o benefício climático.</li> <li>Os segmentos industriais/ florestais hoje seguem diversos sistemas de gestão, que asseguram qualidade técnica e atendem a critérios de sustentabilidade reconhecidos globalmente. E ainda estão sujeitos ao rigor do código florestal e contribuem, via de regra, positivamente para o desenvolvimento local.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A demanda por créditos de carbono pelos governos e empresas é crescente.</li> <li>Os esquemas de certificação aumentam a credibilidade dos benefícios ambientais e socioeconômicos.</li> <li>Seguradoras e outros esquemas de seguros podem lidar com riscos.</li> <li>Corretores podem facilitar a demanda e oferta de créditos e os fundos de carbono institucionalizados podem financiar projetos piloto.</li> <li>Compromisso político para mitigar a mudança climática e aumentar a conscientização pública sobre a importância das funções das florestas.</li> <li>Contrapartida de se comprometer a cumprir o Acordo de Paris na entrada da OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.</li> <li>Mecanismo bem visto por todos os regulados, como um mecanismo de flexibilidade.</li> <li>Esta metodologia poderia ser utilizada para floresta plantada pelos agentes não regulados pelo sistema de precificação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>As metodologias e procedimentos ainda são complexos e demorados.</li> <li>Questões sociais apesar dos avanços atuais, como a sua consideração com base em critérios de desenvolvimento sustentável que são avaliados pela Comissão Interministerial sobre Mudança do Clima, ainda podem ser pouco abordadas e podem ameaçar o sucesso do projeto. • Alto financiamento para implantação e retornos financeiros de longo prazo.</li> <li>Os projetos florestais apresentam riscos de não aprovação, assim como qualquer outro projeto no âmbito do MDL.</li> <li>Os projetos florestais apresentam riscos de não permanência. Este risco pode ser considerado praticamente zero, devido à temporalidade dos créditos, ou seja, eles expiram no final do período de crédito subsequente e devem ser repostos. O problema da não permanência está mais vinculado a um aspecto comercial / político do que técnico.</li> <li>Alto custo de transação ligado à elaboração e registro de projetos de natureza florestal. Entretanto, os valores se tornam relativamente baixos ou pouco significativos quando existem preços de carbono vigentes (potencial de receita), mesmo no caso de preços considerados baixos, por exemplo, na faixa de USD5/tCO<sub>2</sub>e.</li> <li>Problemas de escalabilidade para constituir programas em escala nacional. Atualmente esta fraqueza pode ser superada através da adesão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entende-se que a temporalidade dos créditos gera desvantagem competitiva e valor relativamente baixo comparado a outros ativos de carbono.</li> <li>EU ETS exclui créditos florestais, porém o viés é mais político do que técnico. Atividades de reflorestamento ou que envolvam “tecnologia florestal” geralmente tem menor potencial de mitigação em regiões não tropicais, como a Europa, o que muitas vezes gera restrições comerciais ao uso desses créditos (algo análogo a um “protecionismo climático”). Em eventual sistema de precificação nacional essa ameaça seria menor ou inexistente.</li> <li>Incertezas regulatórias e futuro incerto para projetos de MDL dentro do Acordo de Paris e demais indefinições correlacionadas ao cumprimento voluntário das NDCs (Contribuição nacionalmente determinada) cujas questões de permanência, temporalidade e dupla-contabilidade podem se tornar obstáculos ao sucesso dos projetos.</li> <li>Se mal projetadas e implantadas, as plantações podem causar impactos ambientais e socioeconômicos prejudiciais (por exemplo, através de plantações de monoculturas em grande escala, exclusão das comunidades locais, redução de disponibilidade hídrica). • A depender do estabelecimento de um limite para a oferta de créditos, há o risco de se inundar o mercado com créditos e desestimular a redução de emissões no restante da economia.</li> </ul>

