

# Caderno temático

2

Gestão de resíduos sólidos  
urbanos com baixas emissões de  
GEE



PLANSAB

# 2

## Gestão de resíduos urbanos com baixas emissões de GEE<sup>1</sup>

### Autores

Alessandra Lee Barbosa Firmo  
Hélinah Cardoso Moreira  
José Fernando Thomé Jucá  
Luciana de Figueirêdo Lopes Lucena  
Maria Odete Holanda Mariano  
Mário Augusto Tavares Russo  
Thilo Schmidt

### Revisão

Ana Terra Meija Munhoz  
Christiane Dias Pereira  
Guilherme Gonçalves  
Hélinah Cardoso Moreira  
Jan Janssen  
Mariana Silva  
Rebeca Borges de Oliveira

### Resumo

O caderno “Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos com Baixas Emissões de Gases de Efeito de Estufa” faz parte de um conjunto de cadernos temáticos de apoio à revisão do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), cujo objetivo é fornecer subsídios para a gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil. Espera-se que o setor possa contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, levando em consideração as metas estabelecidas pelo Plansab, que preveem a universalização da coleta de RSU na área urbana, a valorização dos resíduos orgânicos e secos e a erradicação de lixões ou vazadouros a céu aberto em todo o país.

As mudanças climáticas e a necessária redução de gases de efeito estufa (GEE) vêm sendo tratadas mundialmente no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Durante a 21ª Conferência das Partes (COP21), em 2015, foi aprovado o Acordo de Paris com o objetivo de conter o aumento da temperatura média global em menos 2°C acima dos níveis pré-industriais, além de aplicar esforços para limitar esse aumento a 1,5°C. Os países ratificaram o acordo em 2016, ao comunicarem suas metas de redução até 2030 mediante sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC). Para alcançar as metas da NDC brasileira, entende-se como necessária uma transição do modelo atual de gestão de RSU para um modelo de baixas emissões de GEE. O setor apresenta uma relação íntima com o problema global das mudanças climáticas ao atuar – a depender das rotas tecnológicas adotadas – ora como emissor de GEE, ora como setor estratégico para a redução e geração de créditos de emissões de GEE.

Os relatórios oficiais da UNFCCC limitam as emissões antropogênicas de GEE do setor de tratamento de resíduos a quatro subcategorias: disposição final de resíduos, incineração, tratamento de efluentes líquidos industriais e tratamento de efluentes domésticos. Conforme relatoria ao Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, as emissões do setor representam mundialmente 3% do total de emissões de GEE (IPCC, 2008). No entanto, reconhece-se que a contribuição do setor de resíduos à proteção do clima é muito superior ao que os balanços internacionais de emissões de

---

<sup>1</sup> Caderno coordenado pela UFPE/GRS – Universidade Federal de Pernambuco/Grupo de Resíduos Sólidos e Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

GEE indicam: os créditos das emissões evitadas pela recuperação energética, por exemplo, são contabilizados no setor de energia, e a recuperação de materiais recicláveis, no setor da indústria.

Sendo assim, o potencial da gestão dos resíduos para a proteção do clima não é revelado na íntegra pela abordagem metodológica do IPCC, cabendo ao setor de gestão de RSU uma posição estratégica na consolidação de uma economia de baixo carbono por integrar diversos outros setores econômicos, como os de energia, bens e serviços, indústria, transporte e alimentos. Estima-se que a adoção de medidas sustentáveis na gestão de resíduos poderia contribuir entre 15% e 20% para a redução de emissões totais de GEE, com um modelo de balanço que inclui a compensação de emissões pelos efeitos da não geração, reutilização, reaproveitamento e reciclagem de resíduos, visando evitar emissões em outros setores, como na exploração de matéria-prima virgem, no transporte e em processos industriais (UNEP/ISWA, 2015).

Embora a economia mundial ainda seja caracterizada por um modelo linear, dado que apenas 13,5% dos materiais de entrada na economia provêm da reciclagem (UNEP/ISWA, 2015), vários países, a exemplo daqueles da União Europeia, têm empregado esforços na transição para uma economia circular. O intuito é estimular uma mudança de paradigma necessária para combater o desperdício de recursos naturais por meio da reinserção e manutenção, no sistema, do maior fluxo de massa e energia possíveis, reduzindo consequentemente as emissões de GEE.

O Brasil se caracteriza por possuir sistemas de gestão voltados predominantemente à coleta e disposição final de resíduos em aterros sanitários e lixões, contemplando ainda um pequeno percentual de reciclagem de resíduos secos e algumas experiências isoladas de valorização de resíduos orgânicos. O tratamento térmico tem sido empregado apenas para resíduos de serviços de saúde e industriais. Com esse quadro, o setor de tratamento de resíduos foi responsável, em 2016, por aproximadamente 4% das emissões brutas de GEE, das quais 57,5% são derivadas da disposição final de RSU em aterros e lixões, e o restante, dividido entre o tratamento de efluentes e a incineração (MCTIC, 2019; OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2018).

Os GEE emitidos no setor de resíduos sólidos são compostos predominantemente de metano ( $\text{CH}_4$ ) oriundo da decomposição da fração orgânica encaminhada ao tratamento e à disposição final em aterros e lixões, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e um pequeno percentual de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), proveniente da valorização dos resíduos orgânicos.

Existem diversas ferramentas e metodologias disponíveis para o cálculo das emissões de GEE aplicadas ao setor de resíduos sólidos urbanos, dependendo qual o objetivo da análise e abordagem desejada. Elas são essenciais para avaliar e comparar como se pode reduzir as emissões de GEE, por meio da adoção de cenários de mitigação do setor de resíduos.

O modelo do IPCC permite quantificar as emissões totais de um município, estado ou país, considerando uma rota simplificada. Entretanto, as práticas de gerenciamento de RSU incluem também outras tecnologias que envolvem coleta (diferenciada e indiferenciada), tratamento de resíduos secos (triagem e reciclagem) e orgânicos (compostagem e digestão anaeróbia), tratamento térmico e disposição final de resíduos. Embora algumas práticas reduzam a quantidade de resíduos gerenciada em outras etapas, os impactos das emissões devido, por exemplo, à reciclagem (que envolve também alterações nas emissões de um processo produtivo e de transporte) são considerados em outros setores e não são abordados pelos modelos do IPCC no escopo de resíduos, bem como as emissões de GEE derivadas de tecnologias *Waste to Energy*, que convertam diretamente os resíduos em algum combustível. Neste caso, para uma abordagem mais sistêmica e integrada, utiliza-se a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

A ACV apresenta uma visão integrada e é focada no fluxo de materiais, desde a extração da matéria prima até a disposição final. Sob esta ótica, considera-se todas as emissões decorrentes do gerenciamento completo dos resíduos, independentemente do local ou momento temporal em que as emissões ocorrem, a partir de uma estratégia de gestão.

Para o fomento à políticas públicas em gestão integrada de resíduos sólidos urbanos, a abordagem ACV se revela como um instrumento estratégico para observar os impactos que uma ação em resíduos tem em outros setores da economia, justificando a relevância de investimentos mais suntuosos no setor.

Investir no setor é uma condição fundamental para a qualificação da gestão de RSU. O investimento na infraestrutura deve ser feito não apenas em aterros sanitários, mas em tecnologias modernas e consolidadas que valorizem e recuperem cada vez mais as frações orgânica e seca dos resíduos, resultando na redução dos rejeitos encaminhados à disposição final, no fortalecimento do mercado, no desenvolvimento tecnológico, na geração de emprego e renda, e na qualidade de vida nas cidades.

Por fim, considerando a intersectorialidade da gestão de resíduos sólidos, uma ação em resíduos pela ótica da avaliação do ciclo de vida geraria benefícios e impactos muito maiores do que os observados no inventário nacional. Ao mesmo tempo, o fortalecimento de uma gestão de resíduos de baixas emissões de GEE contribui diretamente para outros setores da economia e, a nível internacional, atrai recursos financeiros, parcerias e negócios comprometidos com a proteção climática global.

No caderno é apresentado um diagnóstico que permite contextualizar o setor de resíduos sólidos urbanos e relacionar os aspectos associados à sua gestão a processos de mitigação das mudanças climáticas a partir da adoção de boas práticas e da adoção de tecnologias que apresentem um balanço de emissões de GEE mais positivo. Nesta parte também se discute a posição do país até o ano de 2018, frente aos acordos globais para mitigação e adaptação às mudanças climáticas, em termos de suas metas individuais de redução e do respaldo institucional e regulatório nacionais para o alcance destas metas.

## **1. A gestão de resíduos sólidos urbanos e seu impacto no clima**

O processo de urbanização, desencadeado com maior intensidade a partir da década de 1940, despertou a sociedade para um possível desequilíbrio dos ecossistemas, caracterizado por uma crise ambiental calcada na finitude dos recursos naturais e um aumento na pressão sobre o meio ambiente, refletido na extrapolação da capacidade de carga do planeta. As discussões relativas às necessidades de equilibrar o crescente aumento do consumo e a degradação do ambiente urbano e rural deram origem a grandes conferências mundiais sobre meio ambiente e desenvolvimento humano, consagrando termos como “desenvolvimento sustentável”, “sustentabilidade” e, mais recentemente, “cidades sustentáveis” e “desenvolvimento urbano sustentável”.

Atualmente, quase quatro bilhões de habitantes vivem em centros urbanos, estimando-se que, até 2050, 69% da população residirá em ambientes urbanos (PBMC, 2016). Tal crescimento é traduzido em termos de aumento da pressão antrópica sobre o ambiente, intensificando as vulnerabilidades associadas ao ambiente urbano (resiliência das cidades), notadamente no que se refere aos serviços urbanos de infraestrutura, entre os quais a gestão de RSU. Estas

vulnerabilidades são agravadas pelas mudanças climáticas, que podem potencializar os problemas relacionados aos sistemas de infraestrutura urbanos.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) declara, em *Waste and climate change - global trends and strategy framework 2010*, que:

em escala global, o setor de resíduos é responsável apenas por menores contribuições nas emissões de GEE, estimadas em aproximadamente entre 3% a 5% do total das emissões antropogênicas. Todavia, o setor de resíduos está numa situação única de mudar de uma menor fonte das emissões globais para ser um maior compensador de emissões. Mesmo com as inerentes emissões menores no tratamento e disposição final, a prevenção e a recuperação de resíduos (nas formas de matéria-prima pós-consumo ou energia) evita emissões maiores em todos os outros setores da economia (UNEP, 2010, p.1, tradução).

A variação no nível de emissões derivadas do setor de resíduos depende, entre outros fatores, da composição gravimétrica dos resíduos urbanos, bem como das tecnologias de tratamento e disposição final adotados nos distintos países. Embora a composição dos resíduos seja semelhante, a variação percentual dos materiais constituintes dos RSU apresenta uma relação direta com a renda de cada país. De acordo com estudos apresentados pela UNEP/ISWA (2015), nos países de renda elevada, a percentagem média de matéria orgânica (34%) na composição é inferior à de países de baixa renda (53%), enquanto a percentagem de resíduos de embalagens é mais elevada (>45%). A geração *per capita* também varia com o Produto Interno Bruto (PIB), sendo maior nos países com maior renda (2,0 kg/hab/dia). Em países de menor renda, esse valor não ultrapassa 0,5 kg/hab/dia.

As tecnologias de tratamento e destinação final dos resíduos variam de um país para outro em função do contexto econômico, cultural e ambiental. Enquanto, em países classificados pelo Banco Mundial como de renda alta, atinge-se um índice de coleta próximo de 100%, nos países de renda média, chega-se a cerca de 70%, e em países de renda baixa esse percentual não ultrapassa 35%. Cerca de 2 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso a serviços de coleta, segundo a UNEP/ISWA (2015). Além disso, apenas 35% dos países com baixa e média rendas têm soluções ambientalmente adequadas, observando-se ainda a predominância de lixões como forma de disposição final dos resíduos (UNEP/ISWA, 2015). A taxa de recuperação de materiais recicláveis ainda é baixa quando se considera a totalidade dos resíduos produzidos. Atualmente, 13,5% dos resíduos são encaminhados para reciclagem (UNEP/ISWA, 2015; WORLD BANK, 2018).

## 1.1. Quantificação das emissões de gases de efeito estufa

Os GEE emitidos pelo setor de resíduos sólidos são compostos predominantemente de metano, dióxido de carbono e óxido nitroso (Figura 2). O óxido nitroso é emitido principalmente nos processos de tratamento térmico, como a incineração, e na compostagem. Apesar de ocorrer em pequeno volume, permanece até 120 anos na troposfera e tem um potencial de aquecimento 310 vezes superior ao do dióxido de carbono (IPCC, 1996). O dióxido de carbono, apesar de ser o principal causador das mudanças climáticas derivadas de fontes antropogênicas, não é o principal GEE associado ao setor de resíduos sólidos. Permanece cerca de 100 anos na troposfera e é emitido principalmente pelas tecnologias de coprocessamento, tratamento térmico e lixões.

