

Projeto Decarboost

Viabilização de investimentos na transição para uma sociedade
de baixo carbono em países latino-americanos

Iniciativa Internacional do Clima – IKI

**Uma Estratégia de Descarbonização para
uma Economia Brasileira de Zero Carbono Líquido em 2050:
Instrumentos de Política e Planos Setoriais de Mitigação**

Parte I. Sumário Executivo

Parte III. Plano de Mitigação do Setor de Resíduos

Centro Clima / COPPE / UFRJ

Rio de Janeiro, 28 de fevereiro de 2023

Supported by:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

based on a decision of the German Bundestag

On behalf of:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

of the Federal Republic of Germany

Elaborado pela Equipe do Projeto Centro Clima / COPPE / UFRJ

Emilio Lèbre La Rovere – Diretor de Projeto

Carolina B. S. Dubeux – Coordenador setorial

William Wills – Finanças

Michele Cotta Walter, Carolina Dubeux & Giovanna Napolini – AFOLU

Marcio D'Agosto, Daniel Schmitz & George V. Goes – Transporte

Otto Hebeda, Bruna S. Guimarães & Luciana Contador – Indústria

Bruna S. Guimarães, Lisandra G. Mateus & Fernanda Westin – Energia

Isabela Mancio Lima, Saulo Machado Loureiro & Carolina Dubeux – Resíduos

Ruth Carola Cruzado Mittrany – Gerente de Projetos

Carmen Brandão Reis – Apoio

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO DO ESTUDO	1
Parte I. SUMÁRIO EXECUTIVO.....	3
1. Introdução ao Contexto Brasileiro: Informações Básicas	4
1.1. Política Climática do Brasil e compromissos com a UNFCCC e o Acordo de Paris.....	4
1.2. Planos Setoriais Brasileiros de Mitigação.....	5
2. Construção de Cenários.....	6
2.1. Estória Qualitativa.....	6
2.2. Pressupostos Quantitativos.....	7
3. Metodologia de Modelagem.....	15
4. Ações de Mitigação, Metas e Marcos por Setor.....	19
5. Visão Geral das Barreiras, Instrumentos Políticos Seleccionados e Oportunidades de Investimento.....	32
5.1. Abordagem Metodológica.....	32
5.2. Critérios para a Seleção das Ações de Mitigação	34
5.2.1. Custos de Mitigação	34
5.2.2. Sinergias e Compromissos com os Objetivos Não Climáticos do País	36
6. Requisitos de Investimento e Facilitadores Financeiros.....	39
7. Referências.....	45
Parte III. PLANOS SETORIAIS DE MITIGAÇÃO.....	1
Plano de Mitigação do Setor de Resíduos	1
1. Apresentação do Setor	2
2. Objetivos	4
3. Ações de Mitigação.....	5
4. Instrumentos	11
5. Programas e Projetos.....	19
6. Referências.....	24
Apêndice 1 – Uso de Biometano – o Caso do Rio de Janeiro	26
Apêndice 2	29
A.2.1. Oportunidade de Investimento 1 – Coleta de Gás de Aterro e Destruição de Metano em <i>Flares</i> (Queimadores).....	29
A.2.2. Oportunidade de Investimento 2 – Produção de Biometano a partir de Resíduos Sólidos Urbanos e Substituição de Gás Natural por Biometano na Indústria.....	38

FIGURAS – Parte I

Figura 1.	Diagrama de modelagem integrada para cenários do Brasil	18
Figura 2.	Emissões de GEE sob os cenários de políticas atuais (CPS) e de descarbonização profunda (DDS) (Mt CO ₂ e)	30
Figura 3.	Emissões de GEE, CO ₂ e não-CO ₂ , nos cenários (Mt CO ₂ e)	30
Figura 4.	Emissões de GEE x População x PIB (2010 =1)	31
Figura 5.	Intensidade de emissões per capita e por PIB	31
Figura 6.	Curva de custo de abatimento marginal 2021-2030 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO ₂ e).....	35
Figura 7.	Curva de custo de abatimento marginal 2031-2040 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO ₂ e).....	35
Figura 8.	Curva de custo de abatimento marginal 2041-2050 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO ₂ e).....	36

FIGURAS - Parte III

Figura 1.	Trajetória das emissões do setor de resíduos até 2050 – CPS e DDS.....	10
Figura 2.	Unidades de disposição final por município, segundo dados do diagnóstico SNIS 2019	37

TABELAS – Parte I

Tabela 1.	Total de emissões brasileiras de GEE por setor, 2005-2050, nos cenários CPS (políticas atuais) e DDS (descarbonização profunda) (Mt CO ₂ e).....	20
Tabela 2.	Emissões evitadas cumulativas (CPS-DDS) por ações de mitigação, por década (Mt CO ₂ e)	21
Tabela 3.	Emissões evitadas cumulativas (CPS-DDS) por faixa de custo de ações de mitigação, por década (Mt CO ₂ e)	23
Tabela 4.	Principais resultados macroeconômicos dos cenários	24
Tabela 5.	Renda disponível das famílias por cenário e por classe de renda, 2015-2050	24
Tabela 6.	Sinergias com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS)	36
Tabela 7.	Requisitos adicionais de investimento em mitigação no DDS no Brasil em comparação com o CPS, por setor econômico, por década	43

TABELAS – Parte III

Tabela 1.	Pressupostos dos cenários de tratamento de resíduos sólidos	6
Tabela 2.	Pressupostos dos cenários de tratamento de águas residuais	8
Tabela 3.	Emissões do setor dos resíduos até 2050	10
Tabela 4.	Correlação entre as medidas, barreiras e instrumentos de política identificados no relatório "Visão Geral das Barreiras: Brasil"	12

APRESENTAÇÃO DO ESTUDO

Este relatório apresenta a proposta de uma estratégia de descarbonização para o Brasil, preparada no âmbito do Projeto DecarBoost "Viabilização de investimentos na transição para uma sociedade de baixo carbono em países da América Latina", coordenado pela SouthSouthNorth (SSN) e apoiado pela Iniciativa Internacional do Clima (IKI) do Ministério Federal do Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da República Federal da Alemanha.

Elaborada pelo Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (Centro Clima/COPPE/UFRJ), essa estratégia de descarbonização para a economia brasileira está alinhada ao objetivo geral do Acordo de Paris: chegar a emissões de GEE líquidas zero em 2050. Engloba ações de mitigação adicionais às políticas atuais, juntamente com as principais barreiras identificadas e os instrumentos mais relevantes que removeriam esses obstáculos. Estas barreiras, propostas políticas e alguns exemplos de oportunidades de investimento estão detalhados em cinco Planos Setoriais de Mitigação: AFOLU, Transportes, Indústria, Energia e Resíduos. A proposta de um sistema de precificação do carbono também é destacada como um facilitador fundamental dessa transição, como uma ferramenta de política econômica transversal que fornece um sinal ao mercado de um quadro estável de longo prazo para a descarbonização.

O caminho da transição baseia-se em exercícios de cenário anteriores realizados pelo Centro Clima com o envolvimento dos principais stakeholders, apresentando uma forte sinergia com o projeto Decarboost: o projeto DDP BIICS coordenado pelo IDDRI (La Rovere et al., 2021) e o projeto Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030, desenvolvido em colaboração com o Instituto Talanoa (Unterstell, La Rovere, et al. 2021). Os projetos desenvolveram dois cenários de emissão, um considerando políticas de mitigação em andamento e outro considerando ações adicionais de mitigação que levem a emissões líquidas zero até 2050. Esses cenários foram desenhados, avaliados e validados com a ajuda de especialistas técnicos representativos e lideranças políticas para propor uma NDC brasileira mais ambiciosa até 2030, em linha com o Acordo de Paris. Juntamente com o Decarboost - que melhorou significativamente a avaliação das barreiras ao cenário de descarbonização profunda (DDS) e respectivos instrumentos - estes projetos permitiram a seleção de ações de mitigação que compõem a estratégia de descarbonização apresentada neste relatório.

A Estratégia de Descarbonização pretende construir pontes entre investidores e recursos e contribuir para a transformação do mercado. Essa transformação pode ocorrer ampliando o nível de implantação das tecnologias disponíveis, destacando barreiras e a necessidade de instrumentos específicos. Além disso, as oportunidades de investimento ilustrativas selecionadas serão úteis para os agentes econômicos interessados na execução de projetos de mitigação e/ou na compensação das emissões, bem como valiosas para as instituições financeiras.

O Brasil ainda não entregou uma LTS/LEDS - Estratégia de Longo Prazo/Estratégia de Desenvolvimento de Baixas Emissões à UNFCCC, conforme solicitado a todos os signatários do Acordo de Paris. O presente relatório pretende dar uma contribuição para o debate que sua preparação enseja.

O relatório completo do estudo está organizado da seguinte forma:

- a primeira parte é um Sumário Executivo de todo o estudo, incluindo: algumas informações básicas sobre o contexto brasileiro; o desenho dos cenários; a metodologia de modelagem; ações de mitigação, metas e marcos para os cinco principais setores emissores de GEE da economia brasileira: AFOLU, Transportes, Indústria, Energia e Resíduos; a visão geral das barreiras às ações de mitigação, os instrumentos para os superá-las e as oportunidades de investimento ilustrativas em cada setor; e os requisitos de investimento para o cenário de descarbonização profunda.
- em sequência, é apresentada a proposta detalhada de um facilitador fundamental para alcançar uma meta em toda a economia de emissões líquidas zero de GEE até 2050: uma política de precificação do carbono.
- por fim, são propostos cinco planos setoriais de mitigação: Agricultura, Florestas e Uso do Solo (AFOLU), Transportes, Indústria, Oferta de Energia e Resíduos, detalhando as ações de mitigação, barreiras e instrumentos políticos para superá-los, e incluindo apêndices com propostas ilustrativas de instrumentos selecionados e oportunidades de investimento.

O presente documento inclui o Sumário Executivo do relatório completo (Parte I) e uma proposta de Plano de Mitigação do Setor de Resíduos (Parte III).

Parte I. SUMÁRIO EXECUTIVO

1. Introdução ao Contexto Brasileiro: Informações Básicas

1.1. Política Climática do Brasil e compromissos com a UNFCCC e o Acordo de Paris

O foco brasileiro nas mudanças climáticas teve início em 2007, quando o governo criou um comitê por meio do decreto federal 6.263 para elaborar um Plano Nacional de Mudança do Clima (Brasil, 2008). Esse comitê elaborou um documento no ano seguinte identificando medidas e oportunidades para mitigar as emissões de gases de efeito estufa no Brasil e medidas de adaptação aos impactos das mudanças climáticas (Brasil, 2008).

Os objetivos específicos do Plano são "(i) melhorar a eficiência de todos os setores econômicos; (ii) manter as energias renováveis em níveis elevados na matriz energética; (iii) estimular a participação dos biocombustíveis no sector dos transportes; (iv) alcançar o desmatamento ilegal zero; (v) eliminar a perda líquida de cobertura florestal; (vi) fortalecer ações voltadas para a redução da vulnerabilidade da população; e (vii) identificar os impactos ambientais causados pelas mudanças climáticas e promover a pesquisa científica (Brasil, 2008).

O Brasil assumiu seu primeiro compromisso de redução das emissões de GEE em 2009, ao apresentar suas NAMAs (sigla em inglês para Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) como parte da Política Nacional sobre Mudanças Climáticas (PNMC) (Lei 12187/09, Brasil, 2009). Este compromisso voluntário visava reduzir as emissões entre 36,1% e 38,9% em relação a um cenário *business as usual* projetado, até 2020. Além da meta de mitigação, a PNMC exigiu que nove planos setoriais de mitigação fossem elaborados pelas instituições públicas responsáveis.