TIPOS DE ATIVOS	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	FRAQUEZAS	AMEAÇAS
			ao Programa de Atividades que permite o desenvolvimento de programas guarda-chuva em nível regional, nacional e até mesmo envolvendo mais de um país.	
<b>RMUs - ATIVOS DE RESTAURAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA ou DA EXPANSÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arcabouço de comércio global de emissões adotado atualmente sob a UNFCCC.</li> <li>• Metodologias para mensuração e contabilidade de emissões e remoções de atividades de LULUCF consolidadas e robustas.</li> <li>• Apresenta potencial de redução dos custos de <i>compliance</i> dos agentes, visto que é possível comercializar ativos alternativos à permissão de emissão, que comumente são mais baratos.</li> <li>• Se a opção for pela priorização do passivo, com o cumprimento do Código Florestal, a abordagem da restauração poderia ser a mais adequada.</li> <li>• O custo de transação desta opção seria baixo, pois é baseada na infraestrutura do Serviço Florestal Brasileiro usada também para a CRA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construir abordagem com base nas regras do Protocolo de Kyoto que provavelmente serão compatíveis com as regras em discussão dentro do Acordo de Paris.</li> <li>• Utilizar experiências da EU ETS e outros mercados que já estão operando.</li> <li>• Já contar com abordagens de mensuração e contabilidade de ativos florestais no mercado nacional adaptadas às regras do Protocolo de Kyoto, caso essas regras sejam aproveitadas de alguma forma no pós-2020.</li> <li>• Instrumento bem aceito como ferramenta de contabilidade e potencial mecanismo de flexibilidade.</li> <li>• A metodologia pode ser utilizada tanto se a opção for pela abordagem de restauração, como se for pela de florestas plantadas.</li> <li>• Poderia ser adotado no cálculo das emissões líquidas para os agentes que forem regulados no escopo 1 do sistema de precificação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incertezas devido à possível revisão do arcabouço do Protocolo de Kyoto diante da adoção do Acordo de Paris, cujas regras para mecanismos de mercado ainda estão para serem adotadas.</li> <li>• Aspectos de integração da política de clima com os ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) e consideração de aspectos sociais da implementação do mercado de carbono não são abordadas pela metodologia.</li> <li>• Se a opção for pelo menor custo, esta poderia ser a abordagem (para restauração) menos adequada, de acordo com os resultados da modelagem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Novas regras sob o Acordo de Paris desconsiderem totalmente as atuais regras do Protocolo de Kyoto.</li> <li>• Exclusão ou limitação da contabilização da remoção de atividades florestais nas regras de contabilidade de mercado no Acordo de Paris.</li> <li>• Principalmente para a abordagem de restauração, há o risco de se inundar o mercado com RMUs, a depender do limite de oferta, e desestimular a redução de emissões no restante da economia</li> </ul>
<b>CRA – ATIVOS DE DESMATAMENTO EVITADO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compensação financeira aos produtores rurais que preservaram áreas de florestas em suas propriedades.</li> <li>• Sinergia com a implementação do Código Florestal e mercado de compensação de reserva legal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regularização ambiental, recomposição dos biomas brasileiros através de processos de restauração florestal, por exemplo.</li> <li>• Potencial mercado de bens e serviços ambientais.</li> <li>• Contribuição para alcance das metas de redução de emissão através de atividades como restauração florestal,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regularização fundiária incipiente. Sistemas de cadastro, registro e monitoramento em desenvolvimento.</li> <li>• SiCAR contém informações provenientes de cadastro autodeclaratório, sem informações fundiárias validadas pelos órgãos competentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Novas discussões sobre Código Florestal Brasileiro.</li> <li>• Contaminação de incertezas jurídicas ligadas ao conceito de "identidade ecológica" nos mercados de CRA para compensação.</li> <li>• Há o risco de se inundar o mercado com créditos e desestimular a redução de emissões no restante da</li> </ul>

TIPOS DE ATIVOS	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	FRAQUEZAS	AMEAÇAS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenção de áreas de florestas, biodiversidade, carbono, dentre outros serviços ambientais.</li> <li>• CRA pode reduzir os custos de <i>compliance</i> dos agentes que não possuem o mínimo de vegetação nativa em Reserva Legal, por meio da possibilidade de compra das cotas que tendem a ser mais baratas que a recomposição florestal em determinadas situações.</li> <li>• Se a opção for pelo menor custo, esta poderia ser a abordagem mais adequada, de acordo com os resultados da modelagem.</li> </ul>	<p>manejo sustentável de florestas nativas, manutenção de sumidouros de carbono, dentre outras.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existência de base de dados (SiCAR) com informações especializadas sobre ativos e passivos ambientais.</li> </ul> <p>Instrumento bem aceito no contexto da proteção da vegetação nativa no Brasil, potencial mecanismo de flexibilidade para cumprimento das metas de conservação.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Morosidade dos órgãos ambientais responsáveis pela regulação e operacionalização das CRAs.</li> </ul>	<p>economia a depender do limite de oferta.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de realizar uma distinção precisa entre: (i) remoções de gases de efeito estufa geradas em áreas de conservação (Reserva Legal/ Área de Preservação Permanente e outras) que poderiam ter o mesmo tratamento dado às remoções nas outras duas abordagens (MDL e Inventário); e (ii) emissões evitadas em relação ao desmatamento de estoques florestais ou estoques de carbono existentes nas referidas áreas de CRA.</li> </ul>

Fonte: Elaboração Ecosistêmica, WayCarbon, UFMG.