O metano é um constituinte do biogás gerado pela decomposição da matéria orgânica nos aterros e lixões e em condições de ausência de oxigênio livre, pela ação de bactérias em um processo denominado digestão anaeróbia. O biogás é composto majoritariamente por metano e dióxido de carbono (que somam cerca de 95%) e também por outros gases (5%), designadamente compostos orgânicos voláteis não metânicos, ácido sulfídrico e amônia. O metano é o gás mais emitido no setor de resíduos sólidos e possui um potencial de aquecimento 28 vezes superior ao do dióxido de carbono (IPCC, 2006). É considerado um poluente climático de vida curta, visto que seu tempo de permanência na troposfera (12 anos) é muito inferior ao do CO<sub>2</sub>. Com esse curto tempo de permanência, seu impacto diminui ao longo dos anos e, nos aterros, o processo de liberação também decai com o tempo.

Existem outras substâncias relevantes que apresentam um potencial de aquecimento superior ao do CO<sub>2</sub>, mas não são incluídas nos inventários nacionais de GEE (IPCC, 2006), como os combustíveis fósseis e o carbono negro (*black carbon*) emitido em processos de combustão em lixões e durante a coleta dos resíduos. O carbono negro tem sido considerado o segundo maior poluente climático, depois do CO<sub>2</sub> gerando efeitos diretos e indiretos sobre o clima. É um poluente climático de vida curta e permanece até um mês na atmosfera. Por este motivo, a sua redução tem sido considerada uma alternativa viável para mitigar os efeitos das mudanças climáticas a curto prazo (RAMANATHAN & CARMICHAEL, 2008; EPA, 2011). A incerteza quanto ao efeito líquido dos efeitos indiretos, entretanto ainda é incerto e tem gerado controvérsias quanto à magnitude do real potencial de aquecimento, podendo variar de 15% a 60% do efeito global de aquecimento do CO<sub>2</sub> (RAMANATHAN, 2007). O IPCC (2013) e CARB (2012) apresentaram compilações de diversos autores que procuraram estimar o potencial de aquecimento global em 100 anos do carbono negro. Os autores mostram que as publicações estimam que o carbono negro tem um potencial de aquecimento entre 460 e 2240 vezes maior do que o CO<sub>2</sub>.

Como os potenciais de aquecimento dos GEE se diferenciam ao longo do tempo, foi necessário estabelecer uma métrica para quantificá-los de forma padronizada. Esta métrica, denominada Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential – GWP*), estabelece uma relação de equivalência entre o potencial de aquecimento dos gases, tendo como parâmetro o dióxido de carbono, mediante sua conversão em massa para CO<sub>2</sub>-equivalente (CO<sub>2</sub>e). Existem diversas ferramentas e metodologias disponíveis que podem ser aplicadas no gerenciamento dos resíduos sólidos para o cálculo das emissões de GEE, dependendo do objetivo da análise e da abordagem dada ao setor.

As ferramentas e metodologias para o cálculo das emissões (com parâmetros e alcances diferentes entre si) são essenciais para avaliar e comparar como se pode reduzir as emissões de GEE, incrementando o potencial de mitigação associado ao setor de resíduos. Esta mensuração possibilitará a adoção de estratégias e metas de redução das emissões de GEE em diferentes níveis de planejamento.

O monitoramento preciso das emissões geradas a partir dos resíduos sólidos, com base em um protocolo de emissões, é essencial para promover a melhoria do desempenho ambiental do setor e atrair apoio técnico e financeiro.

O objetivo e o escopo de quantificar as emissões de GEE da gestão de resíduos podem ser muito diferentes. Eles podem diferir, por exemplo, nos seguintes aspectos:

- reportar um inventário;

- analisar uma visão holística do sistema integrado de gestão de resíduos;
- avaliar o impacto da redução na fonte de resíduos;
- focar em processos específicos da gestão de resíduos;
- acompanhar o desenvolvimento de um cenário proposto ao longo do tempo.

Como organização científica líder nas discussões relativas às mudanças climáticas, com suporte do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da Organização Meteorológica Mundial (OMM), o IPCC é reconhecido por seus relatórios orientadores, considerando os desdobramentos socioeconômicos e ambientais derivados das mudanças climáticas. Em resposta à demanda das partes do United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), o IPCC determinou metodologias de cálculo de emissões de GEE com o objetivo de subsidiar inventários de emissões e projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) em diferentes áreas, incluindo o setor de resíduos. Mesmo com a substituição do protocolo de Quioto pelo acordo de Paris e os consequentes reflexos no mercado de carbono, as metodologias no MDL continuam sendo referência para a quantificação da redução de emissões.

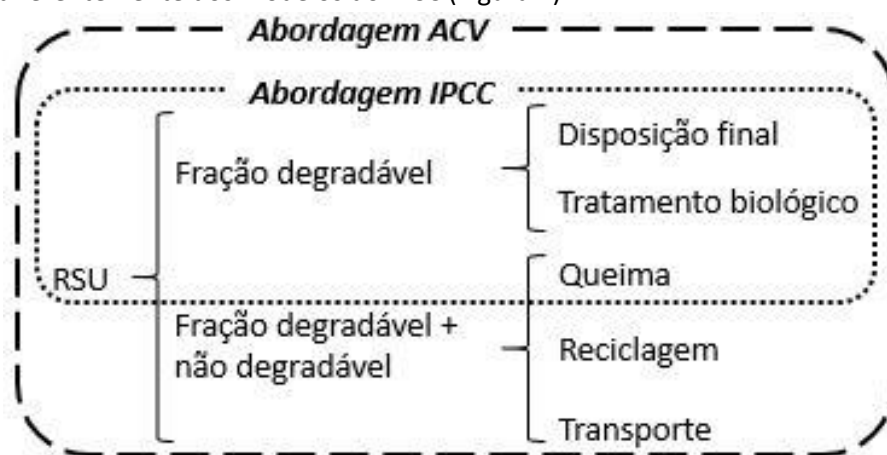
Reconhecidas internacionalmente, estas metodologias são aplicadas nas mais diversas ferramentas utilizadas na realização de inventários de emissões de GEE, tornando comparáveis os inventários elaborados em diferentes localidades. Também fornecem dados de referência quando não há disponibilidade de informações locais que permitam uma quantificação mais precisa. Originalmente publicado em 1996, o guia foi revisado em 2006, mantendo o modelo original e integrando recomendações do Guia de Boas Práticas e Gerenciamento de Incertezas nos Inventários Nacionais de GEE (IPCC, 2000). A estimativa das emissões brasileiras já incorpora algumas diretivas definidas no modelo de 2006. O guia é composto de cinco volumes, sendo o quinto deles dedicado ao setor de resíduos e abrangendo as seguintes tecnologias de tratamento e disposição final de RSU: i) disposição final: aterros sanitários, aterros controlados e lixões; ii) tratamento biológico; iii) queima controlada (incineração) ou a céu aberto.

Observando as emissões nos locais de disposição final e tratamento biológico, o modelo do IPCC (2006) considera as emissões advindas da decomposição dos materiais (resíduos alimentares, de jardim, podas, papel e papelão, madeira, têxteis, materiais descartáveis, borracha e couro). Nos demais materiais, a decomposição é praticamente desprezível. Em termos de práticas de queima dos resíduos, deve-se levar em consideração também a fração que não é degradável, porém gera emissões importantes, como os plásticos e outros polímeros.

Trata-se de um modelo para avaliar as emissões de tecnologias específicas que, quando somadas, podem quantificar as emissões totais de um município, estado ou país, considerando uma rota simplificada. Entretanto, as práticas de gerenciamento de RSU incluem outras tecnologias que envolvem a coleta (diferenciada e indiferenciada), o tratamento de resíduos secos (triagem e reciclagem) e orgânicos (compostagem, digestão anaeróbia), a incineração e a disposição final de resíduos. Embora algumas práticas reduzam a quantidade de resíduos gerenciada em outras etapas, o impacto das emissões devido, por exemplo, à reciclagem (que envolve também mudanças nas emissões de um processo produtivo e transporte) é considerado em outros setores e não é abordado pelos modelos do IPCC (2006), bem como as emissões de GEE derivadas de tecnologias *Waste to Energy* que convertam diretamente os resíduos em combustível.

Outra ferramenta de gestão ambiental amplamente difundida é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), empregada internacionalmente na análise de fluxos de matéria e energia em todas as

etapas que envolvem a oferta de bens e serviços. A metodologia baseia-se no conceito *life cycle thinking* (LCT), que considera a existência de impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto ou processo, permitindo a redução e mitigação de efeitos deletérios ao ambiente, bem como a adoção de melhorias nos processos e a redução de emissões e de uso de recursos naturais em toda a cadeia (EUROPEAN COMMISSION, 2012; UNEP, 2007). Magrini (2004) e Curran (2006) apontam que o emprego da ACV no setor de gestão de resíduos sólidos a partir do final da década de 1980 impulsionou as discussões decorrentes dos problemas relacionados à sua gestão integrada, cujo interesse foi ampliado a partir dos emergentes acordos e convenções internacionais, da crescente sensibilização da sociedade aos problemas ambientais e da melhoria da prestação de serviços locais. A este respeito, McDougall et al. (2001) comentam que a ACV tem sido usada não apenas para comparar opções específicas de tecnologias de tratamento de resíduos sólidos, mas adicionalmente para analisar sistemas integrados de gestão de resíduos sólidos, a exemplo de Reichert (2013), Turner, Williams e Kemp (2016) e Mersoni e Reichert (2017), permitindo englobar de forma sistêmica atividades como o transporte e a reciclagem de materiais, diferentemente dos modelos do IPCC (Figura 1).



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 1. Modelo simplificado de possíveis fontes de emissões consideradas pelas metodologias IPCC e ACV.

Comparando essas duas abordagens, pode-se destacar seis diferenças fundamentais, que são apresentadas na Tabela 1.



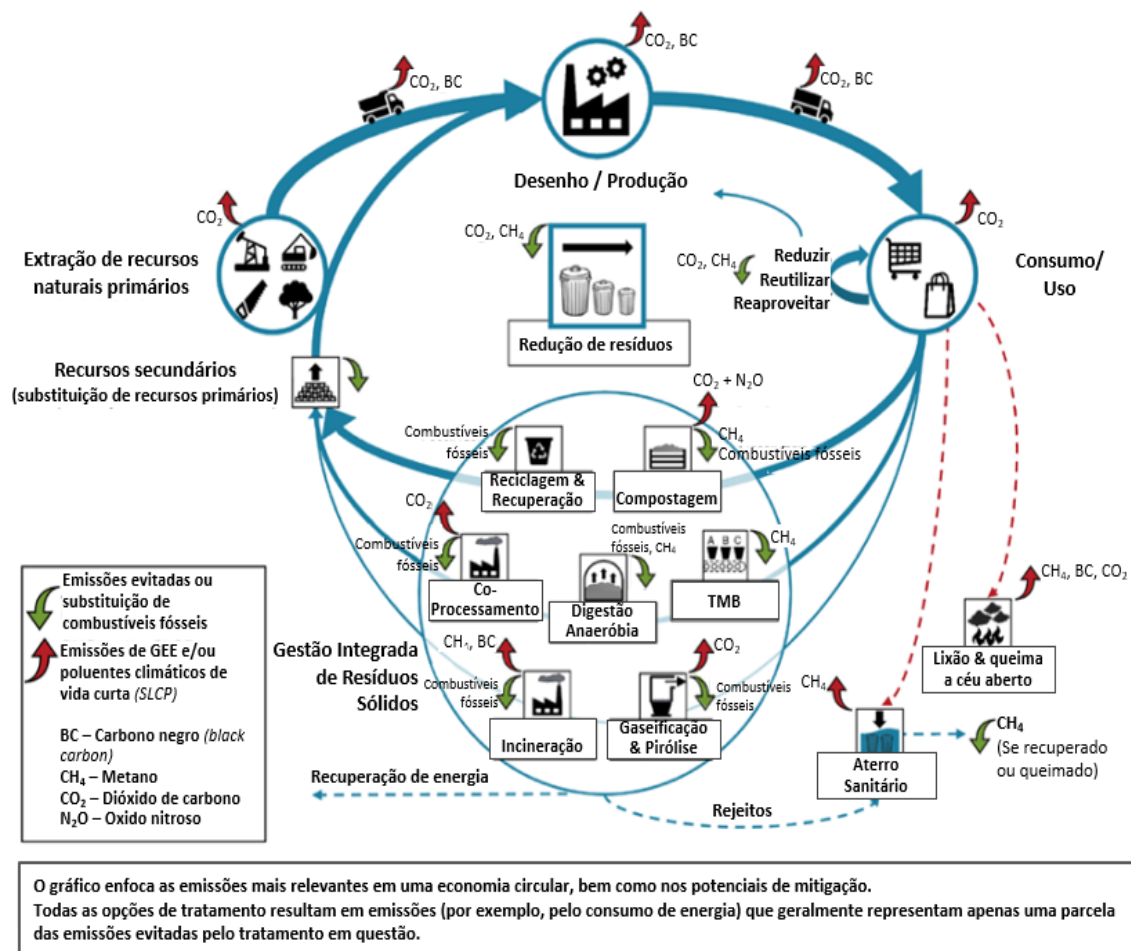
Tabela 1. Diferenças de abordagens entre IPCC e ACV.