Em setembro de 2015, o Brasil apresentou sua pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) à UNFCCC, confirmada como a primeira NDC em 2016. A nova meta voluntária era para toda a economia e visava reduzir as emissões de GEE em 37% em 2025, com uma meta indicativa de 43% em 2030, em comparação com os níveis de emissões de 2005. O valor do ano-base foi o do Segundo Inventário Nacional. Apresentou igualmente os meios de execução no seu anexo.

Em dezembro de 2020, o governo brasileiro apresentou sua "nova primeira NDC" à UNFCCC. Este documento atualizou o valor de 2005 para 2,8 Gt CO₂e, obtido no Terceiro Inventário Nacional, representando uma alteração substancial no valor utilizado na primeira versão do 2,1 Gt CO₂e. Portanto, o limite absoluto de emissões de GEE em toda a economia aumentou em 2025 (de 1,3 para 1,8 Gt CO₂e) e 2030 (de 1,2 para 1,6 Gt CO₂e). Por outro lado, foi incluída uma meta indicativa para a neutralidade climática até 2060 (Brasil, 2020). Em abril de 2021, o presidente brasileiro anunciou o compromisso do país em alcançar a neutralidade climática até 2050 na Cúpula de Líderes Climáticos organizada pelo presidente dos EUA. Em novembro de 2021, durante a COP 26, o governo brasileiro anunciou a intenção de apresentar uma NDC atualizada, com o objetivo de reduzir, até 2030, 50% das emissões de GEE em relação ao ano de 2005, com o objetivo final de atingir emissões líquidas zero até 2050. Os números absolutos por trás da meta não foram publicados, e o governo indicou que os dados do 4º Inventário Nacional de Emissões seriam utilizados. O Brasil também assinou o Acordo Florestal para acabar com o desmatamento ilegal até 2028 e o Compromisso Global de Metano de reduzir coletivamente as emissões de

metano em 30% até 2030 (a partir dos níveis de 2020). Em abril de 2022, o país apresentou uma versão final da primeira NDC com o objetivo de reduzir as emissões em 37% em 2025 e 50% em 2030, indicando o objetivo de longo prazo de alcançar a neutralidade climática em 2050. O ano de 2005 manteve-se como referência, com novos valores a serem apurados no mesmo inventário nacional disponível apresentado à UNFCCC utilizado para a avaliação dos resultados da NDC. Interinamente, considerando os valores de 2,6 Gt CO₂e de 2005 do Quarto Inventário Nacional, o relatório mais recente, as novas metas de emissão são de 1,6 Gt CO₂e em 2025 e 1.3 Gt CO₂e em 2030.¹

Um marco regulatório crucial é o projeto de lei 258/2021, que propõe a criação do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE). Nesse mercado, alguns setores da economia têm metas obrigatórias para a redução das emissões de gases de efeito estufa: os agentes que emitem além do limite permitido devem comprar créditos de agentes que emitem aquém do limite, gerando assim créditos. O MBRE estava previsto na lei que instituiu a Política Nacional sobre Mudanças Climáticas (Lei 12.187/2009). Em maio de 2022, o Governo Federal publicou o decreto 11.075/2022, que é um primeiro passo para a regulamentação de um mercado interno de créditos de carbono, embora menos restritivo que o Projeto de Lei 258. O decreto pode ser um ponto de partida para a implementação de uma política de precificação de carbono no Brasil, já que o Projeto de Lei 258 permanece parado no Congresso.

1.2. Planos Setoriais Brasileiros de Mitigação

O Decreto 7390/2010 foi um passo no sentido de detalhar as metas de mitigação voluntária estabelecidas pelo governo ao regulamentar a PNMC (lei 12187/09). Estabelece as metas de mitigação até 2020, seguindo as NAMAs brasileiras, e planos setoriais para apoiar sua realização, conforme abaixo:

- Plano Decenal de Expansão de Energia;
- Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal - PPCDAm;
- Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas nos Cerrados - PPCerrado;
- Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - Plano ABC;
- Plano de Redução de Emissões no Setor Siderúrgico;
- Plano de Transporte e Mobilidade Urbana para Mitigar as Mudanças Climáticas - PSTM;
- Plano de Mitigação das Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixo Carbono na Indústria de Transformação;
- Plano de Mineração de Baixo Carbono (Plano MBC); e
- Plano de Saúde para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas.

¹ A maior dificuldade no cálculo do inventário anual de emissões de GEE reside na estimativa das emissões de AFOLU. Em particular, no subsector Alteração do Uso do Solo. As emissões causadas pelo desmatamento são muito importantes e difíceis de estimar, introduzindo uma complexidade única no mundo para a elaboração do inventário brasileiro.

Para o período 2020-2030, há um novo Plano ABC, o Plano Setorial de Adaptação às Mudanças Climáticas e Baixas Emissões de Carbono na Agricultura 2020-2030 (ABC+). Possui um conjunto de medidas de mitigação e uma diretriz estratégica para fomentar a ciência e a inovação, visando auxiliar a tomada de decisão sobre ações que potencialmente reduzam as emissões de GEE.

O decreto 11.075/2022, acima mencionado, além de ser uma tentativa de regulação do mercado de carbono, também prevê a elaboração de planos setoriais de mitigação para implementar as ações necessárias para atingir a meta de neutralidade climática da NDC. Para isso, os planos setoriais a serem aprovados por um Comitê Interministerial sobre Mudanças Climáticas e Crescimento Verde, composto por ministérios setoriais e sob a liderança do Ministério do Meio Ambiente e do Ministério da Economia, estabelecerão metas de redução gradual de emissões, mensuráveis e verificáveis, considerando as especificidades dos agentes setoriais.

2. Construção de Cenários

2.1. Estória Qualitativa

O exercício simula dois cenários de emissões de GEE no Brasil até 2050. Ele fornece uma estrutura para analisar indicadores setoriais e de toda a economia de um caminho de descarbonização alinhado com o objetivo geral do Acordo de Paris. O Cenário de Políticas Atuais (CPS, sigla em inglês) segue a tendência das ações de mitigação em andamento. Suas emissões são de 1,68 Gt CO₂e em 2030, sem aumento na ambição entre 2030 e 2050. O Cenário de Descarbonização Profunda (DDS, sigla em inglês) atinge 0,95 Gt CO₂e em 2030, indo além da meta da NDC e segue uma trajetória de emissões de GEE compatível com o objetivo global de 1,5°C, alcançando emissões líquidas zero em 2050.²

- **Principais facilitadores globais da descarbonização profunda da economia brasileira**

A implementação do DDS no Brasil pressupõe que o mundo está fortemente comprometido em cumprir a meta de 1,5°C do Acordo de Paris e pelo menos os países do G-20 também estão no caminho para a neutralidade de carbono até 2050 (ou 2060 para a China e um pouco mais tarde para a Índia). A oferta de financiamento internacional para investimento e inovação cresce ao longo do período, permitindo que a produtividade do trabalho nos países em desenvolvimento cresça mais rapidamente e promova educação, saúde e infraestrutura de boa qualidade. Existe um melhor acesso ao financiamento de baixo custo (em condições acessíveis) para permitir investimentos em infraestruturas de baixo carbono nos países em desenvolvimento, em consonância com a neutralidade de carbono global e fluxos de investimento robustos do Anexo I para os países não incluídos no Anexo I em mitigação e inovação. O progresso técnico continua em energias renováveis, mobilidade elétrica, eficiência energética, H₂, CCS e processos industriais altamente emissores (aço verde, cimento, etc.).

² Novos valores já ajustados pelo projeto Climate and Development Initiative (Unterstell, La Rovere et al., 2021). As alterações são insignificantes.

A cooperação internacional e os mecanismos de comércio apoiam a meta brasileira de desmatamento líquido zero. A adoção da precificação do carbono pela maioria dos países favorece produtos de baixo carbono no comércio e nas finanças. Os mercados voluntários de carbono ajudam o desenvolvimento de um mercado de carbono latino-americano. Há uma abertura de comércio para produtos de baixo carbono com mecanismos comerciais preferenciais que exigem rastreabilidade e comprovação de origem das exportações de produtos agrícolas e florestais que possam contribuir para o controle do desmatamento no Brasil.

Os esforços de pesquisa e desenvolvimento alcançam avanços em biocombustíveis de 2ª e 3ª geração, baterias elétricas e processos industriais verdes (aço, cimento, etc.), mas no Brasil, o DDS é baseado apenas na implantação de tecnologias já disponíveis.

- **Facilitadores domésticos**

O DDS fornece uma estratégia para a retomada do desenvolvimento econômico e social, com uma transição justa para a neutralidade climática do país em 2050. O cenário considera um aumento considerável da produtividade, uma política cambial ativa e o uso das receitas de exportação de petróleo para educação, saúde e importação de bens de capital.

Baseia-se também em duas políticas climáticas:

- Redução radical do desmatamento e aumento dos sumidouros de CO₂;
- Precificação do Carbono, aplicada às emissões de GEE provenientes do uso de combustíveis fósseis e processos industriais e uso de produtos (IPPU):
 - ✓ Mercado de licenças negociáveis de emissão provenientes da utilização de energia fóssil e de processos/produtos (IPPU) para o setor industrial; e imposto sobre o carbono sobre as emissões resultantes da utilização de combustíveis fósseis noutros setores da economia;
 - ✓ A precificação do carbono é neutra do ponto de vista fiscal, com a reciclagem de 100% de suas receitas voltando para a economia; é usada para reduzir os encargos trabalhistas, criar empregos e financiar transferências sociais para as famílias mais vulneráveis, protegendo seu poder de compra;
 - ✓ Adoção em todos os setores da economia de ações de mitigação compatíveis com o preço do carbono em cada período (medidas mais baratas entram primeiro), proporcionando marcos econômicos e setoriais de um caminho de emissões de GEE para a descarbonização até 2050.

2.2. Pressupostos Quantitativos

❖ **Economia**

O tamanho da população aumenta de 210 milhões em 2019 para cerca de 233 milhões em 2050. Nesse período, a parcela da população urbana cresce de 86% para 89%. Após a forte desaceleração da economia de 2015 a 2020 devido à crise político-econômica e à pandemia de COVID-19, a recuperação econômica brasileira começa

em 2021: as taxas médias anuais de crescimento do PIB seriam de 2,26% de 2021 a 2030; 2,25% de 2031 a 2040; e 2% de 2041 a 2050 (com crescimento linear assumido a cada década). Após o recuo de 2015-2020, a redução das desigualdades de renda é retomada novamente, mas mais lentamente do que no período 2000-2015. Prevê-se que o tamanho das famílias diminua lentamente, enquanto o rendimento disponível das famílias em % do PIB aumente. O comércio se torna mais importante para o Brasil durante o período do cenário, e os impostos de importação e o protecionismo são reduzidos, seguindo a tendência global. Uma política ativa deve ser implementada para manter uma taxa de câmbio estável em 5,15 R\$/USD (2020). O preço do carbono aumenta linearmente, atingindo 19,0 USD / t CO_{2e} em 2030 e 49,3 USD / t CO_{2e} em 2050.

❖ **Agricultura, Florestas e Uso do Solo (AFOLU)**

A agricultura é um motor essencial do crescimento econômico brasileiro. A produção cresceu rapidamente nas últimas décadas, impulsionada pela crescente demanda global e avanços tecnológicos. Mudanças nas práticas de manejo da lavoura e expansão da área colhida permitiram que o Brasil se tornasse um dos principais exportadores de soja, carne bovina e celulose.