## 5 CONCLUSÃO

Com base nos elementos descritos acima, conclui-se que o cálculo do potencial de geração de ativos de base florestal para todo o território nacional requer tanto a simulação do uso da terra para identificação de atividades florestais elegíveis, quanto a clara definição das metodologias e abordagens de mensuração, relato e contabilização de ativos. A experiência advinda do Protocolo de Quioto demonstra que, apesar de certa flexibilidade dos Países membros para definição das atividades florestais, as escolhas metodológicas podem impactar significativamente as estratégias de consecução de metas de redução de emissões e o montante de ativos a serem eventualmente relatados e contabilizados periodicamente.

Como já era esperado para um país de clara vocação florestal, existe um potencial enorme para a geração de créditos de carbono florestal. Em primeiro lugar, a geração de RMUs a partir da restauração florestal se demonstra uma alternativa viável em termos tanto de escala quanto de custo. O potencial total dessa alternativa é de 2,4 GtCO<sub>2e</sub>, porém para remoções totais acima de 2 GtCO<sub>2e</sub> os valores de abatimento crescem exponencialmente. Por outro lado, ao considerar uma faixa de até 500 MtCO<sub>2e</sub> é possível gerar RMUs entre R\$ 20 e 30 por tCO<sub>2e</sub> (excluindo e incluindo os custos de oportunidade, respectivamente).

As florestas plantadas, por sua vez, podem ter um papel importante seja na compensação das emissões nos setores produtores e consumidores de madeira, seja no fornecimento para outros setores. Em um eventual mercado com início em 2020, cerca de 35% das emissões, em teoria, poderiam ser compensadas por meio da emissão de RMUs. Contudo, com o passar dos anos, o distanciamento entre as curvas reduziria o potencial de compensação para 23% em 2030. Se, alternativamente, essas mesmas áreas gerassem créditos de carbono em projetos de MDL, poderiam ser emitidos 416 MtCERs, sendo que mais da metade a um custo marginal de abatimento inferior a R\$ 2,50 por tCER. Apesar do custo baixo é importante lembrar que os tCERs são temporários e existem incertezas sobre o status dos créditos de MDL no contexto do Acordo de Paris.

Como esperado, a emissão de créditos de carbono de desmatamento evitado possui o maior potencial de abatimento, chegando a mais de 11 GtCO<sub>2e</sub> (com o estoque já descontado pelo risco de desmatamento). Desse total, é possível abater cerca de 1 GtCO<sub>2e</sub> com um custo marginal até R\$ 5,00 à luz do cenário de governança ambiental forte.

Apesar desse potencial poder trazer benefícios substanciais para um eventual esquema de geração e comercialização de ativos, será necessário regular de modo a restringir a oferta e evitar que o mercado nacional seja inundado por créditos com baixo custo. Por um lado, essa grande disponibilidade de créditos poderá reduzir o custo do setor energético e industrial para reduzir suas emissões líquidas. Por outro, esses setores poderão tornar-se obsoletos ao perder os incentivos para descarbonização e adoção de tecnologias de baixo carbono. Por esse motivo é importante considerar limites para entrada de créditos de carbono florestal no mercado nacional, e desenhar de modo cuidadoso os mecanismos para garantir adicionalidade e a distribuição custo-efetiva dos recursos. Além disso, a opção por uma das abordagens apresentadas deve levar em consideração além dos custos e incentivos para a

descarbonização da economia, os objetivos do país em relação ao setor florestal e o arranjo a ser adotado no sistema de precificação de emissões.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas - ANA (2017) Base Hidrográfica Ottocodificada 1:250.000. Disponível em: <[ftp://ftp.ana.gov.br/BHO\\_2017/](ftp://ftp.ana.gov.br/BHO_2017/)>.

ALVES, D. et al, 1997. Biomass of primary and secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, v.3, n.5, p.451-461.

ALVES, B. J. R. Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos. In: Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília: Embrapa/ MCTI, 2015. 97p.

BERNDT, A. et al. Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos animais. In: Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília: Embrapa/MCT, 2015. 145p.