	IPCC	ACV
<b>Objetivo da quantificação</b>	Orienta os países a compilar inventários nacionais sobre GEE. A estrutura foi pensada de modo a produzir estimativas confiáveis das emissões e redução de gases, independente da experiência ou dos recursos do país.	Considera o balanço global das emissões e reduções de GEE de todo o sistema de gestão de resíduos de um país ou região. Avalia o sistema de gestão de resíduos com todos os ciclos de materiais e recursos relacionados à gestão de resíduos de uma região, desde a coleta e o transporte de resíduos, o tratamento intermediário, a recuperação energética e a disposição final, incluindo os efeitos de substituição de matérias-primas e de ganhos de energia no processo.
<b>Limites do sistema de gestão de resíduos</b>	Considera processos únicos, como aterro, compostagem e incineração sem recuperação energética.	Considera todo o ciclo de vida dos resíduos do sistema de gestão, incluindo processos evitados.
<b>Referência temporal</b>	Calcula um inventário de GEE para um ano específico, tomado como referência para o relatório. Esse método inclui todas as emissões de GEE causadas por resíduos gerados no ano de referência e em anos anteriores, utilizando um modelo de decaimento. Também permite prever as emissões de GEE de cenários de gestão de resíduos se características como geração, composição e disposição final forem aplicadas para cada ano consecutivo com base nesses cenários.	As emissões de GEE causadas pelos resíduos gerados em um ano de referência são calculadas independentemente de quando ocorrem. Os cenários de gestão de resíduos podem ser calculados para situações passadas e futuras, dependendo de um ano de referência. No caso de um aterro, não faz diferença quando os GEE serão emitidos, visto que serão quantificadas as emissões totais de uma vez.

<b>Referência espacial</b>	As emissões de GEE são quantificadas dentro de um território e, portanto, seguem o princípio de emissão territorial, independentemente de ser um estado federal ou um município, mas sempre com uma delimitação local.	A referência espacial são as emissões de GEE pelas atividades humanas de uma região. Os resíduos dessas atividades podem ser tratados dentro ou fora dessa região, gerando emissões de GEE em outros lugares. Por isso, é definida como referência espacial a região responsável pela geração das emissões, e não o local de emissão. O princípio da responsabilidade das emissões é derivado da abordagem do ciclo de vida, pois a atividade humana gera resíduos em algum lugar.
<b>Caráter da quantificação (absoluta e marginal)</b>	Um inventário de emissões de GEE resulta em um valor absoluto das emissões pelas atividades de gerenciamento de resíduos de um determinado ano e região; por isso, quanto mais resíduos forem gerados, maior será o valor absoluto de emissões de GEE, caso não ocorram mudanças na gestão.	São incluídas as consequências da recuperação de materiais e energia que levam à redução de emissões de GEE na substituição de matérias-primas e combustíveis fósseis. As mudanças têm um efeito marginal nas emissões de GEE, portanto, não são medidos os valores absolutos dos cenários envolvendo a gestão de resíduos. Por isso, os dados de entrada não devem ser alterados, ou seja, trabalha-se com a mesma quantidade e tipologia de resíduos para diferentes cenários.
<b>Apresentação de resultados</b>	O resultado de um inventário de GEE é um valor absoluto para as emissões em um determinado ano e região, por isso é positivo. Considera as séries temporais de emissões de GEE no passado até o mais recente ano de dados disponíveis.	É fornecido um valor para as emissões de GEE por meio de um cenário de referência. O resultado é sempre uma diferença entre duas opções de gerenciamento de resíduos e pode ser positivo ou negativo, dependendo se são emissões ou créditos. Não trabalha com linha de tempo, e sim pode apresentar resultados em anos de referência, para representar etapas de desenvolvimento.

Fonte: ProteGEEr.

Como instrumento norteador para a gestão ambiental pública, a ACV tem sido empregada em diferentes países, a exemplo da Alemanha, que estabelece cotas de reuso e reciclagem, da França, que orienta certificações para produtos industrializados, do México, Peru e Chile, que a preveem na gestão de seus biocombustíveis, e da China, em suas políticas nacionais de produtos, resíduos eletroeletrônicos, diretiva de equipamentos eletroeletrônicos e restrições de substâncias perigosas, entre outros (IPEA, 2016; LIMA, 2013; WOLF, 2014). No Brasil, a abordagem ACV vem sendo indicada com maior ênfase desde 2010, com a aprovação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (Resolução Conmetro nº 4, de 15 de dezembro de 2010) e da Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que define a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos como um dos seus princípios orientadores. Entende-se que a real relevância do setor de resíduos para a mitigação das mudanças climáticas apenas pode ser visualizada efetivamente com uma abordagem de ACV que considere todas as etapas do processo de gestão dos RSU, pela ótica da economia circular (Figura 2).



Fonte: GIZ (2017), adaptado de original da Ellen Macarthur Foundation

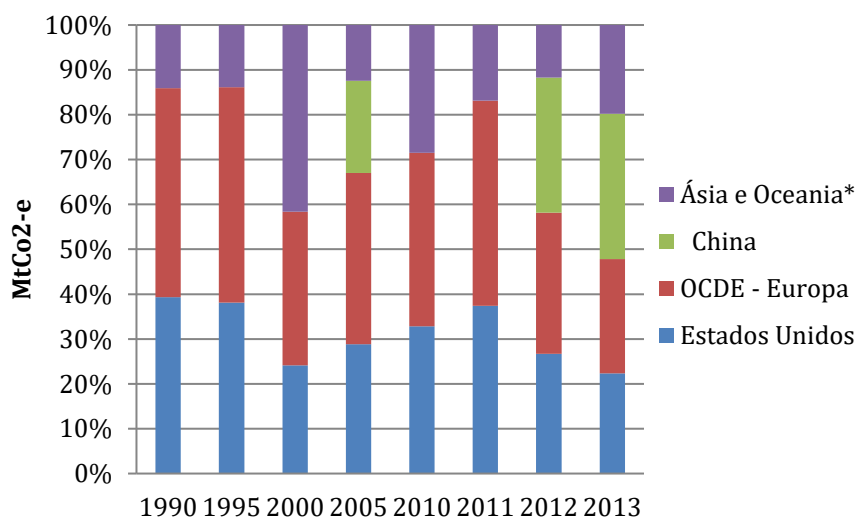
Figura 2. Relação entre gestão de resíduos e economia circular

Segundo o MCTIC (2016), devido à falta de disponibilidade de recursos e dados, os estudos de ACV estão focados em cenários direcionados para países desenvolvidos, cujos resultados não são facilmente transferíveis para países com realidades distintas, dificultando

comparações globais em relação às emissões de GEE no setor de resíduos. Isso justifica a ausência de uma metodologia padronizada e bem definida para a aplicação da ACV no cálculo de emissões de uma tecnologia e rota tecnológica, destacando-se, portanto, a necessidade de promover esforços para construir um banco de dados nacional.

## 1.2. Experiências internacionais e transição para uma economia circular

As diferenças econômicas e sociais entre os países têm sido determinantes nas decisões que cercam a gestão de RSU e a adoção de tecnologias de tratamento e disposição final, influenciando, portanto, nas emissões de GEE do setor, bem como nas suas formas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Com uma contribuição média de 3% do total de emissões de GEE, o setor de tratamento de resíduos produz cerca de 1.433 Mt CO<sub>2</sub>e, com um nível variável de emissões entre continentes e países ao longo do tempo (BOGNER et al., 2008; WRI, 2013). A Figura 3 mostra a variação histórica entre países e blocos de países que contribuem de forma significativa para estas emissões.



Fonte: adaptado de OECD, EPA e WRI.

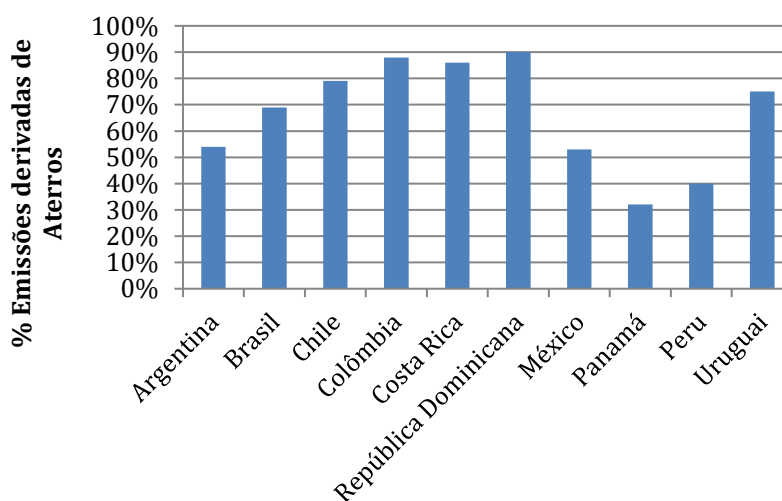
Figura 3. Emissões de gases de efeito estufa para o setor de resíduos (1990–2013)

\*Excluindo China, apresentada à parte. Em 2000, 2010 e 2013, incluindo Índia.

A China, cujos dados foram apresentados na Figura 3 para três anos distintos em separado da Ásia e Oceania, é hoje o maior emissor de GEE e destes gases no setor de resíduos. Observando o gráfico, percebe-se que os Estados Unidos diminuíram em 30% as suas emissões ao longo dos anos, embora ainda apresentem uma contribuição semelhante ao total das nações europeias da OECD, por exemplo, sendo hoje o segundo maior emissor de GEE no setor de resíduos. Aproximadamente 11% dos GEE mundiais emitidos por esse setor são atribuídos ao país. A disposição em aterros sanitários é apontada como a terceira maior fonte de emissões de metano nos Estados Unidos. De acordo com a EPA (2018), o país conseguiu reduzir estas emissões em até 40% com a adoção de sistemas de controle e aumento na captura de biogás, bem como a partir da redução da disposição de resíduos orgânicos nos aterros, favorecendo uma maior eficiência no balanço de emissões de GEE.

A Índia também está entre os 10 maiores emissores de GEE, motivo pelo qual, quando incluída nas estatísticas da Ásia e Oceania, tem-se um aumento nas emissões. Os picos observados nos anos de 2000, 2010 e 2013 referem-se aos períodos em que há dados relativos à Índia, cujos esforços se concentram em incentivar o uso de tecnologias *Waste to Energy* e investir em projetos de gestão de RSU (ÍNDIA, 2015). A Ásia tem revelado dificuldades em apresentar seus inventários, por isso ainda não há informações oficiais suficientes a respeito dos volumes de emissões. Segundo Ishigaki et al. (2011), as diferenças de clima e zonas de precipitação dificultam o uso padronizado da metodologia de quantificação do IPCC (2006) para o setor de resíduos. Nesse sentido, desde 2003, a Ásia vem realizando sistematicamente *workshops* sobre os inventários de GEE para auxiliar a cooperação técnica e troca de experiências entre os países.

O sistema de gestão de resíduos sólidos na América Latina é centrado na disposição final de resíduos em aterros, observando-se ainda uma elevada quantidade de localidades com disposição em lixões a céu aberto. Segundo o CCAP (2014), na América Latina, o nível de emissões no setor pode atingir volumes superiores a 5%, suplantando a média mundial de 3%. Considerando que o setor inclui nesta estatística as emissões relativas ao tratamento de efluentes industriais e domésticos, a incineração e a disposição final de resíduos sólidos, a maior parte destas emissões está concentrada na disposição final em aterros sanitários e lixões, representando cerca de 60% das emissões do setor de resíduos nos 10 países da América Latina considerados (Figura 4).



Fonte: Adaptado de CCAP (2014).