Tanto o CPS quanto o DDS assumem uma continuidade das tendências históricas nas preferências alimentares. As preocupações ambientais nos países desenvolvidos levam a um menor consumo de proteína animal, dando preferência a alimentos ricos em micronutrientes e vitaminas, como frutas e vegetais. Por outro lado, os alimentos básicos (como os carboidratos) continuam a desempenhar um papel essencial nas preferências alimentares em países de baixa e média renda. O consumo global de carne per capita tende a aumentar devido à renda e ao crescimento populacional, especialmente nos países asiáticos e latino-americanos. Os níveis de consumo nas regiões desenvolvidas já são elevados. A demanda por carne aumenta à medida que se torna mais acessível nos países em desenvolvimento.

O setor AFOLU é a principal fonte de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil. Portanto, ações de mitigação nesse setor são fundamentais para que o Brasil alcance a neutralidade climática em 2050.

No DDS, a produção agrícola aumenta significativamente, mas as emissões de GEE são mantidas quase as mesmas de 2020, em 2050. Há um crescimento expressivo da produção agrícola, enquanto a área agrícola aumenta moderadamente devido aos altos ganhos de produtividade. Entre 2020-2030, a produção total aumenta 22% e entre 2030-2050, 47%. A área ocupada pelas culturas aumenta 5% até 2030 e 6% no período 2030-2050, atingindo 75 Mha em 2050 (sem considerar a área com cultivos de segunda safra). A produção de carne bovina cresce 67%, atingindo 18,3 milhões de TEC, em 2050, com um rebanho total de 200 milhões de cabeças. O tamanho do rebanho bovino diminui 7% ao longo do tempo devido aos ganhos de produtividade, e a área de pastagem cai para 105 Mha (redução de 36%).

A intensificação da pecuária é a medida com maior potencial de mitigação. A recuperação adicional de 60 Mha de pastagens degradadas associada ao aumento da produtividade do rebanho bovino reduz as emissões da fermentação entérica em 6% no período 2020-2050. Nesse cenário, a taxa de lotação passa de 1,31 cabeça/ha para 1,96 até 2050. A adoção de tecnologias agrícolas de baixo carbono como o sistema de plantio direto e a fixação

biológica de nitrogênio, recomendadas pelo Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), aumenta seguindo o crescimento da área de soja e de outras culturas.

A redução do desmatamento é fundamental para que o Brasil atinja a neutralidade climática. A área anual desmatada em 2020 no bioma Amazônia mais que dobrou em relação a 2012 e foi 44% maior do que em 2018 (INPE, 2022). Os esforços para conter o desmatamento são retomados em 2023, dada a possibilidade de mudança nas políticas governamentais e o aumento da pressão internacional sobre as cadeias agrícolas associadas ao desmatamento. As políticas de controle do desmatamento propiciam uma redução de 10% no desmatamento entre 2023-2025.

O desmatamento ilegal zero no bioma Amazônia é alcançado em 2050. As emissões do desmatamento totalizam 71 Mt CO_{2e} em 2050, correspondendo a uma redução de 93% em relação a 2020. As Áreas Protegidas (unidades de conservação e terras indígenas) removem 487 Mt CO_{2e} em 2050 (24% a mais do que em 2020), graças à adição de 53 Mha de florestas públicas não destinadas registradas no Serviço Florestal Brasileiro aos 276 Mha protegidas hoje.

Promover o reflorestamento e a restauração de 30 Mha com espécies nativas em áreas públicas e privadas também é relevante pois contribui para remover cerca de 417 Mt CO_{2e} até 2050, e é uma medida alinhada com a Primeira NDC do Brasil (NDC submetida a UNFCCC em 2016/arquivada), com o Desafio de Bonn (Bonn Challenge, 2011) e com o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg, 2017). Esta medida de mitigação é um desafio e vai além da área considerada na meta da NDC 2016 (12 Mha até 2030). No entanto, isso pode ser possível com o apoio do governo, fundos internacionais, programas de pagamento por serviços ambientais e compensações florestais permitidas através do sistema de cap-and-trade imposto à Indústria.

Florestas plantadas de rápido crescimento (eucalipto e pinus) são importantes na remoção de carbono. Elas incluem florestas homogêneas e sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. A superfície das florestas plantadas chega a 13 Mha em 2030 e 19,5 Mha em 2050. Esta área atende à demanda de todos os setores: energia (carvão vegetal e lenha), indústria (celulose e papel, madeira serrada, compensado, painéis e outros) e produção de pellets para exportação.

No DDS, as emissões líquidas do setor AFOLU atingem valores negativos (-537 Mt CO_{2e}), permitindo que o país alcance a neutralidade de carbono em 2050.

No CPS, a produção agrícola cresce mais do que no DDS (24% entre 2020-2030 e 50% entre 2030 e 2050), resultante da maior demanda por biocombustíveis no CPS devido a uma frota com mais veículos de combustão interna e menos veículos elétricos do que no DDS. A área de cultivo agrícola aumenta 4,5% até 2030 e 7% no período 2030-2050, atingindo 76 Mha (sem a área de cultivos de segunda safra). A produção de carne bovina cresce 69%, atingindo 18,5 milhões de TEC em 2050, com um rebanho 23% maior, atingindo 263 milhões de cabeças e uma área de pastagem de 171 Mha (aumento de 4%).

A recuperação de pastagens no CPS equivale à metade do DDS. 30 Mha são recuperados até 2050, atingindo uma taxa de lotação de 1,54 cabeça/ha em 2050. As emissões da fermentação entérica crescem 23% entre 2020 e 2050. A taxa de penetração de tecnologias de baixo carbono, como o sistema de plantio direto e a fixação

biológica de nitrogênio, limita-se ao aumento da área plantada de soja. As emissões do setor agrícola aumentam 23% em 2050 em comparação com 2020.

Assim como no DDS, a área desmatada anualmente cresce até 2023 e diminui 10% entre 2023-2025. No entanto, a área anual desmatada simulada para 2025 (1,98 Mha) é mantida no período 2026-2050. O desmatamento desta área emite aproximadamente 1.024 Mt CO₂eq por ano. Considerando o desinteresse do governo anterior em ampliar as áreas de proteção ambiental, bem como alocar recursos humanos e financeiros para sua gestão, o CPS não prevê a criação ou expansão de áreas protegidas entre 2021-2050, mantendo-se o nível de 2020 constante até 2050 (279 Mha). Esta área remove 391 Mt CO₂eq em 2050.

Embora mais modestamente do que no DDS, o reflorestamento e a restauração de 3 Mha com espécies nativas em áreas públicas e privadas removem 55 Mt CO₂eq até 2050. É equivalente a 25% da área considerada na primeira NDC para 2030 (12 Mha) (NDC submetida à UNFCCC em 2016/arquivada). A área de florestas plantadas com espécies de pinus e eucalipto cresce 60% entre 2020-2050, totalizando 13,5 Mha.

No CPS, as emissões líquidas da AFOLU totalizam 1.073 Mt CO₂eq em 2050, um aumento de 13% em relação a 2020. Desse total, 60% vêm da agricultura e 40% da mudança do uso da terra e da silvicultura.

O setor agrícola brasileiro pode se tornar ainda mais competitivo globalmente se aumentar a produtividade de forma eficiente e sustentável. As pressões internacionais sobre o controle das cadeias agrícolas associadas à degradação e ao desmatamento contribuem para tornar o DDS viável. Os países que não se comprometerem a reduzir as emissões de GEE e controlar o desmatamento enfrentarão barreiras de mercado que dificultarão as exportações. As cadeias de soja, carne bovina e florestal são exemplos desse contexto que se aplica ao Brasil.

Programas de financiamento internacionais e nacionais com foco em mudanças climáticas, agricultura sustentável e meio ambiente ajudariam a tornar o caminho do DDS viável. Entre eles estão: Fundo Verde para o Clima, Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), Fundo para Países Menos Desenvolvidos (LDCF - GEF), Fundo Especial para Mudanças Climáticas (SCCF - GEF), Fundo de Adaptação (AF) e Fundo Amazônia.

O plano de mitigação de AFOLU fornece mais detalhes sobre estes elementos.

❖ **Transporte**

Os cenários de transportes incorporam diferentes visões do futuro da mobilidade de passageiros e cargas no Brasil. O CPS representa a continuação dos atuais incentivos para os biocombustíveis e a eficiência energética, mas sem aumento da ambição após 2030. O DDS expande e diversifica o mercado de biocombustíveis, exigindo outras medidas, como aceleração da eletrificação da frota de veículos e expansão da infraestrutura de transporte em áreas-chave.

Globalmente, o DDS exige uma redução contínua na relação entre o preço da bateria e a densidade de energia. Os veículos totalmente autônomos continuam sendo um nicho de mercado, restrito a economias desenvolvidas ou testes piloto em países emergentes. O Óleo Vegetal Hidrotratado (HVO) se torna uma importante fonte de energia nas refinarias de petróleo, aproveitando a cadeia de distribuição de combustíveis fósseis líquidos.

Programas internacionais de financiamento focados em políticas e infraestrutura sustentáveis se tornam comuns entre os principais agentes financeiros.

Em ambos os cenários, a sociedade vivencia novas configurações de mobilidade ligadas ao envelhecimento populacional, teletividades, novas tecnologias e mudanças estruturais. As cidades são planejadas para aumentar a integração e descentralizar as atividades para reduzir os tempos de deslocamento e o congestionamento. As principais áreas metropolitanas se concentram em modos de alta eficiência e transporte ativo, criando ambientes mais acessíveis aos pedestres. As teletividades levam a mudanças no padrão de transporte de passageiros e cargas. Em áreas não metropolitanas, os sistemas de transporte mantêm o padrão histórico de crescimento e ordenação.

No DDS, os consumidores escolhem tecnologias mais eficientes e ecológicas, estimulando a penetração da eletromobilidade e dos biocombustíveis. O Brasil investe cada vez mais em infraestrutura de recarga e condições básicas para veículos elétricos, como normas e regulamentações, financiamento e novos modelos de negócio. Ao contrário do CPS, os novos fabricantes locais de caminhões elétricos, ônibus e componentes automotivos mudam o padrão da indústria, reduzindo o impacto da desvalorização da moeda local nas importações. A eletrificação da frota de ônibus e as medidas de priorização induzem a população a aumentar o uso do transporte público, reduzindo a necessidade de possuir um veículo particular. Os incentivos financeiros para desenvolver uma indústria nacional de bioenergia avançada expandem a oferta e a variedade de biocombustíveis, por exemplo, bioquerosene, bio-óleo e HVO.

Não haverá registro de automóveis com motores de combustão interna (MCI) a partir de 2045. Ao mesmo tempo, a penetração no mercado de veículos elétricos é ainda mais acelerada em comparação com o CPS. Em 2050, quase metade do estoque de automóveis será composto por híbridos (HEV), híbridos plug-in (PHEV) e veículos elétricos a bateria (BEV). Assim, a frota circulante de automóveis atingirá 76 milhões, com uma taxa de motorização inferior à observada no CPS (326 contra 456 carros por 1.000 habitantes). A mobilidade privada (pkm/cap) representará uma participação de 41% nesse cenário. A eletricidade atingirá 11% do total de energia consumida no transporte de passageiros, enquanto os biocombustíveis líquidos representarão 52%. Como resultado, as emissões de GEE cairão 52%, atingindo 49 Mt CO₂e.

Ainda considerando o DDS, as ferrovias de carga a diesel são gradualmente modernizadas e eletrificadas por meio de aditivos contratuais em suas respectivas concessões. Os marcos regulatórios aumentam a produtividade nos transportes ferroviários e aquáticos. A logística sustentável e os programas de certificação aumentam a eficiência no transporte rodoviário. O redesenho das redes de transporte com foco em modos de alta capacidade equilibra razoavelmente a divisão modal do transporte de cargas brasileiro. Em 2050, o transporte rodoviário representará 42% da atividade de transporte (tkm) e o ferroviário e o aquaviário representarão 35% e 22%, respectivamente.