BERNOUX, M. et al. CO<sub>2</sub> emission from mineral soils following land-cover change in Brazil. *Global Change Biology*, v. 7, n. 7, p. 779-787, 2001.

BRASIL, 2008. Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC. Brasília, Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007. Disponível em [http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq\\_climaticas/arquivos/plano\\_nacional\\_mudanca\\_clima.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf)

BRASIL, 2012. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2012) Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. – Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p. ISBN 978-85-7991-062-0

BRASIL, 2014. Ministério do Meio Ambiente – MMA (2014) Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG). Brasília: MMA, 2014. Disponível em [http://www.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/planaveg\\_plano\\_nacional\\_recuperacao\\_vegetacao\\_nativa.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/planaveg_plano_nacional_recuperacao_vegetacao_nativa.pdf)

Brasil, 2017. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC Modelagem Integrada e Impactos Econômicos de Opções Setoriais de Baixo Carbono. Disponível em: <[https://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/arquivos/projeto\\_opcoes\\_mitigacao/publicacoes/Modelagem-Integrada.pdf](https://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/arquivos/projeto_opcoes_mitigacao/publicacoes/Modelagem-Integrada.pdf)>.

BRASIL, 2018. Decreto Nº 9.640, de 27 de dezembro de 2018. Disponível em [http://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/57221639](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/57221639)

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Plano Nacional De Energia 2050. EPE: Rio De Janeiro, 2015.

FEARNSIDE, P.M.; GUIMARÃES, W.M., 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v.80, n.1, p.35-46

IMAFLOTA, GeoLab (ESALQ/USP), Royal Institute of Technology in Stockholm (KHT), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IF/SP) (2019) Malha fundiária do Brasil.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ (Brasil). Anuário estatístico 2014: ano-base 2014. Brasília: IBÁ, 2014. 100p.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2018) Projeto Prodes - Monitoramento de Desmatamento na Amazônia Legal. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Tóquio: IPCC, 2003.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies. IPCC, 2006. Disponível em: < <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2014. 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds) Published: IPCC, Switzerland.

MELO, A.C.G.; DURIGAN, G., 2006. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. *Scientia forestalis*, São Paulo, v.71, p.149-154

MINISTRY OF ENVIRONMENT OF JAPAN (2017) CDM/JI Manual for Project Developers and Policy Makers. Disponível em: <[http://gec.jp/gec/en/Activities/cdm/CDMJ\\_Manual\\_2007.pdf](http://gec.jp/gec/en/Activities/cdm/CDMJ_Manual_2007.pdf)>

PACKER, A. N. C. et al. Queima de resíduos agrícolas. In: Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília: MCTI/Embrapa, 2015. 56p.

Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil - MapBiomass (2019) Mapas de uso da terra da coleção 3.1. Ano de referência 2008. Disponível em: <[http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas\\_collection](http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collection)>.

SCIVITTARO, W. B. et al. Queima de metano do cultivo de arroz. In: Terceiro inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Brasília: Embrapa/MCTI, 2015. 63p

SCHÖNGART J. et al., 2011. 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

SOARES-FILHO BS, Lima LS, Hissa LV, Costa WL, Rodrigues HO, Ferreira BM, et al. OTIMIZAGRO: Uma Plataforma Integrada de Modelagem de Uso e Mudanças no Uso da Terra para o Brasil. Final report. Belo Horizonte (MG): Centro de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal de Minas Gerais, 2013. Jun. Report No.: 978-85-61968-04-5. Sponsored by the Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência do Brasil

Soares-Filho B, et al. 2016. Brazil's market for trading forest certificates. *PLoS One* 11:e0152311

SOARES-FILHO BS, Campos A, Koberle AC, Ribeiro A, Alvim F, Davis JL, Rajão R, Maia S, Costa WLS, 2017. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para agricultura, florestas e outros usos do solo (AFOLU). Ministério da Ciências, Tecnologia, Inovações e Comunicações; ONU Meio Ambiente, 401 p.

UNFCCC, 2008. Kyoto Protocol Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amount. [https://unfccc.int/resource/docs/publications/08\\_unfccc\\_kp\\_ref\\_manual.pdf](https://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf)

UNFCCC,2010. Reforestation as Renewable Source of Wood Supplies for Industrial Use in Brazil.PROJECT DESIGN DOCUMENT FORM FOR AFFORESTATION AND REFORESTATION PROJECT ACTIVITIES (CDM-AR-PDD) - Version 04.CDM – Executive Board