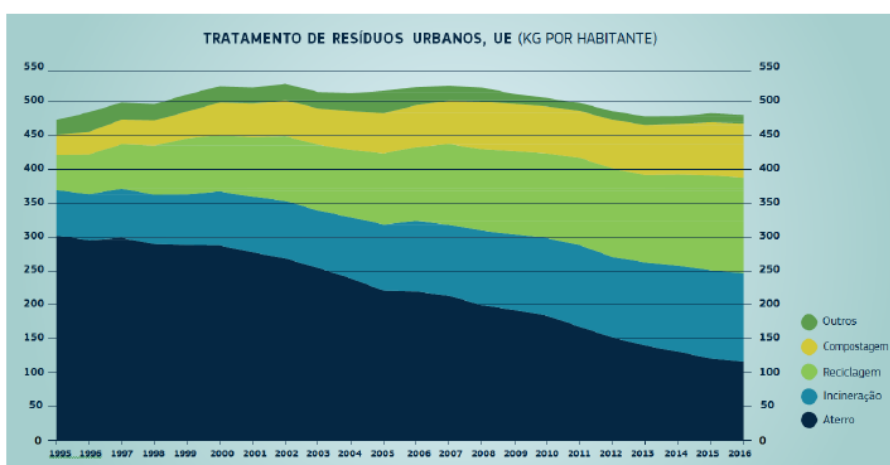
Figura 4. Contribuição dos resíduos sólidos urbanos para as emissões do setor de resíduos na América Latina (2010).

O estudo identifica que o nível médio anual de emissões do setor de resíduos nestes países é de 83 Mt CO<sub>2</sub>e, um valor 60% inferior à média dos países da OCDE, embora países como Brasil e México estejam entre os dez maiores emissores de GEE no setor, demonstrando que há uma variação significativa no nível de emissões entre os países da América Latina e entre eles e outros países e blocos (CCAP, 2014). Assim como diferem nos padrões de emissão, os países da América Latina se diferenciam dos Estados Unidos e da Europa quanto às estratégias de mitigação.

Na União Europeia (UE), os países que desenvolveram sistemas eficientes de gerenciamento de RSU geralmente apresentam melhor desempenho na gestão global de resíduos. Segundo dados do Eurostat (2018), a redução de emissões totais de GEE na União Europeia foi de 22% de 1990 a 2016. Para o setor de resíduos, esta redução foi de 29,7%. A política de resíduos da União Europeia visa estabelecer a transição para uma economia circular em que os materiais e os recursos sejam mantidos na economia durante o maior tempo possível e o descarte de resíduos em aterros seja o menor possível (meta de 10% em 2035). Estas disposições obrigaram à adoção de outras tecnologias para a valorização de resíduos, tanto os biodegradáveis quanto os recicláveis.

Isto é evidente em países como Bélgica, Dinamarca, Luxemburgo, Países Baixos e Suécia, que dispõem menos de 10% dos resíduos gerados em aterros sanitários, quando a média da União Europeia é de 25% dos resíduos dispostos em aterros sanitários. Já as tecnologias de reciclagem e compostagem representaram, juntas, 45% do tratamento de resíduos em 2016 em relação à sua geração. A tecnologia de incineração com recuperação de energia é componente essencial da gestão de resíduos em numerosos Estados membros. A Dinamarca e a Suécia incineram mais de 50% dos seus resíduos urbanos e a Holanda, a Bélgica e a França incineram mais de 35% (HOLLINS et al., 2017).

De 2008 a 2016 as taxas de reciclagem de resíduos urbanos aumentaram de 37% para 46% na UE como um todo. Na figura 5, observa-se a queda crescente da disposição final em aterros sanitários e do aumento da aplicação de outras tecnologias, como a compostagem, reciclagem e incineração.

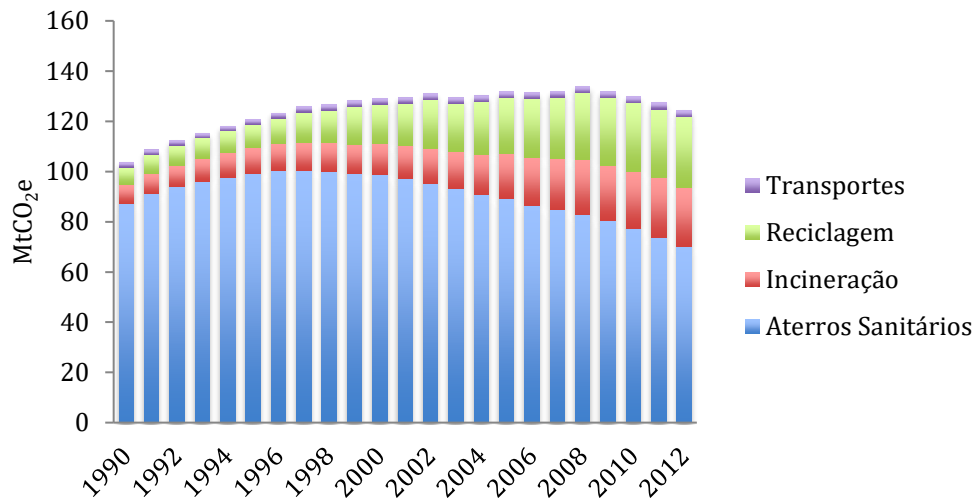


Fonte: Eurostat.

Figura 5. Tipo de tratamento de resíduos urbanos na União Europeia, em quilos por habitante.

A Figura 6 apresenta as emissões de GEE por tipo de tecnologia de tratamento de RSU na União Europeia, na Suíça e na Noruega. A União Europeia percebeu desde a década de 1990 a necessidade de diminuir a disposição dos resíduos orgânicos em aterro a fim de reduzir emissões de GEE. A Diretiva Aterros (31/CE, de 26 de abril de 1999) estabeleceu como objetivo o desvio de resíduos orgânicos (como resíduos alimentícios, de poda, papel e papelão) de aterros, com metas progressivas de restrição a disposição de resíduos em aterros, considerando como base o volume de resíduos encaminhados no ano de 1995. Assim, em 2020, apenas 35% dos resíduos orgânicos produzidos em 1995 poderão ser depositados em aterro, tendência que pode ser

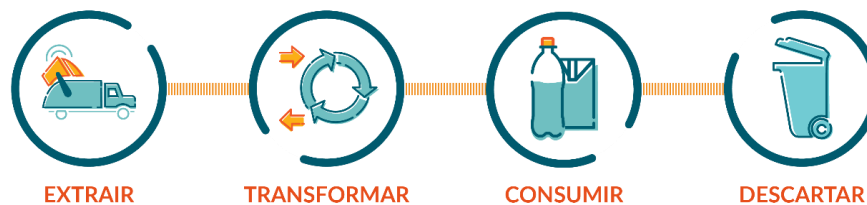
observada ao analisar o declínio, desde então, do volume de emissões geradas por aterros sanitários na União Europeia.



Fonte: Eurostat – Centro de Dados sobre Resíduos (2018).

Figura 6. Emissões de gases de efeito estufa por tipo de tecnologia de tratamento de resíduos sólidos urbanos na União Europeia, na Suíça e na Noruega.

Por meio da Comissão Europeia, a Europa deu início ao movimento econômico estratégico fundamentado na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia. Com isso, almejou substituir o modelo econômico linear, apresentado na Figura 7, não mais sustentável do ponto de vista econômico, social e ambiental.



Fonte: ProteGEEr.

Figura 7. Modelo econômico linear.

Por substituir o conceito de fim de vida, da economia linear, por novos fluxos circulares de reutilização, restauração e renovação, num processo integrado, a economia circular (Figura 7) é um elemento-chave para promover a sustentabilidade entre o crescimento econômico e o consumo de recursos, relação até aqui vista como inexorável. De fato, a extração de matérias-primas da natureza e a produção são responsáveis pela geração de resíduos, pelo consumo de energia e pelas emissões de GEE. Assim, ao manter materiais e produtos “circulando” no sistema, a economia circular reduz a necessidade de extrair matérias-primas e, em certa medida, a intensidade dos impactos oriundos dos processos industriais, proporcionando economia de energia e reduzindo significativamente as emissões de GEE.



Fonte: ProteGEEr.

Figura 8. Modelo econômico circular aplicado a gestão de resíduos sólidos urbanos.

Por outro lado, a economia mundial ainda é caracterizada por um modelo predominantemente linear, dado que apenas 13,5% dos materiais de entrada da economia provêm da reciclagem (CIRCLE ECONOMY, 2018; UNEP/ISWA, 2015). Fechar esta lacuna é o mote para a mudança de paradigma necessária para combater o desperdício de recursos naturais, reduzindo, ao mesmo tempo, as emissões de GEE.

A fim de estimular a transição para uma economia circular, a União Europeia adotou um pacote de proposta de legislação com o objetivo de reforçar a competitividade a nível mundial, promovendo o crescimento econômico sustentável com a criação de postos de trabalho. O pacote legislativo define objetivos ambiciosos para a reciclagem e a utilização dos aterros na União Europeia. A percentagem de resíduos sólidos urbanos enviados para a reciclagem deve atingir 55% em 2025, 60% em 2030 e 65% em 2035. A quantidade de RSU depositados em aterros não deverá ultrapassar os 10% em 2035. De acordo com a Diretiva-Quadro de Resíduos, os produtores são um agente fundamental para o alcance das metas previstas. A diretiva amplia a responsabilidade estendida do produtor e estimula a adoção de instrumentos econômicos para a logística reversa com o estabelecimento de um valor, denominado “ecovalor”, para cobrir os custos de gestão integrada desses resíduos colocados no mercado (embalagens). Estas contribuições financeiras estão embutidas no preço dos produtos e são repassadas às entidades sem fins lucrativos criadas pelos produtores, embaladores e importadores que gerarem estes resíduos através de licenças-contrato com os Estados membros para cumprimento das metas de reciclagem estabelecidas pela União Europeia. Os custos de gestão de resíduos são cobertos pelo referido valor (selo ponto verde) e pela venda dos materiais aos recicladores. Adicionalmente, dada a necessidade de promoção do ecodesign, a criação de “ecovalores” diferenciados (diferenciação de preços por design ecológico, menor utilização de matéria-prima na composição da embalagem, uso de embalagens reutilizáveis, entre outros) surgirá como uma opção natural para a promoção de boas práticas por parte dos produtores (neste caso, por influência das entidades públicas gestoras).



Outro exemplo de implementação da economia circular é o caso da Alemanha, que representa um incentivo ao Brasil por ter conseguido implementar, nos últimos trinta anos, uma gestão de RSU de baixas emissões. Em 1990, o setor de gestão de RSU da Alemanha sobrecarregou o clima com quase 38 milhões de toneladas de GEE, refletindo em seu Inventário Nacional com 3,5% das emissões totais, ou seja, pela abordagem do IPCC. Em 2010, as emissões do setor caíram para 11 milhões de toneladas, representando 1,6% das emissões nacionais reportadas no Inventário.

A Agência Federal de Meio Ambiente alemã – UBA – publicou um estudo sobre a relevância do clima na gestão de RSU em 2011, para identificar o potencial de mitigação de GEE do setor de RSU pela ótica da Avaliação do Ciclo de Vida, ou seja, demonstrando como a redução dessas emissões refletiram em outros setores da economia.

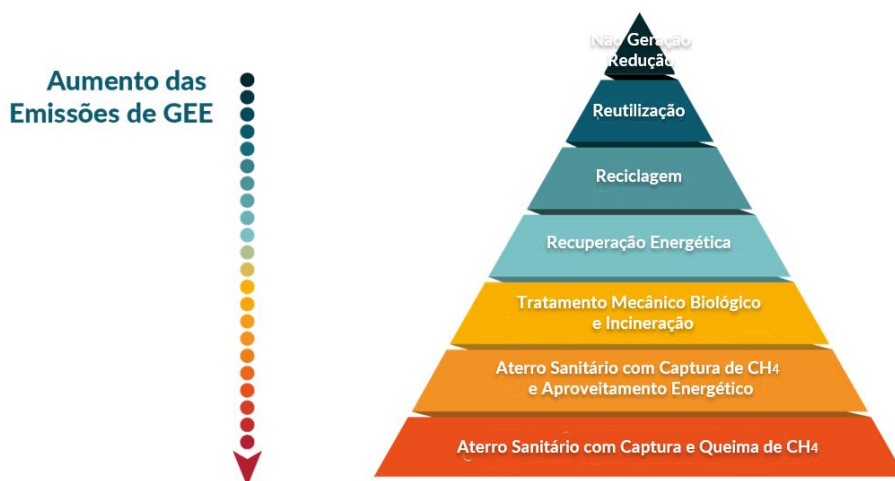
Este estudo indica que o setor de RSU deixou de emitir 18 milhões de toneladas, como um saldo positivo nas emissões. A economia resultante de 56 milhões de toneladas de equivalentes de CO<sub>2</sub> alcançados pelo setor em comparação com 1990 corresponde a cerca de um quarto da redução total de emissões de gases de efeito estufa alcançada na Alemanha até 2006. Para 2020, espera-se um potencial sumidouro de CO<sub>2</sub> de mais de 27 milhões de toneladas com a melhoria da reciclagem e uma melhor utilização energética dos substratos (IFEU-Studie 2010, Öko-Institut e.V.).