BEV, HEV e PHEV constituirão aproximadamente um terço do estoque de veículos de carga, concentrado nos transportes urbanos. Apesar dos avanços, a energia elétrica será responsável por apenas 3,4% da energia consumida no transporte de carga. Por sua vez, os biocombustíveis representarão 35%. Essas ações decorrem da priorização estratégica da eletrificação do transporte de passageiros, alocando o excedente de oferta de combustível líquido ao transporte de carga. As emissões de GEE cairão 32%, atingindo 62 Mt CO₂e.

No CPS, a indústria de biocombustíveis está restrita ao biodiesel e ao etanol hidratado. Os incentivos à eletromobilidade são limitados a experimentos em áreas metropolitanas. O fim das vendas de carros de combustão interna deverá ocorrer apenas em 2050, quando o estoque total de carros atingir 106 milhões. A mobilidade privada representará uma participação de 50%, superior à do DDS. Essa participação decorre de uma menor proporção de transporte público e não motorizado, haja vista que menos investimentos são esperados. A eletricidade não é representativa neste cenário, chegando a apenas 4% do total de energia consumida no transporte de passageiros em 2050. No entanto, os biocombustíveis representarão 38% no mesmo ano. As emissões de GEE do transporte de passageiros aumentarão 25%, atingindo 126 Mt CO₂e.

As ferrovias de carga continuam a ter apenas locomotivas diesel-elétricas. As atividades de transporte ferroviário e aquático crescem a níveis inferiores ao seu potencial. Em 2050, o transporte rodoviário representará 48% da atividade de transporte (tkm). BEV, HEV e PHEV atingirão 20% da frota de veículos de carga. A eletricidade será menos intensa em relação ao DDS, representando apenas 0,2% da energia consumida no transporte de carga até 2050. Os biocombustíveis líquidos representarão 18%. As emissões do transporte de mercadorias aumentarão 18%, atingindo 112 Mt CO₂e.

Maiores detalhes desses elementos são fornecidos no Plano de Mitigação de Transporte.

❖ **Indústria**

A indústria brasileira representou 26% do PIB nacional em 2019 (CNI, 2022). Esta participação diminuiu nos últimos 30 anos devido a sucessivas crises. No entanto, presume-se que o crescimento industrial seja reiniciado. De 2020 a 2050, a taxa média de crescimento anual do valor agregado das indústrias de cimento, ferro e aço e química atinge 2,6%, 1,9% e 1,7%, respectivamente.

As emissões setoriais da indústria correspondem a cerca de 11% (165 Mt CO₂e) do total do país, em 2020, sendo que metade provém dos três setores acima mencionados. No CPS, assumindo o mesmo desempenho das atuais políticas e medidas de mitigação, as emissões de GEE atingem 267 Mt CO₂e em 2050, 40% do consumo de energia e 60% da IPPU.

No DDS, a implementação de medidas de mitigação bem conhecidas no setor industrial reduz 34% de suas emissões de GEE em 2050, comparando com o CPS. Não são assumidos novos processos industriais nem tecnologias de mitigação. As ações de mitigação incluem: aceleração substancial da melhoria da eficiência energética, permitindo reduções na intensidade energética das indústrias variando entre 13 e 25% entre 2020-2050, dependendo do ramo industrial; troca de combustível para as energias renováveis, incluindo o aumento da utilização de carvão vegetal para a produção de gusa e de madeira e resíduos em fornos de cimento; e aumento do uso de cinzas e escória para substituir o clínquer na mistura de cimento. A substituição total dos HFCs por gases de baixo poder de aquecimento global (GWP, sigla em inglês) estaria perto da conclusão (redução de 96% de suas emissões) até 2050, em relação a 2020. Como resultado, as emissões de DDS atingem 176 Mt CO₂e em 2050, com as indústrias intensivas em energia respondendo por 87% dessas emissões.

O plano de mitigação da indústria apresenta maiores detalhes.

❖ **Oferta de Energia**

Em ambos os cenários, a produção *offshore* de petróleo e gás a partir da camada pré-sal aumenta de forma constante. Após a forte redução do preço do petróleo devido à crise do COVID-19 (de 66 USD / barril em 2019 para 23 USD / barril em 2020) e o aumento dos preços do petróleo e do gás devido à guerra da Ucrânia, assumiu-se que os preços do petróleo atinjam 50 USD / barril em 2025 e variem em torno desse nível médio ao longo do período 2025-2050. Sob esses pressupostos, o aumento das participações da produção brasileira de petróleo é direcionado para as exportações, uma vez que os custos de produção permanecem baixos e competitivos no mercado mundial. No DDS, essa participação é maior, pois o consumo doméstico de petróleo e gás é 25% menor do que no CPS (em 2050), o que também permite controlar as emissões de GEE das refinarias e as emissões fugitivas.

As emissões totais da oferta de energia em 2050 são de 93 Mt CO₂e no CPS e 52 Mt CO₂e no DDS. No cenário CPS, as emissões relacionadas com a oferta total de energia diminuem até 2025 (devido à redução da utilização de centrais elétricas a combustíveis fósseis) e crescem ligeiramente em 2030 (principalmente devido ao autoconsumo e às emissões fugitivas). As emissões da geração de energia mostram pouco crescimento, atingindo o pico por volta de 2035 e depois diminuindo ligeiramente até 2050. No cenário DDS, as emissões relacionadas à oferta de energia diminuem (devido à redução do uso de usinas térmicas fósseis e à ausência de subsídios para geração térmica a carvão, além de medidas para reduzir a intensidade de carbono no refino e E&P). A tendência de expansão da geração de energia do Brasil já é baseada em fontes renováveis e, portanto, tem menores emissões de GEE do que a maioria dos outros países. Em ambos os cenários, as emissões de GEE da geração de eletricidade diminuem passando de 49 Mt CO₂e em 2020 para 16 Mt CO₂e no CPS e 2 Mt CO₂e no DDS, em 2050.

O consumo de eletricidade cresce mais rapidamente do que o consumo geral de energia, mas os ganhos de eficiência no uso final permitem um menor crescimento do DDS. No CPS, o consumo de eletricidade cresce quase 80% de 2020 a 2050, atingindo 972 TWh (terawatt-hora), mas no DDS, o seu crescimento está limitado a 934 TWh (aumento de 73%), apesar de um aumento de 31 TWh na sua utilização nos transportes, graças a uma redução do consumo de 64 TWh no setor industrial, em comparação com o CPS.

No DDS, a geração de eletricidade brasileira atinge quase emissões líquidas zero até 2050. Em ambos os cenários, a energia hídrica, eólica e fotovoltaica são as principais fontes para expansão da oferta. Após 2040, quando o potencial hidrelétrico brasileiro estará quase totalmente explorado, a biomassa substituirá seu papel e complementarará as contribuições eólicas e solares. Em 2050, a capacidade instalada necessária de energia hidrelétrica será de 147 GW em ambos os cenários. A capacidade eólica *onshore* atinge 41 GW no CPS e 41GW no DDS, enquanto os sistemas fotovoltaicos representam 64 GW no CPS e 63 GW no DDS. A biomassa atinge 31 GW no CPS e 32 GW no DDS. O gás natural é restrito ao CPS com 11 GW e o eólico *offshore* ao DDS com 3 GW.

Além disso, as antigas usinas termelétricas são desativadas e substituídas por usinas renováveis (eólica, solar fotovoltaica e biomassa) devido aos seus custos mais baixos em ambos os cenários. No entanto, no CPS, o gás natural ainda desempenha um papel importante na geração de energia despachável. Por outro lado, no DDS,

grandes capacidades renováveis intermitentes são desenvolvidas usando cada vez mais a geração de energia hidrelétrica para garantir a flexibilidade da operação da rede.

A precificação global do carbono e o rápido desenvolvimento tecnológico em tecnologias de energia renovável (principalmente baterias, energia solar e eólica) são os principais facilitadores internacionais do DDS. Um imposto interno sobre o carbono pode reduzir a competitividade da produção de energia a partir do gás natural, ao passo que as melhorias tecnológicas e o desenvolvimento da experiência internacional podem permitir a competitividade das energias renováveis.

O plano de mitigação da energia fornece informações mais detalhadas sobre estes elementos.

❖ **Resíduos**

Ambos os cenários consideram que as metas da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e do Plano Nacional de Saneamento (PNSB) são cumpridas quanto à ampliação da cobertura do serviço.

Em relação aos resíduos sólidos, o percentual de resíduos coletados aumenta de 92% hoje para 100% em 2035 em ambos os cenários. No DDS, a disposição adequada em aterro diminui de 57% para 29% em 2050 devido à adoção de outros tipos de tratamento, enquanto no CPS, chega a 61%.

No DDS, a taxa de captura de biogás e destruição de metano em aterros sanitários atinge 25% do biogás produzido em 2050. Assim como nos países desenvolvidos, são introduzidas usinas térmicas e biológicas, atingindo 20% e 6% do total de resíduos gerados, respectivamente. A taxa de reciclagem passa de 2% para 25% também em 2050.

No CPS, apenas a disposição em aterro é a opção tecnológica considerada, com a captura de biogás e a destruição de metano permanecendo a uma taxa de 12% durante todo o período. A taxa de reciclagem permanece em torno de 2%.

A coleta e o tratamento de esgoto em ETEs (estações de tratamento de efluentes) variam de acordo com os cenários. No DDS, a taxa passa de 42% para 96% considerando todas as águas residuais geradas, em 2050, com as estações de tratamento anaeróbio aumentando de 20% para 35% desse volume em 2050. No CPS, a taxa de coleta e tratamento chega a 50%, com o tratamento anaeróbio chegando a 24%. Considerando o metano gerado nessas plantas, no DDS, a taxa de destruição de metano passa de 33% para 43% em 2050, enquanto na CPS, permanece em 33%.

Em 2050, as emissões de GEE no DDS atingem 86 Mt CO₂e, cerca de 50% menos do que o CPS, que aumenta até 169 Mt CO₂e, o que significa 170% a mais do que as emissões de 2020 no setor de resíduos.

A extensão substancial dos serviços de saneamento para melhorar o atual déficit de infraestrutura pode aumentar significativamente as emissões, a menos que as tecnologias de captura e queima de biogás sejam massivamente introduzidas.

As emissões acumuladas de GEE evitadas neste setor são de cerca de 2 bilhões de toneladas de CO₂e. As novas tecnologias serão rentáveis graças aos esquemas globais de precificação do carbono que levam ao comércio

internacional de créditos de carbono e aos fluxos financeiros necessários para atender aos requisitos de financiamento para esses investimentos.

O plano de mitigação de resíduos fornece informações mais detalhadas sobre estes elementos.

3. Metodologia de Modelagem³

Para simular os cenários, utilizamos uma modelagem que integra um conjunto de seis modelos setoriais a um modelo macroeconômico de equilíbrio geral (CGE) específico para o Brasil. Os modelos setoriais são: quatro modelos de demanda de energia (transportes, indústria, edificações e agricultura), um modelo para AFOLU e um modelo de oferta de energia (MATRIZ). Finalmente, um modelo de resíduos completa as estimativas.

As estimativas para a demanda de energia exigem dados semelhantes, como dados demográficos (população) e macroeconômicos (PIB, PIB setorial), bem como níveis de atividade e intensidade energética, de modo a fornecer resultados comparáveis (por exemplo, demanda final de energia em toneladas de óleo equivalente e emissões de GEE). No entanto, podem diferir amplamente em termos de especificação setorial, nível de detalhe e disponibilidade de outros dados.