Em 2015, a UBA coordenou outro estudo com a abordagem do Ciclo de Vida para os países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OECD, incluindo a UE28, os Estados Unidos, Índia e Egito (The Climate Change Mitigation Potential of the Waste Sector, UBA, 2015). Essas experiências ratificam a importância da abordagem da ACV para orientação de políticas públicas, por apresentarem uma visão integrada de como uma ação implementada no setor de resíduos pode refletir em resultados multisetoriais.

A Alemanha representa um caso peculiar pois proibiu em 2005, o aterramento de RSU sem pré-tratamento, o que impactou diretamente todas as práticas de gestão adotadas até o momento, abrindo oportunidade para o desenvolvimento de tecnologias de tratamento, consolidando o mercado e reduzindo significativamente as emissões de GEE do setor. Cabe salientar que mesmo em aterros com captura e queima de gases, ainda existe a liberação de metano de maneira difusa em aterros sanitários.

### **1.3 Fomento a uma gestão de resíduos sólidos urbanos com baixas emissões de gases de efeito estufa**

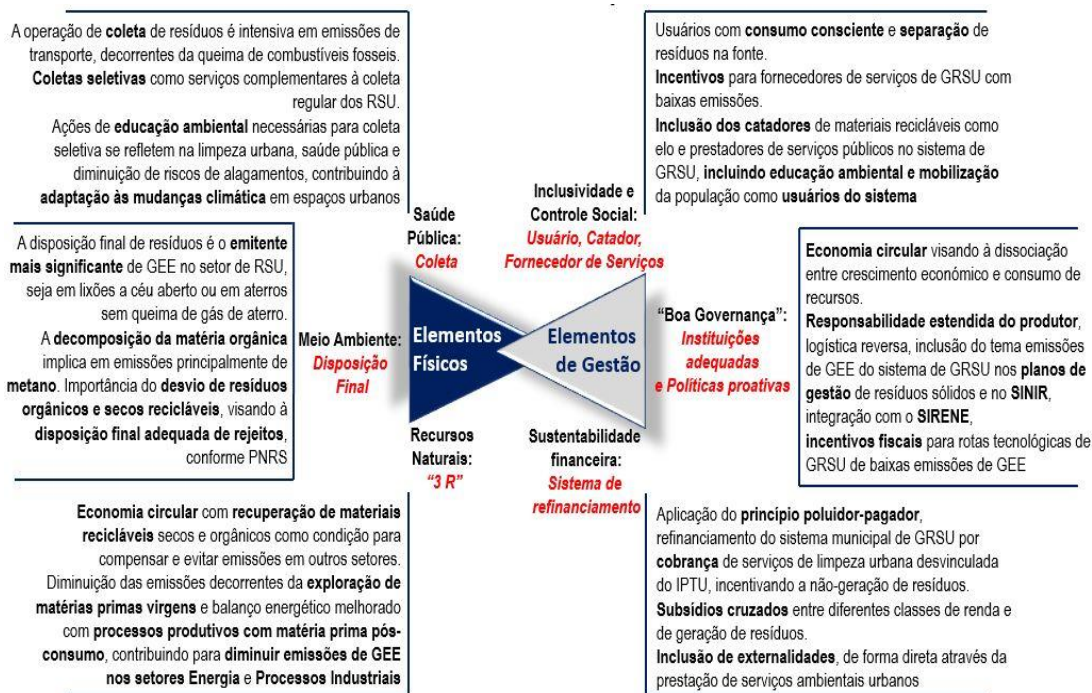
Uma gestão de RSU com baixas emissões deve priorizar alternativas que visem desde a não geração até a recuperação energética de materiais, de forma a balancear e minimizar as emissões geradas pelas diferentes rotas tecnológicas adotadas no sistema de gerenciamento dos RSU, evitando-se a disposição final (Figura 9).



Fonte: ProteGEEr (adaptado).

Figura 9. Hierarquia de gestão de resíduos sólidos urbanos x nível de emissões de gases de efeito estufa.

O potencial para reduzir as emissões de GEE abrange todos os elementos que compõem o Sistema de Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos. Portanto, um enfoque sistêmico se faz necessário para analisar este potencial, incluindo contribuições para minimizar as emissões de GEE contabilizadas em outros setores. Neste sentido, o sistema de gestão de resíduos sólidos ora proposto refere-se a um conjunto de elementos que englobam os principais componentes da temática, agrupados por características físicas e de governança (UN HABITAT, 2010). Para cada elemento destes dois agrupamentos, existem três componentes-chaves, conforme apresentado na Figura 10. Na esfera física, são considerados os componentes saúde pública, meio ambiente e recursos naturais; os componentes relacionados à gestão compreendem os aspectos de governança, inclusão social e sustentabilidade financeira, para os quais são previstas diretrizes de ação.



Fonte: UN-Habitat (2010), modificado pelos autores.

Figura 10. Gestão sustentável de resíduos sólidos e contexto de baixas emissões de GEE.

A fim de transitar do atual modelo linear para uma economia circular, recomenda-se fomentar medidas estratégicas que alavancem a redução de emissões na gestão de RSU, colaborando para a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) brasileira. Isto se traduz em investimentos em infraestrutura, em escolhas fundamentadas entre opções tecnológicas e operacionais, bem como em suporte por instrumentos políticos e regulatórios. A GIZ (2017) enumera, em *Sectoral implementation of nationally determined contributions – circular economy and solid waste management*, elementos-chaves para fomentar uma gestão de RSU de baixas emissões de GEE, para os quais é possível identificar medidas estratégicas. Um primeiro aspecto a ser considerado é a necessidade de institucionalização e articulação entre os agentes federados para a manutenção e o monitoramento dos mecanismos de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, a fim de cumprir as metas da NDC brasileira. Isto requer o alinhamento das estruturas institucionais de supervisão da implementação e monitoramento do processo, envolvendo todos os agentes (ministérios, organismos sociais, entidades regionais, entre outros). É necessário o estabelecimento e a implementação de políticas e planos setoriais, sugerindo-se a integração das emissões nos planos de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos em todos os níveis (nacional, estadual, regional, municipal, geradores particulares específicos), determinando metas de redução para estes setores e avaliando as perspectivas de aumentar as contribuições em subsetores específicos (por exemplo, a partir de melhores práticas e experiências internacionais ou de outros setores). Tais ações devem ser fomentadas a partir de instrumentos de incentivo e alavancagem de investimentos com suporte nacional e internacional, por exemplo, as Ações Nacionalmente Apropriadas de Mitigação (*Nationally Appropriate Mitigation Actions*).

Considerando que as estratégias de mitigação e adaptação ao clima não alcançarão o êxito esperado sem o envolvimento de toda a sociedade, é necessário divulgar as exigências e os benefícios de medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, sensibilizando a

população sobre a conexão entre a proteção do clima e uma gestão sustentável e integrada dos RSU, bem como apontando os benefícios econômicos, sociais e ambientais para toda a população.

## **2. A gestão de resíduos sólidos urbanos e as mudanças climáticas no Brasil**

No Brasil, o setor de tratamento de resíduos é responsável por aproximadamente 4% das emissões brutas de GEE (MCTIC, 2019; OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2018). Apesar de representar apenas uma pequena fração na geração de GEE, segundo o Relatório de Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil (MCTIC, 2017), o nível de emissões tem aumentado com o decorrer das décadas. Em 1990, estima-se que o setor gerava 28 MtCO<sub>2</sub>e e, em 2015, a estimativa de geração foi de 63 MtCO<sub>2</sub>e, representando um aumento de 34,01% entre 2005 e 2010 e de 18,60% de 2010 a 2015.

Segundo o relatório Status dos Projetos MDL no Brasil, publicado pelo MCTIC em 2017, o Brasil ocupava o 3º lugar, com 339 atividades de projetos registradas. Projetos de gás de aterro representavam o quarto item, com apenas 50 projetos aprovados, isto é, 14,8% dos projetos aprovados, porém representando 23,7% das reduções estimadas de emissão de GEE por tipo de atividade de projeto. Sendo esta a segunda atividade com maior potencial de redução, torna-se necessário estabelecer a procedência dessas emissões e as formas de mitigação passíveis de adoção no país perante a interação entre suas políticas, planos nacionais e as NDCs (MCTIC, 2017).

Os RSU são regidos no Brasil pela Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) e por seu decreto regulamentador, nº 7.404/2010, que estabelecem diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos, incluindo os perigosos. A referida lei determina a ordem de prioridade de gestão dos resíduos, incentivando o uso de tecnologias que promovam a reciclagem dos materiais e a recuperação energética, uma vez comprovada sua viabilidade técnica e ambiental, devendo-se realizar a disposição final dos rejeitos em aterros sanitários apenas quando não houver alternativa de processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis de tratamento e recuperação. Entretanto, apesar de a lei ter sido promulgada em 2010, até o presente não se verificou a mudança almejada com a sua implementação, quando se previa a erradicação de lixões no país até 2014. A exemplo do que se retrata na maioria dos países em desenvolvimento industrial, o Brasil está distante de alcançar níveis elevados de desempenho na gestão de seus resíduos. De fato, o Observatório do Clima (2018) descreve que:

a gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil é caracterizada pela baixa valorização biológica, física e energética: o material é coletado de forma indiferenciada e, em geral, encaminhado para disposição final em aterros ou lixões, observando-se insignificantes índices de contribuição de alternativas de valorização como, por exemplo, a reciclagem dos resíduos orgânicos (compostagem) ou dos secos. De maneira geral, a coleta e o transporte dos resíduos sólidos têm sido o principal foco da gestão de resíduos sólidos, especialmente em áreas urbanas (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2018, p. 9).

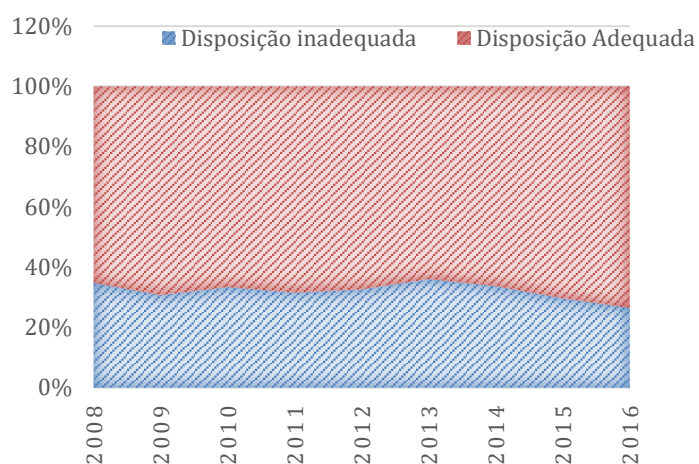
Tradicionalmente, o enfoque dado à gestão de RSU no Brasil tem se concentrado apenas nas etapas de coleta e disposição final de resíduos. São observadas variações entre a quantidade de resíduos gerados e coletados no país, valores esses que são significativos na opção por tecnologias de tratamento e disposição final. Jucá et al. (2014) indicam que a variação da geração dos resíduos está relacionada tanto com o crescimento da população como com a variação de renda, observando-se uma tendência a uma maior geração em regiões com renda mais elevada. Segundo dados do SNIS (2016), a geração per capita média de resíduos no Brasil em 2016 era de 0,88 kg/hab.dia, sendo a maior na Região Sudeste, que gera, em média, 0,90 kg/hab.dia, e a menor na Região Sul (0,86 kg/hab.dia).

As emissões de GEE estão correlacionadas com aspectos culturais, bem como fatores econômicos e sociais, visto que estes influenciam diretamente na composição dos RSU, resultando em diferentes quantidades de fração orgânica, materiais recicláveis e outros em cada região no contexto nacional (IPCC, 2006) e conseqüentemente variação no potencial de emissão de GEE. Considerando a variação na composição dos resíduos, de maneira geral, observa-se uma tendência de decréscimo da fração orgânica e aumento da fração de recicláveis. Segundo o IPEA (2017), cerca de 30% a 40% dos RSU podem ser reaproveitados e/ou reciclados, porém, apenas 13% desses resíduos são encaminhados para a reciclagem, sendo recuperados 42,6% dos papéis, 27,4% dos plásticos, 12,3% dos metais e 8,7% dos vidros, de acordo com o SNIS (2016).

Já a reciclagem de matéria orgânica via compostagem ainda é muito incipiente no país, representando apenas 0,29% dos resíduos domésticos e públicos coletados (SNIS, 2016).

A etapa mais impactante em relação a geração de GEE no setor de RSU é a disposição final, seja em lixões a céu aberto, seja em aterros sem captação de gás e sem desvio ou pré-tratamento da fração orgânica.

Desde a década de 1990, vem ocorrendo uma melhoria significativa da disposição final. Inicialmente, 95% dos resíduos iam para lixões, com decaimento para a faixa de 38% em 2008 (JUCÁ et al, 2014). A Figura 11 apresenta a evolução da destinação final no Brasil de 2008 a 2016. De 2008 até 2016, observa-se uma quase estagnação na quantidade de resíduos depositados de forma adequada. Em 2016, aproximadamente 26% dos resíduos ainda eram destinados para aterros controlados e lixões, o que significou uma melhoria de aproximadamente 9% em 9 anos.

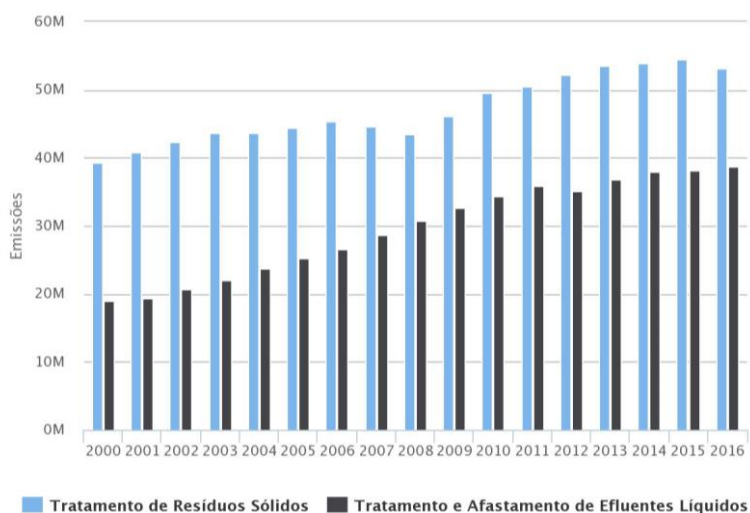


Fonte: Adaptado de SNIS (2016).

Figura 11. Destinação final no Brasil (2008-2016).

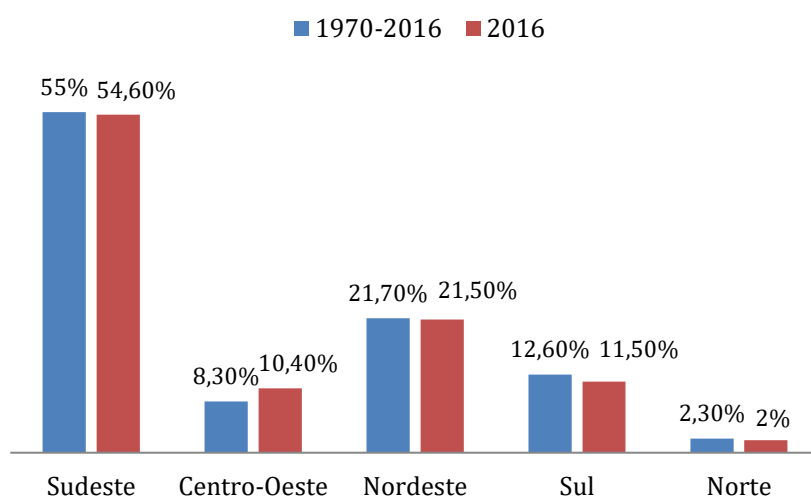
O desvio expressivo dos resíduos com potencial de geração de metano da disposição final poderia ocorrer através da compostagem ou da digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos e, neste caso, a produção de biogás para fins energéticos. Para ambas as formas de tratamento, uma coleta seletiva da fração orgânica é primordial para a obtenção de produtos de qualidade. Outra alternativa consiste no pré-tratamento da fração mista de RSU, através do tratamento mecânico-biológico (TMB), visando à bioestabilização da matéria orgânica por processos aeróbios acelerados, resultando em um menor volume e menor potencial de geração de metano e lixiviados na disposição final.

Estudos do ICLEI (2018) baseados na fração orgânica degradável dos resíduos, juntamente com o tipo de disposição final, permitiram a avaliação das emissões de metano no período entre 1970 e 2016. Estas informações estão apresentadas na Figura 13, salientando-se que os estados que mais emitiram GEE estão localizados na Região Sudeste: São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, que contribuem com 29%, 11% e 10%, respectivamente.



Fonte: SEEG (2018).

Figura 12. Emissões de gases de efeito estufa pelo setor de resíduos (2000–2016).



Fonte: Observatório do Clima (2018).

Figura 13. Contribuição regional no total de emissões de gases de efeito estufa.



Em relação ao aproveitamento energético, segundo Aracelli et al. (2017), existem 15 usinas de recuperação energética do biogás de aterro sanitário, com potencial de 117,76 MW. Desse total, sete usinas encontram-se em São Paulo, com potencial de 70,32 MW, representando 60% do total de energia gerada pelo biogás. Como exemplo, pode-se citar a Termoverde Caieiras com 29,5 MW, a São João, em São Paulo, com 24,64 MW de potência instalada; a Estre com 5,7 MW, em Guatapar; a Bandeirantes, em São Paulo, com 4,6 MW; a Tecipar, em Santana de Parnaíba, com 4,3 MW; a Ambient, em Ribeirão Preto, com 1,5 MW e; a Energ-Biog de 30 kW, em Barueri. O aproveitamento energético de RSU promove, além da gerao de energia, a reduo da emissão de GEE, que potencialmente pode gerar créditos de carbono.

Além disso, 17 dos 27 estados brasileiros já possuem lei sancionada ou projeto de lei de política estadual de mudanças climáticas. Este aparato define estruturas de governança, planos e instrumentos para o alcance dos objetivos estabelecidos em lei. São comuns  maior parte das leis estaduais já promulgadas as determinao de adoo de práticas de mitigao de GEE nos diferentes setores econômicos, a instituio de mecanismos de adaptao às mudanças climáticas, considerando as vulnerabilidades da região, e o incentivo  criao de mecanismos de mercado e ao desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono. Com exceo da Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (PEMC) de Goiás (2009), todas as leis estaduais abordam de forma direta o setor de resíduos sólidos, seja estabelecendo como diretrizes e objetivos das políticas o consumo e a produo sustentáveis, a reduo da gerao de resíduos sólidos, o reuso e a reciclagem de materiais, o aproveitamento energético de biodigestores e aterros sanitários, seja pela provisão de elaborao de planos de gestão integrada e planos setoriais de mitigao e adaptao às mudanças climáticas. Até o momento, apenas os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Paraíba têm metas definidas de reduo dos GEE, sem, entretanto, considerar o setor específico onde seriam alcançadas as reduo.

## **2.1 Potencial de mitigao de gases de efeito estufa do setor de resíduos sólidos urbanos**

A responsabilidade pela coordenao da implementao da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)  atribuída ao Ministério da Ciência e Tecnologia, Inovao e Comunicao (MCTIC), a quem também compete a publicao anual do Inventário Nacional de Emissões Antrópicas e Remooes por Sumidouro de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal. O inventário  disponibilizado no Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), nos termos do Decreto n 9.172, de 17 de outubro de 2017. O SIRENE também armazena outras iniciativas de contabilizao de emissões, tais como as estimativas anuais de emissões de GEE, que servem como parâmetro para a tomada de decisão governamental.

O Decreto n 7.390, de 9 de dezembro de 2010, que regulamenta a PNMC, prevê a elaborao de planos setoriais com a inclusão de aoes, indicadores e metas específicas de reduo de emissões. Apesar de não haver uma obrigatoriedade na elaborao de um plano exclusivo para o setor de resíduos, o decreto as apresenta juntamente com as emissões do setor de indústrias de transformao.

O Plano Setorial de Mitigao e Adaptao  Mudança do Clima para a consolidao de uma economia de baixo carbono na indústria de transformao apresenta uma meta de reduo de 308,16 MtCO<sub>2</sub>e até 2020, considerando as indústrias do alumínio, cal, cimento, ferro-gusa e

ação, papel e celulose, química e vidro, os quais respondem por 90% das emissões do setor. Como eixo estratégico para o cumprimento das metas de redução, destaca-se o aumento da reciclagem e o aproveitamento de coprodutos, reforçando a necessidade de integração entre as Políticas Nacionais de Mudança do Clima e a de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2013).

Para alcançar as metas, devem ser realizados estudos e avaliação de barreiras regulatórias sobre o processamento de resíduos sólidos industriais e urbanos, com propostas de alteração do marco regulatório, se necessário, tratamento tributário diferenciado para produtos reciclados, bem como bolsas de resíduos, ou seja, instrumentos regulatórios e econômicos fundamentais para o aumento de reciclagem e aproveitamento de coprodutos. Contudo, tais atividades ainda não foram concretizadas (BRASIL, 2008).

A NDC brasileira estabelece o compromisso de reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e apresenta o indicativo de redução de 43% até 2030, considerando os níveis de 2005, equivalendo a um teto de emissões de 1.300 e 1.200 MtCO<sub>2</sub>e em 2025 e 2030, respectivamente (MCTIC, 2017). Esta meta é válida para todo o território nacional e prevê a redução das emissões de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, perfluorcarbonos, hidrofluorcarbonos e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>). Para alcançar tais metas, o país deveria se basear no desenvolvimento de novas políticas públicas, tendo como referência o Plano Nacional de Adaptação (PNA), que está em fase final de elaboração.

Visando auxiliar o cumprimento das metas da NDC, o MCTIC publicou um estudo sobre as Trajetórias de Mitigação e Instrumentos de Políticas Públicas para o Alcance das Metas Brasileiras no Acordo de Paris, considerando setores-chave do país e utilizando cenários de baixo carbono e com inovação (BC+I), com a incorporação de efeitos de curvas de aprendizagem sobre os potenciais e custos de abatimento. Entre os setores analisados, o de gestão de resíduos sólidos envolve a gestão de RSU e o tratamento de efluentes e de resíduos do setor agropecuário. No que se refere à gestão de RSU, foram consideradas as opções: i) degradação de biogás de aterro com *flare*; ii) aproveitamento do biogás de aterro para geração de energia elétrica; iii) aproveitamento de biogás de aterro para produção de biometano; iv) difusão da biodigestão da fração orgânica de RSU e geração de eletricidade; v) difusão da biodigestão da fração orgânica de RSU e produção de biometano; vi) compostagem da fração orgânica de RSU; vii) incineração de RSU com aproveitamento energético.

O estudo demonstrou a viabilidade econômica e técnica da utilização das tecnologias consideradas, principalmente do aproveitamento do biogás dos aterros sanitários e da biodigestão anaeróbia com evidente potencial de redução de emissões. Foram identificados, entretanto, entraves institucionais e regulatórios à adoção das tecnologias em larga escala, destacando-se a necessidade de se instituir mecanismos que garantam o cumprimento das diretrizes da PNRS e o estabelecimento de “metas e condições de contorno mais rígidas, em particular para o aproveitamento energético de biogás em aterros” (MCTIC, 2017).

Além disso, o estudo apontou que as maiores barreiras técnicas, mercadológicas, econômicas, institucionais, culturais e de capacitação recaem sobre a incineração de RSU, com aproveitamento energético, barreiras estas que são interdependentes e têm impedido a adoção da tecnologia no país.

A respeito do aproveitamento energético dos resíduos, o estudo do MCTIC (2017) demonstrou que a ampliação da adoção de atividades de baixo carbono no sistema energético contribuiria com a redução de emissões de cerca de 60,4 MtCO<sub>2</sub>e em 2025 e 211,1 MtCO<sub>2</sub>e em 2030. Tais atividades contemplam, entre outros, eficiência energética, cogeração de energia e



aproveitamento de biogás, sendo os setores energéticos de gestão de resíduos e da indústria os que apresentam os potenciais mais relevantes.

Diante das análises realizadas, o MCTIC (2017) apontou alguns instrumentos de políticas públicas para o cumprimento da meta da NDC brasileira em 2025 (englobando a regulamentação do biogás proveniente de RSU e efluentes) e 2030 – apontando a necessidade da criação e ampliação de linhas de crédito para investimento em fontes renováveis e eficiência energética e o condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados e municípios à implementação de contrapartida de gestão de baixo carbono nos RSU.