O modelo 'Transport-Energy-Emissions Multi-Tier Analysis' (TEMA - Análise multinível de emissões de energia de transporte) é utilizado para calcular o uso de energia no setor de transportes brasileiro. O modelo foi desenvolvido por Gonçalves et al. (2019) e aplicado em estudos como Goes et al. (2020a; 2020b) e Gonçalves et al. (2020). Os cenários são projetados simulando a aplicação de políticas climáticas, tendências de mercado e comportamento do usuário que melhor representam as transformações da sociedade ao longo dos anos. Os dados macroeconômicos são utilizados para projetar a atividade de transporte (e a repartição modal) e a consequente utilização de energia bem como as emissões de GEE. No TEMA, o transporte rodoviário é o modo com o mais alto nível de detalhe, considerando 31 tecnologias que incluem categorias de veículos (por exemplo, carros, ônibus, caminhões) e *powertrains* (por exemplo, motores de combustão interna, veículos elétricos movidos a bateria, veículos híbridos, etc.). Os setores ferroviário, aéreo, aquático e de dutos são modelados de forma mais agregada devido à falta de dados em termos de tecnologia. Nesse caso, a abordagem "Activity-Structure-Intensity-Fuel" (ASI, Atividade-Estrutura-Intensidade-Combustível) é utilizada para calcular a utilização de energia e as emissões de GEE.

A abordagem ASIF também é aplicada para estimar o consumo de energia e as emissões de GEE do setor industrial brasileiro desagregado em onze segmentos: (i) Ferro e Aço, (ii) Ferroligas, (iii) Cimento, (iv) Indústria química, (v) Metais não ferrosos, (vi) Papel e Celulose, (vii) Alimentos e Bebidas, (viii) Têxtil, (ix) Mineração e pelletização, (x) Cerâmica, e (xi) Outras Indústrias. A estimativa das emissões de GEE é dividida em duas: (i) emissões do consumo de energia e (ii) emissões de processos industriais e uso de produtos (IPPU). No geral, os processos industriais que emitem GEE são a produção de metais, cimento e outros produtos minerais e produtos

³ Este é um extrato de Wills, et al. 2021, com algumas atualizações.

químicos. As emissões de utilização do produto abrangem as emissões de HFC para refrigeração e as emissões de SF₆ de equipamentos de transporte e distribuição de eletricidade.

As emissões de GEE da demanda de energia de edifícios (residencial, comercial e administração pública) e da agricultura são estimadas considerando as tendências históricas na evolução da demanda de energia e hipóteses do CPS até 2050, de acordo com diferentes fatores. No setor residencial, a demanda de energia responde à demografia e à renda per capita. Nos setores de serviços e da agricultura é impulsionada pelo crescimento setorial do PIB. Dado que não são simuladas mudanças tecnológicas, este cálculo é suficientemente detalhado para fornecer as estimativas globais da demanda setorial de energia. Eventuais diferenças entre os cenários CPS e DDS refletem apenas pequenas mudanças na renda per capita e na participação do PIB na agricultura e nos serviços.

Além do desmatamento, a modelagem AFOLU estima os níveis de atividade futura por correlação com as taxas de crescimento do PIB. Os níveis de atividade são ajustados para atender à demanda por produtos agrícolas de outros setores (etanol, biodiesel e florestas plantadas homogêneas) e exportações, conforme definido pelo modelo CGE. Os pressupostos sobre os ganhos de produtividade são retirados da literatura pertinente e a maioria das estimativas de emissões é calculada de acordo com a metodologia do inventário nacional. Também é simulada a adoção de práticas de mitigação de baixo carbono na agricultura, conforme prescrito no Plano Nacional de Agricultura de Baixo Carbono - Plano ABC (recuperação de pastagens, fixação biológica de nitrogênio, sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e plantio direto). A simulação da produção e da área agrícola inclui soja, milho, cana-de-açúcar e um grupo de 14 culturas (algodão, amendoim, arroz, aveia, centeio, cevada, ervilha, fava, feijão, girassol, mamona, sorgo, trigo e triticale) e carne bovina. As taxas de desmatamento não são diretamente ligadas ao PIB, são definidas com base no julgamento de especialistas. Assim como a taxa de desmatamento, as terras a serem destinadas a unidades de conservação e as terras indígenas são determinadas de forma exógena. A área destinada à restauração de florestas nativas varia de acordo com os cenários.

Por fim, o modelo MATRIZ (CEPEL, 2020) representa o sistema energético brasileiro e detalha os setores de oferta de energia elétrica e refino de petróleo. O MATRIZ é um modelo de programação linear *bottom-up* para o planejamento de sistemas energéticos de médio a longo prazo, semelhante ao MESSAGE e ao TIMES (IEA-ETSAP, 2020; IIASA, 2020).⁴ Uma função objetiva minimiza o valor presente do custo total de investimento e operação do sistema para suprir a demanda final exógena de energia com base na disponibilidade de recursos, escolhendo a melhor configuração para expansão de capacidade e oferta de energia no horizonte avaliado. As cadeias de energia são representadas pela ligação de níveis de energia primários, secundários, finais e úteis. Uma mistura de diferentes tecnologias representa conversões de energia e extrações de recursos. Quatro subsistemas operacionais respondem pela complexidade do setor elétrico brasileiro. Além disso, cada período da análise é detalhado em quatro estações, cada uma contendo dois níveis de demanda de energia: pico e fora de pico. Esse nível de especificação é essencial para a segurança energética, garantindo que o sistema atenda às demandas sazonais e horo-sazonais e à geração de energia, bem como a períodos potenciais de hidrologia crítica. O MATRIZ calcula

⁴ MESSAGE e TIMES são ambos modelos *bottom up* de oferta de energia que usam programação linear para produzir um sistema de energia de menor custo, otimizado de acordo com uma série de restrições do usuário, geralmente em horizontes de tempo de médio a longo prazo.

as emissões de GEE de forma endógena. Uma penalidade é simulada na função objetivo especificamente para as tecnologias de combustíveis fósseis para representar a precificação do carbono.

Os modelos setoriais alimentam o IMACLIM-BR, um modelo de equilíbrio geral capaz de simular os efeitos macroeconômicos e sociais das políticas climáticas e da precificação de carbono no Brasil, (Wills et al., 2021; Ghersi, 2015; Hourcade et al., 2006).⁵ É um modelo de simulação dinâmica que retrata o crescimento econômico anual resultante de pressupostos sobre disponibilidade de mão de obra e produtividade do trabalho. Além dessas especificações centrais e para aumentar a relevância empírica, de forma semelhante às versões de outros países, o IMACLIM-BR se desvia do padrão CGE neoclássico por meio de quatro características principais, criando assim um modelo CGE híbrido para o Brasil⁶.

Em primeiro lugar, o IMACLIM-BR é calibrado com base em dados híbridos originais que conciliam as contas nacionais com o balanço energético e os preços verificados no ano base. Os dados de 2015 recentemente atualizados assumem a forma de uma Matriz de Contabilidade Social de 19 setores apoiada por contas satélites de seis fluxos de commodities energéticas consistentes com os preços documentados do mercado de energia específicos de agentes. A contabilidade híbrida tem uma influência significativa na análise macroeconômica por meio da reavaliação das participações de custo da energia nas funções de produção por meio das parcelas orçamentárias de energia para as famílias e da desagregação do consumo de energia entre setores e agentes (Combet et al., 2014; Le Treut, 2017).⁷

Em segundo lugar, o IMACLIM-BR traça caminhos de crescimento sob restrição de fluxos de energia a preços específicos do agente e requisitos de capital para oferta de energia e uso final de energia (Ghersi, 2015). Isso aloca parte do valor agregado para despesas de energia sob restrição e parte das dotações de fatores primários para volumes de oferta de energia restritos. Essas restrições de volumes, custos e preços pesam sobre o crescimento econômico.

Em terceiro lugar, o IMACLIM-BR simula um crescimento subótimo baseando-se em trajetórias de investimento exógenas em vez de otimização intertemporal e considerando mercados não energéticos imperfeitos através da subutilização de capital e trabalho. No mercado de trabalho, a inércia dos salários reais impede o pleno emprego, ou seja, simula a taxa de desemprego por meio de uma "curva salarial" (Blanchflower e Oswald, 2005). A taxa de utilização do capital é uma variável exógena que efetivamente aumenta o estoque de capital disponível. A trajetória da mobilização da capacidade ociosa é calibrada de modo a ser compatível com a reabsorção gradual do desemprego em condições de BAU (para o nosso cenário BAU, ver abaixo). É comum a todos os cenários.

⁵ O IMACLIM existe em uma versão multirregional global (Crassous et al., 2006; Sassi et al., 2010) e em um número crescente de versões de países (Hourcade et al., 2010; Testamentos, 2013; Schers et al., 2015; Le Treut, 2017; De Lauretis, 2017; Gupta et al., 2019, 2020; Soummane et al., 2020; Le Treut et al., 2021). Ver <http://www.centre-cired.fr/en/imaclim-network/imaclim-network-en/>.

⁶ Por uma questão de transparência e para facilitar a expansão para novas economias, o IMACLIM, incluindo sua versão brasileira IMACLIM-BR, agora tem acesso aberto e hospedada no Github (Le Treut et al., 2019). Além disso, Le Treut (2020) apresenta as equações genéricas das versões nacionais do IMACLIM. Todas as especificações nele contidas aplicam-se ao IMACLIM-BR, salvo especificação em contrário nos parágrafos seguintes.

⁷ Os 19 setores são: carvão, petróleo e derivados excluindo diesel, gás natural, biocombustíveis, diesel, eletricidade, silvicultura, pecuária, outra agricultura, cimento, ferro e aço, metais não ferrosos, produtos químicos, laticínios e produtos à base de carne, outras indústrias alimentícias, papel e celulose, outras indústrias, transportes e outras atividades. Os setores foram agregados a partir da matriz híbrida de 40 setores publicada em Grottera et al. (2021).

Por fim, o IMACLIM-BR se desvia ainda mais do paradigma neoclássico ao considerar o fechamento da poupança externa, ou seja, da balança comercial, para acomodar a dinâmica exógena do investimento e da poupança das famílias e o balanço orçamentário público resultante de alíquotas exógenas de impostos e dos gastos públicos (em proporção do PIB). Essa escolha de fechamento destina-se a representar a política monetária efetivamente adaptando a poupança externa para alinhar a poupança total com os requisitos de investimento (Taylor e Lysy, 1979).

O acoplamento entre os modelos *bottom-up* e o IMACLIM-BR é realizado por meio de uma troca de informações e dados chaves, de forma interativa, notadamente para atividade econômica setorial, intensidades e custos de energia, energia comercializada e custos de capital (Figura 1).

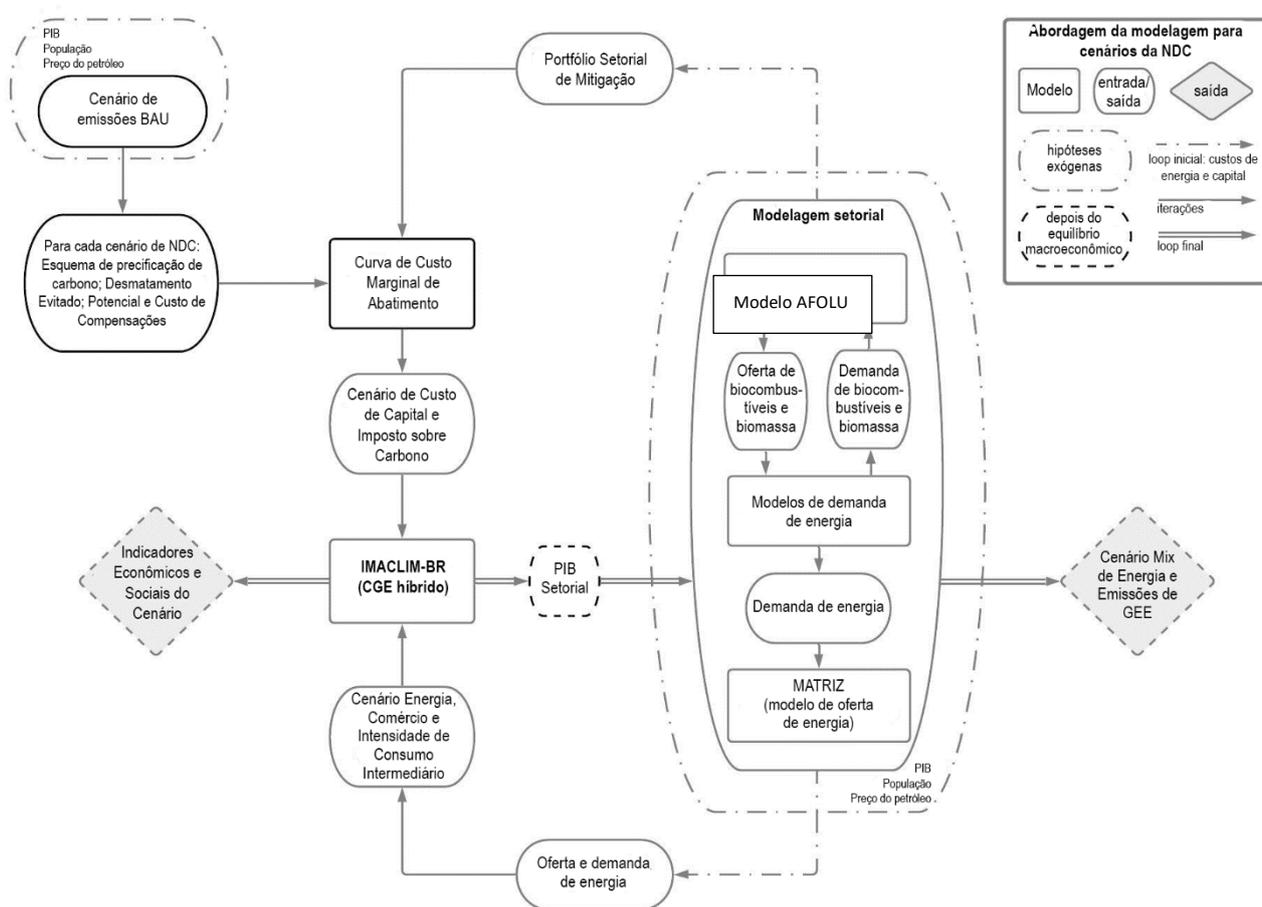


Figura 1. Diagrama de modelagem integrada para cenários do Brasil

Fonte: Adaptado de Wills et al. (2021)

O preço do carbono aumenta linearmente dentro de cada década, e auxiliou na definição de quais medidas de mitigação devem ser simuladas pelos modelos setoriais que informaram o IMACLIM-BR sobre a oferta e

demanda de energia e o total de investimentos necessários em mitigação. Esta troca de informações permite estimar os custos de mitigação e a demanda/oferta de energia por modelos setoriais e ser coerentes com a demanda de capital e os coeficientes de energia e tecnologia do modelo CGE. Após garantir o equilíbrio macroeconômico, além dos indicadores econômicos e sociais, o IMACLIM-BR disponibiliza novos níveis de atividade por setor, iniciando novamente o processo de iteração para calcular a demanda e oferta total de energia e o preço de equilíbrio do carbono.

Reduzir as emissões do desmatamento requer a retomada das políticas de comando e controle, já que a maioria delas resulta de atividades ilegais (Wills et al, 2021; Grottera et al., 2022).⁸

4. Ações de Mitigação, Metas e Marcos por Setor⁹

Nos cenários, as emissões de GEE atingem -87 Mt CO₂e no DDS e 1868 no CPS até 2050. A Tabela 1 apresenta os números por setor.

A maior parte das reduções de emissões de GEE vem da mudança do uso da terra e florestas. Em comparação com o CPS, em 2050, as emissões de DDS do desmatamento são 93% menores, uma redução de 967 Mt CO₂e. Além disso, as remoções de carbono aumentam 87%, o equivalente a 531 Mt CO₂e, graças ao aumento das áreas florestais e protegidas (terras indígenas e unidades de conservação). Os transportes são o segundo setor mais relevante, com uma redução de emissões de 129 Mt CO₂e (54%), seguido do setor dos resíduos com uma redução de 83 Mt CO₂e (49%), e das atividades pecuárias com 116 Mt CO₂e (22%). Finalmente, na indústria, a redução é de 91 Mt CO₂e (34%), e na oferta de energia somada a outros setores de consumo de energia é de 41 Mt CO₂e (35%). A única atividade com um ligeiro aumento nas emissões é o cultivo, com 4 Mt CO₂e (3%) a mais no DDS devido a um crescimento expressivo na produção, apesar da área agrícola aumentar moderadamente devido a altos ganhos de produtividade.

No DDS, apenas dois setores têm emissões de GEE mais altas em 2050 do que no ano-base de 2020: as atividades de cultivo aumentam as emissões em 29% e a indústria em 7%. Nestes casos, sob a suposição de que não há grandes avanços ou tecnologias disruptivas, a melhoria tecnológica atual é insuficiente para compensar os níveis de produção mais elevados.

⁸ Carolina Grottera, Giovanna Ferrazzo Napolini, Emilio Lèbre La Rovere, Daniel Neves Schmitz Gonçalves, Tainan de Farias Nogueira, Otto Hebeda, Carolina Burle Schmidt Dubeux, George Vasconcelos Goes, Marcelo Melo Ramalho Moreira, Gabriela Mota da Cruz, Claudio Joaquim Martagão Gesteira, William Wills, Gabriel Malta Castro, Márcio de Almeida D'Agosto, Gaëlle Le Treut, Sergio Henrique Ferreira da Cunha, Julien Lefèvre. Implicações da política energética dos cenários de precificação de carbono para a implementação da NDC brasileira, Política Energética, Volume 160, 2022, 112664, versão impressa ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112664>.

⁹ Esta seção é um extrato do relatório DDPBIIICS atualizado pela Climate and Development Initiative (Unterstell e La Rovere, et al., 2021)

Tabela 1. Total de emissões brasileiras de GEE por setor, 2005-2050, nos cenários CPS (políticas atuais) e DDS (descarbonização profunda) (Mt CO₂e)

MtCO ₂ e	Cenário	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Mudança de Uso do Solo (MUT) – emissões brutas	CPS	2.258	933	932	1034	1.039	1.039	1.039	1.039
	DDS					1.039	624	204	72
Remoções (MUT, Floresta, Áreas Protegidas e Outros)	CPS	-678	-675	-562	-608	-591	-573	-593	-610
	DDS					-683	-747	-882	-1.141
Agricultura	CPS	127	143	157	92	93	97	101	115
	DDS					91	99	106	119
Pecuária	CPS	393	395	399	432	450	466	485	529
	DDS					442	453	444	413
Transporte	CPS	139	174	206	175	195	209	220	240
	DDS					181	166	138	111
Indústria (Energia + IPPU)	CPS	141	162	167	165	176	194	231	267
	DDS					164	169	175	176
Energia (Oferta + Residencial e Serviços)	CPS	115	128	182	124	111	126	116	118
	DDS					96	93	86	77
Resíduos	CPS	67	74	84	99	110	121	143	169
	DDS					102	102	93	86
Total	CPS	2.562	1.336	1.564	1.511	1.584	1.679	1.742	1.868
	DDS					1.432	957	364	-87

Fonte: 2005-2015 a partir de Brasil (2020); estimativas dos autores para 2020-2050 (Unterstell, La Rovere et al., 2021)¹⁰

- Contribuição setorial para a mitigação

No DDS, além do enorme esforço para conter o desmatamento e aumentar as remoções, a política de precificação do carbono fornece as ações complementares de mitigação em outros setores necessárias para atingir emissões líquidas zero em 2050. A Tabela 2 apresenta as emissões acumuladas de GEE evitadas por década (Mt CO₂e).

¹⁰ Unterstell e La Rovere et al., (2021). Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030

Tabela 2. Emissões evitadas cumulativas (CPS-DDS) por ações de mitigação, por década (Mt CO₂e)

Emissões evitadas cumulativas por década (Mt CO ₂ e)	Décadas		
	2021 – 2030	2031 – 2040	2041 – 2050
Ações de mitigação total	2.584	9.720	14.548
Política de Precificação de Carbono	1.188	2.809	5.358
AFOLU	785	1.483	3.281
Restauração de florestas nativas em áreas públicas (por meio de concessão governamental)	57	302	1.291
Restauração de mata nativa em áreas privadas (compensações)	181	322	572
Florestas plantadas (sistemas lavoura-pecuária-floresta integrados e florestas homogêneas)	275	244	275
Agricultura	70	76	38
Pecuária (restauração de pastagens degradadas, intensificação, outros)	202	538	1.105
Transporte (carga e passageiro)	239	639	1.064
Troca de modal	65	169	271
Eletromobilidade	125	346	520
Biocombustíveis	48	124	273
Indústria	139	387	694
Indústrias energo-intensivas	99	257	451
Indústria leve (resto da indústria)	40	129	243
Oferta de Energia	25	300	319
Geração de eletricidade	8	112	100
Autoconsumo e emissões fugitivas	17	188	219
Outras políticas de mitigação	1.396	6.911	9.190
AFOLU	1.290	6.531	8.458
Redução da taxa anual de desmatamento + aumento de unidades de conservação, terras indígenas e outras áreas protegidas	1.290	6.531	8.458
Resíduos	106	380	732

Fonte: Baseado em La Rovere et al. (2021) e Unterstell, La Rovere et al. (2021) com ajustes de atualização

As políticas de comando e controle combinadas com a restrição do acesso de agricultores e pecuaristas a créditos públicos (sujeitos à conformidade com as leis e regulamentos ambientais) são responsáveis por 65% do total cumulativo de reduções de emissões de GEE até 2050 por meio da redução acentuada da taxa anual de desmatamento. O registro de 2004-2012 já demonstrou o potencial destas medidas se puderem ser novamente adotadas com êxito. As medidas de comando e controle permitem também aumentar a captura de carbono, aumentando o número e a superfície das áreas de conservação (por exemplo, áreas de preservação permanente, demarcação de terras indígenas e outras reservas legais).

A política de precificação do carbono pode fornecer 35% do total de emissões acumuladas evitadas até 2050 em diferentes setores: AFOLU (59%), Transportes (21%), Indústria (13%) e Oferta de energia (7%). A

restauração da vegetação nativa em áreas públicas e privadas tem um potencial de redução significativo e custos mais baixos do que em outros setores. Permite a remoção de 1650 Mt CO₂e até 2050, quando a restauração da vegetação nativa atinge 30,18 milhões de ha. As áreas privadas apresentam custos mais atrativos do que as áreas públicas (5,3 versus 12,9 USD/t CO₂e em 2021, 6,1 versus 21,3 em 2031 e 6,8 versus 23,5 em 2041). Considerando a aplicação do Código Florestal, as áreas privadas geram maiores emissões evitadas cumulativas nos períodos 2021-2030 (181 versus 57 Mt CO₂e) e 2031-2040 (322 versus 302 Mt CO₂e) do que as áreas públicas. No entanto, na última década, a maior parte das remoções vem de áreas públicas, graças a uma melhor relação custo-benefício. Assim, sua contribuição para as emissões cumulativas evitadas de GEE ao longo do período 2020-2050 alcança 1.650 contra 1.075 Mt CO₂e de áreas privadas.