Foi realizado um estudo preliminar pelo projeto de cooperação Brasil-Alemanha de proteção do clima na gestão de resíduos sólidos urbanos - ProteGEEr, visando estimar o cenário de cumprimento das metas da NDC brasileira pelo setor de resíduos sólidos urbanos. O inventário de emissões de GEE no setor de tratamento e disposição final de RSU no Brasil desenvolvidos por Methanum (2018) para atender as metas do Acordo de Paris, identificou as seguintes metas quantitativas a serem alcançadas:

- redução de 25% de todo o orgânico destinado ao aterramento entre 2020 e 2025.
- redução de 21,15% de secos encaminhados ao aterramento entre 2020 e 2025.
- recuperação de 51% de todo o metano gerado até 2025, chegando a 62,10% em 2030.

Este estudo preliminar ainda será aprofundado visando à quantificação do custo de abatimento para o cumprimento do Acordo de Paris por meio da contribuição do setor de RSU.

O cumprimento das metas de mitigação de emissões estabelecidas pela NDC brasileira demandam significativos esforços no setor de resíduos sólidos urbanos, principalmente por contabilizarem, exclusivamente, as emissões atreladas à disposição final dos resíduos, e não consideram uma visão holística do ciclo de vida do produto, sob a ótica da economia circular. Entretanto, esta é uma característica da metodologia de quantificação adotada (IPCC 2006), compartilhada internacionalmente.

Ainda em relação às características da metodologia de quantificação, é importante lembrar que, segundo as premissas do IPCC, a geração de metano possui um comportamento gradativo e cumulativo ao longo do tempo, intrínseco às emissões registradas e reportadas via IPCC. Isso implica que além da redução líquida de emissões entre os anos base e inventariado, é preciso reduzir as emissões incrementais acumuladas ao longo dos anos, já que um resíduo aterrado hoje, gera emissões no ano presente e anos futuros, devido a sua fração que ainda não degradou por completo. E assim sucessivamente. Desta forma, ao mantermos um padrão de aterramento, ainda que seja significativamente reduzido, somam-se as emissões de anos anteriores de resíduos já aterrados, e que seguem emitindo metano por pelo menos duas décadas.

Por este motivo, a recuperação de metano é uma importante ação com efeito à curto prazo, por mitigar emissões de maneira imediata (posterior ano em que foi reportada a remoção), desde que o processo seja adequadamente monitorado e reportado. Esta situação justifica esforços por parte do Governo Federal em estabelecer instrumentos para regulação, financiamento das ações, transparência e monitoramento dos progressos obtidos no setor, tornando-os passíveis de contabilização nos inventários e comunicação nacional. Entretanto, é importante enfatizar que, isoladamente, a recuperação de metano não é capaz de conduzir o setor ao cumprimento das metas do Acordo de Paris.

Por outro lado, as medidas de recuperação de metano devem ser acompanhadas de ações de médio prazo, visando mitigar a geração de metano. Caso contrário, os esforços de recuperação terão efeito à curto prazo mas voltarão a subir devido ao caráter incremental e cumulativo das emissões. Neste sentido, os efeitos da redução do aterramento de orgânicos se mostrou mais significativo, devido às condições e degradabilidade e emissões potenciais intrínsecas a este tipo de material (restos alimentares em geral), e que representam 50% de todo o RSU gerado no país.

A integração de políticas é fundamental, a fim de equilibrar a relação de custo-benefício das ações no setor em prol da agenda do clima, como investimento e regulações voltadas para a captura e queima de metano em aterros existentes, associadas à obrigatoriedade deste processo em novas instalações, incluindo o monitoramento e reporte da eficiência dos sistemas.

### 3. Propostas de ação e estratégias

O cumprimento das metas de redução das emissões de GEE requer o estabelecimento de políticas públicas que permitam alcançar os objetivos dentro de um horizonte de tempo definido, com a máxima eficiência e efetividade. A primeira constatação é a necessidade de encerramento dos lixões, causadores de emissões sem controle para o ambiente e degradação paisagística, ambiental e social. Isso deve ser feito após a construção de aterros sanitários que os substituam, sempre que possível em consórcio de municípios, e a adoção de soluções isoladas compatíveis, como as valas sanitárias, ou aterros de pequeno porte, quando não for possível o consorciamento. Para os pequenos municípios – há mais de 3.300 cidades com menos de 15 mil habitantes no Brasil –, propõe-se a implantação da coleta seletiva de secos e úmidos, investindo na educação ambiental, sensibilização e capacitação dos agentes locais de modo a reduzir as necessidades de aterro.

De um modo geral, as estratégias que visam a implementação efetiva da hierarquia de gestão de RSU apresentada na PNRS também apresentam potencial de contribuição direto para a redução das emissões de GEE e devem ser objetivos a serem alcançados pelo setor. Com base nisso, são discutidas como algumas estratégias de gestão de RSU contribuem para a redução das emissões de GEE:

- **Redução/Não geração:** A redução da geração, de forma qualitativa ou quantitativa, é o que mais contribui para a redução das emissões de GEE, ou seja, sem a presença de resíduos ou quanto maior for sua redução, menores as emissões.
- **Reutilização:** estender o tempo de uso de um produto/material, conseguir retrabalhá-lo para continuar tendo função/utilidade, é mais uma prioridade para a redução das emissões de GEE.
- **Reciclagem:** A reciclagem de secos, como papel, papelão, alumínio, plástico etc, evita a necessidade de exploração de matérias primas e gastos energéticos com sua produção a partir de fontes primárias. A reciclagem da fração orgânica pela compostagem ou pela digestão anaeróbia tem grande contribuição para a mitigação das emissões de GEE. Para facilitar seu manejo e a qualidade do produto final (composto), recomenda-se a separação dos resíduos na fonte. Isso aumenta consideravelmente o potencial de reciclagem de ambas as frações.

- **Recuperação energética:** se trata da recuperação energética de frações de resíduos com elevado poder calorífico (>11.000MJ/Mg), por meio da incineração ou do seu uso como combustível para indústria de cimento, no co-processamento.
- **Tratamento prévio antes do aterramento:** esta é uma contribuição significativa para a redução das emissões, pois garantiria que todo o resíduo biodegradável seja estabilizado antes de ser enviado para o aterro sanitário, reduzindo a geração de gases e de chorume. Neste processo também há uma separação dos recicláveis e sua recuperação energética, pois parte-se do suposto de que este reciclável já não tem valor de mercado para os catadores, pois encontra-se misturado e sujo.

Linhas de ação progressivas e prioritárias visando o horizonte de implementação do Plansab para 2023 e 2033, focadas na melhoria da infraestrutura e de rotas tecnológicas para tratamento de resíduos.

Tabela 2. Linhas de ação para mitigação de emissões no setor de RSU no horizonte 2033 e exemplos de avanços necessários para êxito das iniciativas

<p><b>Encerramento e remediação dos lixões</b></p>	<p>Para cumprimento das metas da PNRS e do Plansab, investimentos devem ser direcionados e soluções tecnológicas implementadas para encerramento e remediação dos lixões do país, reinserindo os catadores no mercado de recicláveis.</p>
<p><b>Recuperação de metano de aterros sanitários</b></p>	<p>De acordo com o porte do aterros sanitários, existentes e novos, devem ser incorporadas metas progressivas de captura e destruição ou aproveitamento energético do metano gerado. A incorporação de mecanismos de comercialização de créditos de carbono é essencial para viabilidade financeira desta iniciativa e está atrelada a mecanismos financeiros internacionais do clima.</p>
<p><b>Aumento substancial da abrangência e eficiência da coleta seletiva em três frações: secos, orgânicos e rejeitos</b></p>	<p>A introdução de sistemas de coleta seletiva em três frações é estratégica para a consolidação de rotas tecnológicas mais eficientes e que desviem, o máximo possível, os rejeitos de aterros sanitários. Programas de educação ambiental e fomento a tarifas diferenciadas em decorrência da segregação na fonte são exemplos de mecanismos de política pública.</p>
<p><b>Desvio de resíduos orgânicos de aterros</b></p>	<p>A valorização da fração orgânica dos RSU implica na implantação de unidades de separação mecânica e tratamentos biológicos (plantas de TM/TMB), efetividade da coleta seletiva de orgânico, aplicação crescente das tecnologias de compostagem e biodigestão anaeróbia, fortalecimento do mercado de composto e de geração de energia renovável</p>

<p><b>Aumento da taxa de reciclagem de resíduos secos</b></p>	<p>De acordo com as vocações regionais, fortalecer o uso dos recicláveis secos como matéria-prima secundária na indústria da reciclagem ou de reuso, por meio de acordos setoriais, articulação com indústrias e cooperativas/associações de reciclagem, mecanismos de incentivo financeiro e metas de valorização presentes em instrumentos legais.</p>
<p><b>Recuperação energética de rejeitos para geração de combustível derivado de resíduos</b></p>	<p>De acordo com o potencial de absorção da indústria cimenteira e sua distância ao centro gerador de resíduos, implantar unidades de preparação de CDR, priorizando a inserção dos catadores de materiais recicláveis.</p>

As linhas de ação citadas na Tabela 2 devem ser implementadas no horizonte do Plansab, de forma conjunta e paralela, sendo todas relevantes para avanços significativos na gestão de resíduos sólidos urbanos e para a redução dos impactos das mudanças climáticas nas cidades.

#### **Medidas transversais**

- Educação e sensibilização ambiental: as ações de educação ambiental e sensibilização da população configuram um processo formativo essencial ao desenvolvimento de uma sociedade consciente sobre os temas associados à proteção do meio ambiente. Desse modo, é indispensável o estabelecimento de ações de sensibilização relacionadas às questões ambientais, à geração, à separação e ao tratamento dos resíduos sólidos e ao combate às mudanças climáticas.  
Torna-se relevante a formação de multiplicadores na área ambiental em todos os estados e municípios de forma a envolver toda a sociedade no processo de melhoria da gestão de RSU.
- Implantação da cobrança pela prestação dos serviços de manejo de resíduos
- Fortalecimento das capacidades técnicas dos municípios e consórcios para planejamento, monitoramento e avaliação de desempenho da prestação de serviços
- Fortalecimento de marcos regulatórios que incentivem o mercado de resíduos segundo vocação regional
- Atração de recursos internacionais climáticos que gerem oportunidade para novos modelos de negócios em resíduos
- Ampliação de oportunidades de financiamento para projetos de manejo de resíduos
- Fortalecimento de modelos e arranjos institucionais de concessão, visando o ganho de escala e aumento da viabilidade econômica de novas rotas tecnológicas

## Considerações Finais

O enfrentamento das mudanças climáticas tem requerido contínua atenção das nações signatárias no sentido de reduzir as emissões globais antropogênicas de GEE. Na última COP 24, realizada em dezembro de 2018 na Polônia, foram definidas regras que entrarão em vigor a partir de 2020 e permitirão a implementação do Acordo de Paris por todos os países signatários. Todas as nações, incluindo os países em desenvolvimento, devem detalhar seus esforços para a redução de emissões. São estes países em desenvolvimento ou emergentes os mais vulneráveis às mudanças climáticas, primeiro por sua dificuldade natural de responder a estas mudanças e segundo por sua economia estar calcada no uso intensivo de recursos naturais.

O Brasil é um país com intensa vulnerabilidade social e urbana e fortemente dependente de recursos naturais. O país, que tem sido uma nação atuante nas negociações para a mitigação das mudanças climáticas em nível regional e global, depositou sua NDC em 2016, estabelecendo metas de redução de emissão de GEE para diversos setores economia, mas ainda não entregou nenhum plano para implementação de acordo com o Observatório do Clima (2018).

Dentro desta perspectiva, discutiu-se, no presente caderno, como o setor de RSU poderia contribuir para esta redução, apesar de não ser citado nas metas da NDC. Mesmo o setor representando apenas 4% das emissões nacionais de GEE, entende-se que a promoção da economia circular na gestão de RSU impacta consideravelmente na redução das emissões ao mesmo tempo em que contribui para o cumprimento das metas estabelecidas pelo Plansab relativas à melhoria dos sistemas de saneamento básico e pela PNRS, relativa à melhoria da gestão de resíduos sólidos.

O estabelecimento de metas para a gestão de resíduos, tal como para muitas outras atividades, é sempre um exercício político, tendo em conta os desígnios que o país pretende trilhar num dado período, aqui considerado até 2033, iniciando o primeiro período de implementação até 2023, para efeitos de melhor acompanhar e monitorar a implementação das medidas e o cumprimento das metas.