A análise dos custos de mitigação indica a trajetória dos preços do carbono. Os custos de uma determinada opção de mitigação podem variar ao longo das três décadas devido ao aumento das economias de escala e variações nos pressupostos de custo (por exemplo, diminuição dos custos para veículos elétricos e eletricidade renovável). A Tabela 3 apresenta as emissões evitadas acumuladas de cada década por faixa de custo de mitigação (USD/t CO₂e).

Uma parte significativa das emissões evitadas pode ser obtida a custos negativos. Por exemplo, as trocas de modais no setor do transporte de mercadorias (por exemplo, de rodoviário para ferroviário e aquaviário), uma vasta gama de medidas de eficiência energética na indústria e práticas agrícolas sustentáveis (por exemplo, sistemas de plantio direto, fixação biológica de nitrogênio) podem ser implementadas a custos negativos até 2050. Na última década, essa participação foi reduzida para 13%.

Um caminho para emissões líquidas zero de GEE em 2050 pode ser alcançado com um preço de carbono de 19,0, 34,1 e 49,3 USD/t CO₂e, respectivamente, em cada década (taxa de câmbio de 2020). AFOLU continua a ser o setor-chave, uma vez que apresenta o maior potencial de mitigação, com um baixo custo por emissão de GEE evitada. As medidas de eficiência energética na indústria e a eletromobilidade no transporte de passageiros também fazem contribuições relevantes. A carteira de ações de mitigação identificada apresenta um declínio significativo nos retornos marginais após 26,6 USD/t CO₂e. Portanto, uma trajetória muito mais econômica dos preços do carbono (como 19,0, 22,8 e 26,6 USD/t CO₂e em cada década, por exemplo) pode fornecer uma meta ambiciosa de mitigação em 2050, não garantindo, mas se aproximando da neutralidade climática, pois forneceria 100%, 87% e 94% das emissões acumuladas evitadas no DDS em cada década. Isso se deve principalmente à hipótese de utilização apenas das tecnologias disponíveis. Ele ilustra o vasto potencial de mitigação pronto para ser aproveitado a baixos custos no Brasil, mesmo antes da implantação de novas tecnologias disruptivas que devem entrar em operação até 2050.

Tabela 3. Emissões evitadas cumulativas (CPS-DDS) por faixa de custo de ações de mitigação, por década (Mt CO₂e)

Faixas de custo da ação de mitigação (USD / t CO ₂ e)	2021 – 2030		2031 – 2040		2041 – 2050	
	Mt CO ₂ e	% Mt CO ₂ e / período	Mt CO ₂ e	% Mt CO ₂ e / período	Mt CO ₂ e	% Mt CO ₂ e / período
até 3,8	365	36%	1.060	40%	1.647	32%
até 7,6	659	65%	1.613	62%	2.236	43%
até 11.4	659	65%	1.613	62%	3.299	63%
até 15.2	963	95%	1.619	62%	3.299	63%
até 19.0	1,013	100%	1.619	62%	3.299	63%
até 22,8			2.282	87%	3.308	63%
até 26.6			2.309	88%	4.916	94%
até 30.4			2.319	89%	4.916	94%
até 34.2			2.618	100%	4.916	94%
até 49.3					5.254	100%

Fonte: com base em La Rovere, et al. (2021) e Unterstell, La Rovere et al. (2021)

- Implicações macroeconômicas e sociais do cenário de mitigação

O DDS permite alcançar a neutralidade de carbono, mantendo resultados de desenvolvimento econômico e social ligeiramente melhores do que o CPS. Ao longo do período até 2050, o PIB e o PIB per capita são ligeiramente mais elevados, a taxa de desemprego é ligeiramente inferior e o rendimento disponível médio para a classe de rendimento familiar mais pobre é ligeiramente superior ao CPS. As Tabelas 4 e 5 comparam os resultados macroeconômicos e sociais dos dois cenários.

Tabela 4. Principais resultados macroeconômicos dos cenários

Cenário	2015	2020	CPS (2030)	CPS (2050)	DDS (2030)	DDS (2050)
População	203	212	225	233	225	233
PIB (Bilhões 2020 USD)*	1.438	1.405	1.810	2.692	1.814	2.695
Varição do PIB em relação ao CPS	-	-	-	-	0,3%	0,1%
PIB per capita (Mil 2020 USD)	7,07	6,64	8,05	11,56	8,07	11,57
Balança Comercial (% do PIB)	-0,4%	-1,0%	-0,4%	-0,2%	-0,5%	-0,9%
Taxa de desemprego (%)	9,5%	7,6%	6,9%	7,4%	6,8%	7,2%
Índice de preços em relação ao CPS (CPS=1)	-	-	-	-	1,01	1,04
Total das emissões líquidas (Mt CO ₂ e)	1.564	1.511	1.679	1.868	957	-87
Emissões per capita (t CO ₂ e)	7,70	7,13	7,46	8,02	4,25	-0,37
Preço do carbono (2020 USD/t CO ₂ e)	-	-	-	-	19,0	49,3
Receitas de precificação de carbono (Bilhões 2020 USD)	-	-	-	-	16,0	43,0

* taxa de câmbio: 5,15 R\$/USD (2020).

Fonte: com base em La Rovere, et al. (2021) e Unterstell, La Rovere et al. (2021)

Tabela 5. Renda disponível das famílias por cenário e por classe de renda, 2015-2050

Cenário	2015	2020	CPS (2030)	CPS (2050)	DDS (2030)	DDS (2050)
Renda Disponível HH1 (2015=1) (20% mais pobres das famílias)	1,00	1,05	1,45	2,43	1,46	2,46
Renda Disponível HH2 (2015=1) (40% dos domicílios)	1,00	1,04	1,38	2,16	1,38	2,17
Renda Disponível HH3 (2015=1) (30% dos domicílios)	1,00	1,01	1,29	1,92	1,29	1,93
Renda Disponível HH4 (2015=1) (10% mais ricos das famílias)	1,00	0,98	1,22	1,79	1,23	1,80
Renda Disponível HH1 (em relação ao CPS)	-	-	-	-	0,3%	1,15%
Renda Disponível HH2 (em relação ao CPS)	-	-	-	-	0,07%	0,35%
Renda Disponível HH3 (em relação ao CPS)	-	-	-	-	-0,01%	-0,08%
Renda Disponível HH4 (em relação ao CPS)	-	-	-	-	-0,06%	-0,28%

Fonte: com base em La Rovere, et al. (2021) e Unterstell, La Rovere et al. (2021)

A política de precificação do carbono conduz a níveis de preços internos mais elevados, contribuindo para a deterioração dos termos de troca e afetando os resultados da balança comercial. A relação déficit da balança comercial/PIB é mais elevada no DDS do que no CPS, ao longo do período até 2050, embora inferior à de 2020 (mas superior à de 2015).

A reciclagem inteligente das receitas da precificação de carbono pode ser socialmente amigável. As receitas de carbono são distribuídas de volta para a economia, mantendo a evolução da capacidade líquida de financiamento do governo idêntica nos cenários CMA e REF, sob as seguintes regras: (i) parte das receitas de carbono é transferida de volta do governo para as famílias para neutralizar o efeito do preço do carbono sobre poder de compra; (ii) o

restante das receitas de carbono é usado para reduzir os encargos trabalhistas. Este último reduz as distorções na economia e é fundamental para criar mais 150 mil empregos no DDS em comparação com o CPS. Esses empregos são criados principalmente nos setores de serviços, transporte, florestas e biocombustíveis. O preço do carbono penaliza os setores intensivos em carbono em uma proporção mais alta, e a reciclagem das receitas de carbono favorece setores mais intensivos em mão-de-obra e classes domésticas mais pobres.

Os níveis mais elevados de emprego e salário no DDS melhoram a distribuição de renda. O impacto positivo nos níveis de renda das famílias é particularmente relevante nos grupos HH1 e HH2 (60% da base), que dependem mais da renda do trabalho. O HH1 (os 20% de domicílios mais pobres, a maioria dos quais estava abaixo da linha de extrema pobreza no ano base) se beneficia ainda mais do cenário DDS devido às transferências diretas das receitas de carbono coletadas do governo.

O DDS permite a neutralização das emissões de GEE em 2050, ao mesmo tempo em que mitiga os efeitos adversos da tributação do carbono nas famílias pobres. Os ganhos de renda disponível no DDS são significativos em comparação com o CPS, graças a níveis mais altos de atividade, menores encargos trabalhistas e maiores transferências do governo, que se refletem em mais empregos e maior renda. O DDS também é progressivo na distribuição de renda ao longo do período até 2050, já que as classes de renda mais baixas apresentam maior crescimento da renda disponível do que as mais ricas e um aumento mais rápido do que no CPS.

- Políticas e ações prioritárias de curto prazo no caminho para o zero líquido em 2050

As prioridades para o curto prazo derivadas da análise de cenários são:

- ✓ Retomar as políticas bem-sucedidas adotadas no passado recente (2004-2012) para reduzir drasticamente as taxas anuais de desmatamento (comando e controle e instrumentos econômicos).
- ✓ Desenvolver mecanismos financeiros inteligentes para promover o financiamento de oportunidades de investimento, principalmente na restauração da cobertura florestal e infraestrutura de baixo carbono.
- ✓ Precificação do carbono: fornecer um sinal estável e de longo prazo para induzir os agentes econômicos a escolher tecnologias de baixo carbono por meio de um esquema de *cap-and-trade* bem estruturado para a indústria e uma taxa de carbono em outros setores.
- ✓ Contar com o setor AFOLU para reduzir e capturar a maior parcela de emissões na primeira metade do século para se aproximar da meta líquida zero até 2050 ajuda a reduzir os custos gerais para o Brasil e fornece tempo suficiente para que as tecnologias disruptivas sejam economicamente viáveis.

No setor de AFOLU, políticas e ações focadas na redução do desmatamento e no aumento dos sumidouros de carbono são fundamentais no Brasil. Infelizmente, o governo que se encerrou em 2022 interrompeu várias políticas ambientais bem-sucedidas; portanto, as taxas anuais de desmatamento aumentaram nos últimos anos. A

retomada das estratégias de comando e controle – monitoramento, fiscalização, cobrança de multas e aplicação de embargos – que já são conhecidas e eficazes na redução do desmatamento, é considerada uma prioridade de curto prazo. Outras políticas e ações efetivas são: promover a articulação e a integração entre os diversos órgãos governamentais; regularização ambiental e fundiária; concessão florestal em terras públicas não designadas para qualquer uso específico; ampliação das áreas de conservação sob a categoria de unidades de conservação e demarcação de terras indígenas.

No setor agropecuário, políticas e ações efetivas estão associadas ao condicionamento de empréstimos públicos em condições favoráveis a agricultores e pecuaristas ao cumprimento do Código Florestal e das normas ambientais (Cadastro Ambiental Rural – CAR); monitoramento da origem dos produtos agrícolas (rastreadabilidade) e restrição à comercialização de produtos associados ao desmatamento; e mecanismos financeiros para promover práticas agrícolas de baixo carbono, incluindo assistência técnica e extensão rural.