Observa-se que as emissões de metano nos aterros sanitários são o principal contribuinte para as emissões de GEE no setor de resíduos sólidos até o momento, e que a metodologia de estimativa internacional de quantificação das emissões do IPCC (2006) demonstra que:

- o modelo IPCC (2006) para a disposição final em aterros e lixões gera um residual de emissões em anos posteriores, isto é, mesmo fechados, os lixões continuam a produzir emissões nos anos posteriores em quantidades relevantes, diferentemente do que acontece em outras práticas/tecnologias, como valorização de orgânicos para compostagem e valorização de rejeitos para CDR. Isso demonstra também que, mesmo reduzindo significativamente a quantidade resíduos encaminhada para aterros, os resíduos depositados anteriormente continuam a produzir emissões, e essa redução de emissões se dá de forma gradativa nos anos posteriores, e não imediatista;
- o fechamento dos lixões e a abertura de novos aterros sanitários, em geral, proporcionam o aumento de emissões, visto que a anaerobiose (que resulta na produção de metano) é maior em aterros sanitários que em lixões. Estima-se que as emissões de GEE poderiam aumentar em mais de 25% (Documento interno ProteGEEr, 2018). Adicionalmente, as emissões evitadas em lixões são baixíssimas ou

irrelevantes quando comparadas às emissões evitadas em aterros sanitários – a depender do manejo do metano captado.

Como horizonte de investimentos no setor de resíduos que considere a proteção climática, conclui-se que:

- O estabelecimento de novos aterros sanitários baseados na PNRS deve acontecer tendo como requisito a implementação de sistemas de captação de gás eficientes que garantam a destruição do metano.
- A destruição do metano pode ser feita por flares com sistemas de queima de metano ou usando a energia contida no metano para produzir eletricidade ou calor. O maior benefício da redução de GEE pode ser alcançado utilizando o metano do aterro de forma que substitua a energia gerada pelos combustíveis fósseis. A análise de viabilidade para a geração de eletricidade varia com a demanda de energia local, tamanho do aterro e sua vida útil, produção de biogás etc., e pode se tornar mais atrativo para investimentos internacionais de clima quando a fonte de energia da planta é fóssil;
- A reciclagem de resíduos orgânicos, pela compostagem ou digestão anaeróbia, tem uma dupla vantagem. De um lado, ocorre o desvio dos resíduos do aterro sanitário, reduzindo os materiais biodegradáveis que produzem metano sob condições anaeróbias. De outro lado, a reciclagem desses resíduos produzirá produtos como o composto ou energia a partir do biogás. Isso gerará benefícios de redução de GEE pela substituição da extração e processamento da matéria-prima como, por exemplo, fertilizante ou energia baseada em fósseis;
- O mesmo princípio se aplica a todos os tipos de reciclagem dos resíduos secos. A reciclagem dos resíduos irá evitar a produção de matéria-prima. Normalmente, a extração e o refino de matérias-primas para a produção de metais, vidro, papel e plásticos estão associados a maiores emissões de GEE do que a produção do respectivo material reciclado. Assim, pode-se concluir que quanto maiores as taxas de reciclagem, maiores serão as reduções de GEE;
- Acredita-se que a recuperação energética dos resíduos tenha um papel importante a médio prazo. O co-processamento na indústria cimenteira é uma tendência mundial crescente que oferece importantes benefícios para o setor de RSU e para a mitigação de suas emissões, por desviar um fluxo significativo de resíduos do aterro sanitário, bem como pela substituição de combustíveis fósseis para a geração de energia.

Para que os benefícios das ações de gestão integrada dos resíduos se reflita integralmente nas quantificações das emissões do setor, é importante considerar ferramentas baseadas na Análise do Ciclo de Vida. No caso de quantificações embasadas no modelo IPCC, é importante lembrar que os benefícios da mitigação de GEE estarão distribuídos entre os setores de resíduos, transportes, energia e indústria, conforme ações adotadas e seus reflexos nestes segmentos.

Apesar de não haver obrigatoriedade do setor de resíduos estabelecidas pela NDC, que discute ações possíveis e desejáveis buscando o cumprimento da meta, o compromisso do setor em direcionar suas ações e monitorar seus resultados também em termos de emissões, representa um importante passo na melhoria da qualidade de vida nas cidades e no combate à

mudança climática e vulnerabilidade das cidades. É fundamental que os diferentes setores façam sua parte para que a meta seja cumprida, em particular aqueles mais intensivos em emissões.

Por outro lado, de forma mais pragmática, quando avaliamos as políticas de resíduos sob uma ótica de transversalidade, reconhecemos seu papel não somente no âmbito das mudanças climáticas, mas na busca por metas globais de saneamento, energia acessível e limpa, inovação e infraestrutura, cidades sustentáveis, produção e consumo responsáveis – todos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). A perspectiva de políticas mais amplas e integradas abre novos caminhos, rumo a uma economia pautada na circularidade e no baixo carbono.

## Referências Bibliográficas

ABRELPE. Estimativas dos custos para viabilizar a universalização da destinação adequada de resíduos sólidos no Brasil. São Paulo, 2015.

ARACELLI, L. et al. Análise da recuperação energética do biogás de aterros sanitários. *InterfacEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 12, n. 1, p. 68-81, 2017.

BOGNER, Jean et al. Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report. Working Group III (Mitigation). *Waste Management & Research*, v. 26, n. 1, p. 11-32, 2008.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Estimativas anuais de gases de efeito estufa. 2014.

\_\_\_\_\_. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 4. ed. 2017.

\_\_\_\_\_. Terceiro inventário de gases de efeito estufa. 2017.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação. Brasília, 2013.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. Brasília, 2016. (Volume 2: Estratégias Setoriais e Temáticas: Portaria MMA nº 150, de 10 de maio de 2016).

\_\_\_\_\_. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, setembro de 2011. (Versão Preliminar para Consulta Pública).

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências.

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências.



\_\_\_\_\_. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. In: SENADO FEDERAL. Legislação republicana brasileira. Brasília, 2010a.

CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD (CARB) . Staff Report: Initial Statement of Reasons for Proposed Rulemaking, Public Hearing to Consider the “LEV III” Amendments to the California Greenhouse Gas and Criteria Pollutant Exhaust and Evaporative Emission Standards and Test Procedures and to the On-Board Diagnostic System Requirements for Passenger Cars, Light-Duty Trucks, and Medium-Duty Vehicles, and to the Evaporative Emission Requirements for Heavy-Duty Vehicles. Appendix U. California, 2011.

CENTER FOR CLEAN AIR POLICY (CCAP). Policy report: promoting net-zero emissions from the waste sector in Latin America through namas. 2014.

CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE; ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS DA FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Análise de competências legais nos três níveis da federação no tema adaptação. São Paulo, 2014.

Circle Economy. Circularity Gap Report. Disponível em: <http://ircle-economy.com/the-circularity-gap-report-our-world-is-only-9-circular/#.XEI3JlxKhPY> . Acesso em: 23 de agosto de 2018.

CURRAN, M.A. Life cycle assessment: principles and practice. National Research Management Laboratory, United States Environmental Protection Agency, 2006.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Plano decenal de expansão de energia 2020. Brasília: MME/EPE, 2011.

EPA. U.S. Inventory of greenhouse gas emissions and sinks – 1990-2016. Washington, D.C., 2018.

EUROPEAN COMMISSION. Life cycle indicators framework: development of life cycle based macro-level monitoring indicators for resources, products and waste for the EU-27. Luxemburgo: European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, 2012.

EUROSTAT. Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method. Luxemburgo, 2018. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/municipal-waste-generation-and-treatment-by-treatment-method>. Acesso em: 23 de Agosto de 2018.

GIZ. Sectoral implementation of nationally determined contributions – Circular Economy and Solid Waste Management. Bonn, 2017.

HOLLINS, O. et al. Towards a circular economy–Waste management in the EU. Science and Technology Option. v. 5. Bruxelas, 2017. Disponível em: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/581913/EPRS\\_STU\(2017\)](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/581913/EPRS_STU(2017)) . Acesso em: 04 de janeiro de 2019.

HUTTON, B.; HORAN, E.; NORRISH, M. CO<sub>2</sub>-E emissions from best practice landfill versus compost. In: CARPENTER, M.; SHELTON, E. J. (ed.). Carbon dioxide emissions: new research. United States: Nova Science, 2013. p. 49-59.

ICLEI-BRASIL, MDIC. Emissões do setor de resíduos. Observatório do Clima, 2017. Disponível em: [seeg.eco.br/wp-content/uploads/2017/08/Relatorios-Seeg-2017-Residuos-v6.pdf](http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2017/08/Relatorios-Seeg-2017-Residuos-v6.pdf). Acesso em: 03 de Agosto de 2018

ICLEI-BRASIL, MDIC. Emissões do setor de resíduos. Observatório do Clima, 2018. <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/06/Relatorios-SEEG-2018-Residuos-FINAL-v2.pdf> . Acesso em 02 de janeiro de 2019.

\_\_\_\_\_. Relatório técnico dos estudos sobre a pegada de carbono: documento impresso e digital e do serviço de impressão. São Paulo, 2015.

INDIA. Ministry of Environment, Forest and Climate Change. India First Biennial Update Report to the United Nations Framework Convention on Climate Change. New Delhi, 2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. Kanagawa, 2001.

\_\_\_\_\_. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2013.

\_\_\_\_\_. Climate change 2014: mitigation of climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_frontmatter.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_frontmatter.pdf). Acesso em: 04 de Janeiro de 2019.

\_\_\_\_\_. Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, v. 1454. New York, 2014.

\_\_\_\_\_. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Japan, 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>. Acesso em: 23 de Setembro de 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos: relatório de pesquisa. Brasília, 2012.

\_\_\_\_\_. Organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária. Brasília, 2017.

ISHIGAKI, T. et al. Greenhouse gas emission from solid waste disposal sites in Asia. In: KUMAR, Sunil (ed.). Integrated waste management. Shangai; InTech, 2011. v. 2, p.461-472.

JUCÁ, J. F. T. et al. Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Projeto BNDES/FADE/GRS-UFPE. Recife, 2014.

LACY, P.; RUTQVIST, J. Waste to wealth: the circular economy advantage. Hampshire: Palgrave Macmillan, 2015.

LIMA, E. Embrapa oferece treinamento em avaliação de ciclo de vida. Informativo Embrapa Meio Ambiente, 24 out. 2013. Disponível em: <http://goo.gl/fO5I1W>. Acesso em: 5 maio 2018.

MAGRINI, A. Política e gestão ambiental: conceitos e instrumentos. Revista Brasileira de Energia, v. 8, n. 2, 2004.

MCDUGALL, F. R. et al. Integrated solid waste management: a life cycle inventory. 2. ed. Oxford: Blackwell Science, 2001.

MERSONI, C.; REICHERT, G. A. Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi, RS. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 5, p. 863-875, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017150351>. Acesso em: 28 ago. 2018.

METHANUM. Relatório de quantificação das emissões de GEE no setor de resíduos sólidos urbanos e perspectivas de alinhamento das políticas de clima e de gestão de resíduos no Brasil. Belo Horizonte, 2018.

Ramanathan V, Testimony for the hearing on black carbon and climate change. U.S. House Committee on Oversight and Government Reform Disponível em: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CHRG-110hhr45164/html/CHRG-110hhr45164.htm> . Acesso em 23 de janeiro de 2018.

RAMANATHAN, V; CARMICHAEL, G. Global and regional climate changes due to black carbon. Nature Geoscience, v. 1, n. 4, p. 221, 2008.

RIBEIRO, S. K.; SANTOS, A. S. (Eds.). Mudanças climáticas e cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: COPPE, 2016.

REICHERT, G. A. Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre. 301 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

RODRIGUES FILHO, S. et al. O clima em transe: políticas de mitigação e adaptação no Brasil. Revista Brasileira de Climatologia, v. 12, n. 19, 2016.

SANTELLA, S. T. et al. Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira. Fortaleza: UFC/LABOMAR/NAVE, 2014.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos 2016. Brasília, 2018.

TURNER, D. A.; WILLIAMS, I. D.; KEMP, S. Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making. *Journal of Cleaner Production*, v. 129, p. 234-248, 2016.

SCHEINBERG, A., WILSON, D. C., RODIC-WIERSMA, L. Solid waste management in the world's cities - water and sanitation in the World's Cities 2010 (3. ed.). London: Earthscan for UN-HABITAT, 2010.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Life cycle management: a business guide to sustainability. 2007.

\_\_\_\_\_. Waste and climate change: global trends and strategy framework. 2010. Disponível em: <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8648>. Acesso em: 23 de setembro de 2018.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP); INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION (ISWA). Global Waste Management Outlook. Viena, 2015.

WOLF, M. National LCA databases: status and ways towards interoperability. Berlin: Maki Consulting, 2014.

WORLD BANK. Integrated Solid Waste Management and Carbon Finance Project. Report. No. 123798. 2018. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/en/395271521557013485/pdf/123798-PPAR-P106702-P124663-P164310-PUBLIC.pdf>. Acesso em: 23 de setembro de 2018.

World Resources Institute (WRI). World's Greenhouse Gas Emissions. Disponível em: <https://www.wri.org/blog/2017/04/interactive-chart-explains-worlds-top-10-emitters-and-how-theyve-changed> Acesso em: 04/12/2018