No transporte, as reduções mais rápidas de emissões de GEE no curto prazo podem ser alcançadas acelerando-se o programa **RenovaBio** com metas maiores para as vendas de biocombustíveis e atualizando-se regularmente as metas de eficiência energética para motores de combustão interna. Isso inclui um maior incentivo público aos biocombustíveis de segunda geração, particularmente HVO, cada vez mais adicionado às misturas de biodiesel-diesel. A introdução da taxa de carbono sobre a gasolina e o diesel também é necessária. Além disso, é necessário implantar um conjunto complementar de instrumentos de política para priorizar o transporte público. Isso significa aumentar os subsídios e as isenções fiscais aos sistemas de transporte público de massa para melhorar a capacidade do setor de lidar com a incerteza e a instabilidade econômica pós-pandemia. A concepção e implementação de novos modelos de negócio associados à penetração dos carros elétricos pode ajudar a recuperar e melhorar o serviço de transporte rodoviário urbano (altamente impactado pela pandemia). Além disso, o desenvolvimento e a aprovação de normas e regulamentos, combinados com campanhas de educação e conscientização, são necessários para o crescimento do mercado de veículos elétricos (principalmente nas áreas metropolitanas).

O apoio financeiro ao investimento em tecnologias de baixo carbono através de mecanismos de crédito e isenções fiscais são prioridades de curto prazo para a indústria. A transição para uma indústria menos intensiva em carbono deve ser apoiada por investimentos significativos e uma mudança na atual estrutura financeira que não favorece as tecnologias de baixo carbono. O acesso a produtos financeiros e isenções fiscais para esses tipos de investimento é necessário para torná-los mais rentáveis. Além disso, um sistema de *cap-and-trade* para redução de emissões de GEE na indústria, permitindo compensações da AFOLU até um limite, é fundamental para ajudar a descarbonizar o setor. A precificação do carbono melhora a competitividade e os benefícios às empresas que assumem a liderança.

No que diz respeito à oferta de energia, é fundamental manter a política energética nacional orientada para explorar o potencial de implantação de energias renováveis. Um esquema de precificação do carbono incentivará o uso e a produção de biocombustíveis e evitará o aumento da capacidade de geração de energia termelétrica a combustíveis fósseis. O gás natural é um combustível de transição para uma transformação sustentável do sistema energético, enquanto devem ser aplicados incentivos para acelerar o descomissionamento da geração a carvão. A

eliminação gradual dos subsídios aos combustíveis fósseis, que não ajudam os pobres e dificultam os esforços em matéria de energias renováveis e de eficiência energética, é também uma medida fundamental. A reforma dos subsídios aos combustíveis fósseis deve ser acompanhada de um apoio transitório direcionado e limitado no tempo para indústrias, comunidades, regiões e consumidores vulneráveis. Os incentivos à geração distribuída de energia solar fotovoltaica têm de ser mantidos durante algum tempo (os subsídios e as isenções fiscais só seriam totalmente retirados em 2045).

No setor dos resíduos, é fundamental conceber e implementar incentivos e regulamentos adequados para promover a captura e queima do biogás e a sua utilização como combustível. Promover a capacitação dos municípios e incentivar parcerias para desenvolver um portfólio de oportunidades de investimento também é fundamental. O aumento das taxas de reciclagem pode ser alcançado através de uma regulamentação mais rigorosa e de sinais de mercado corretos para incentivar a reinserção de materiais de sucata e resíduos pós-consumo no ciclo económico.

- Principais facilitadores e aceleradores internacionais de transições domésticas

As principais condições internacionais que tornam o DDS plausível no Brasil são:

- ✓ Forte esforço internacional para cumprir o Acordo de Paris, com a maioria dos países adotando a precificação do carbono.
- ✓ Apoio substancial dos países do Anexo I para promover fluxos financeiros direcionados para ações de mitigação em países não incluídos no Anexo I, incluindo tanto os instrumentos de financiamento climático no âmbito da UNFCCC (GCF, SDM) como as iniciativas financeiras internacionais para canalizar capital privado para investimentos de baixo carbono.
- ✓ Os preços internacionais do petróleo permitem que a produção doméstica de petróleo *offshore* do pré-sal seja competitiva.
- ✓ Mecanismos comerciais preferenciais com impostos mais baixos que incentivem as importações de produtos de baixo carbono (por exemplo, aço verde) pelos países do Anexo I e exijam rastreabilidade e prova de origem das exportações de produtos agrícolas e florestais (contribuindo para o controle do desmatamento no Brasil).

AFOLU: Imposto de ajuste de fronteira de acordo com as pegadas de carbono e incentivos de mercado para produtos agrícolas e florestais com rastreabilidade e comprovação de origem podem ajudar a controlar o desmatamento no Brasil. A crescente demanda internacional por pellets de madeira pode ajudar o Brasil a plantar florestas para exportação maciça. O consumo global de carne per capita aumentará, e o Brasil continuará sendo um importante ator global no fornecimento de carne bovina. A demanda continuará aumentando à medida que a carne se tornar mais acessível nos países em desenvolvimento e menos desenvolvidos. O crescimento económico global, especialmente em países asiáticos e latino-americanos com grandes classes médias, favorecerá o crescimento da demanda por carne, mesmo com um declínio na demanda dos países desenvolvidos.

Transportes: A consciencialização global e os interesses locais (decisores políticos e potenciais investidores) convergirão, tornando a mobilidade elétrica a bateria a principal mudança tecnológica no setor dos transportes, em detrimento, por exemplo, dos veículos a célula de combustível, dos híbridos não plug-in e dos convencionais equipados com motores de combustão interna. O fim da produção de veículos de passageiros com motores de combustão interna em larga escala ocorrerá primeiro nos países exportadores líderes. Ao mesmo tempo, a relação entre preço e densidade energética das baterias continuará em declínio, atingindo a paridade de preço de compra em relação aos veículos convencionais no Brasil entre 2035 e 2040. O ritmo lento em comparação com os principais atores globais se deve à ausência de fabricantes e fornecedores locais de veículos elétricos e a uma moeda instável. As principais rotas que conectam as áreas metropolitanas regionais e nacionais entre os países fornecerão estações de carregamento para médias e longas distâncias. Os problemas relacionados à interoperabilidade entre estações geridas por diferentes operadores e a segunda vida útil das baterias de veículos elétricos não serão representativos. Os biocombustíveis *drop-in* serão fundamentais ao considerar soluções não elétricas em todos os países, sendo alocadas sobretudo ao transporte de carga de longa distância.

Indústria: A precificação global de carbono e a implantação de tecnologias de baixo carbono ajudam a indústria nacional a embarcar em um caminho de descarbonização. Os preços globais do carbono tornarão os produtos menos intensivos em carbono mais competitivos, recompensando os pioneiros que investem em tecnologias de baixo carbono. Novos processos industriais econômicos reduzirão a pegada de carbono do cimento e do aço. Os custos de investimento são um dos principais obstáculos para o setor. Tecnologias como a redução direta do minério de ferro usando hidrogênio são caras para a indústria brasileira. A consolidação de novas tecnologias e a diminuição de custos serão fundamentais para ajudar na descarbonização do setor industrial.

Oferta de energia: Pesquisa, desenvolvimento e transferência de tecnologia mais eficazes e financiamento internacional de investimento de longo prazo são os principais facilitadores para a descarbonização no setor. A disponibilidade de tecnologias custo-efetivas de gás natural para substituir o carvão e os derivados de petróleo na indústria (por exemplo, redução direta do minério de ferro para a fabricação de aço), bem como para a geração de energia com baixo fator de carga (para complementar fontes de energia intermitentes, como geração eólica e solar) ajudará a evitar o *lock-in* de carbono (se o gás natural for canalizado para a geração de energia de carga na base). Os preços internacionais do petróleo permitirão que a produção doméstica de petróleo *offshore* do pré-sal seja competitiva. Isso proporcionará a oportunidade de ampliar o uso da renda do petróleo para a melhoria da educação e da saúde no país. A reciclagem das receitas de preços de carbono para reduzir os impostos sobre o trabalho e reduzir os custos de capital incentivará a criação de empregos e o investimento em infraestrutura de baixo carbono, melhorando a produtividade econômica geral.

Resíduos: Os fluxos financeiros internacionais, tanto através do artigo 6.º do Acordo de Paris como dos mercados voluntários de carbono, podem aumentar significativamente os investimentos na captura e queima de biogás. A promoção da utilização do biogás como fonte de energia (por exemplo, como biometano) e a transferência de tecnologia de outras soluções ambientalmente adequadas podem ajudar a mitigação neste setor.

- Resumo das principais conclusões

- ✓ O DDS é apenas um entre muitos caminhos para o Brasil alcançar a neutralidade climática até 2050.
- ✓ Pressuposto subjacente: utilização apenas das tecnologias disponíveis; enorme potencial de mitigação a baixos custos no Brasil mesmo antes da implantação de *breakthroughs* tecnológicos.
- ✓ A redução acentuada da taxa anual de desmatamento e a restauração da vegetação nativa em áreas públicas e privadas têm um potencial de redução significativo e custos mais baixos do que as ações de mitigação em outros setores.
- ✓ Um caminho para emissões líquidas zero de GEE em 2050 pode ser alcançado com um preço de carbono de 19,0, 34,1 e 49,3 USD / t CO₂e, respectivamente, em cada década.
- ✓ Esta via de precificação do carbono permite estabelecer metas e marcos setoriais de mitigação consistentes com uma meta de emissões líquidas zero de GEE em toda a economia em 2050, abrindo caminho para a criação de um esquema de *cap-and-trade* para o setor industrial e planos de mitigação setoriais.
- ✓ O DDS permite alcançar a neutralidade de carbono e, ao mesmo tempo, alcançar resultados de desenvolvimento econômico e social ligeiramente melhores do que o CPS (graças a uma reciclagem inteligente das receitas de precificação de carbono).

- Visualização dos resultados do país

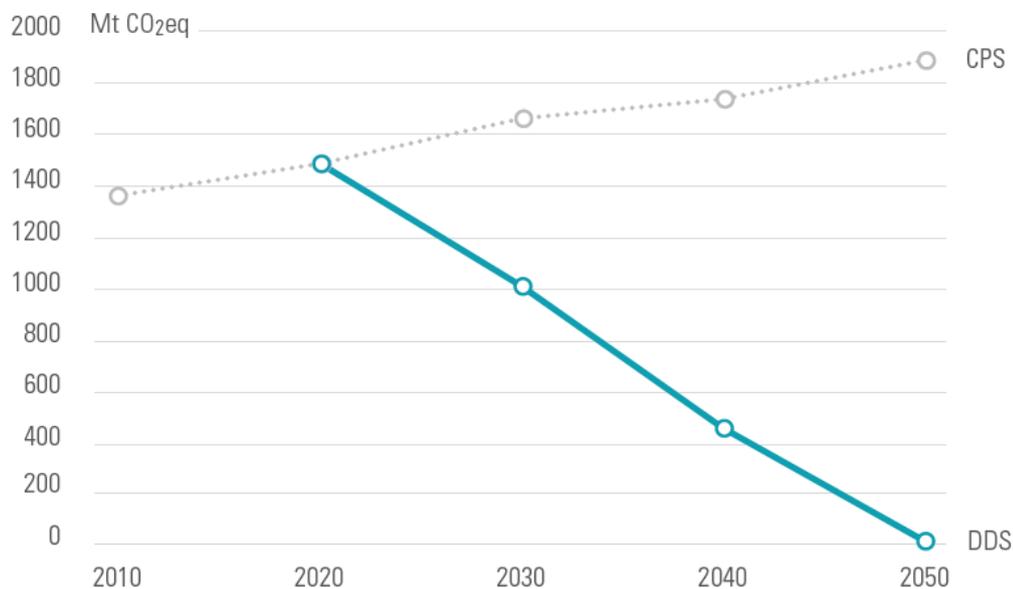


Figura 2. Emissões de GEE sob os cenários de políticas atuais (CPS) e de descarbonização profunda (DDS) (Mt CO₂e)

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

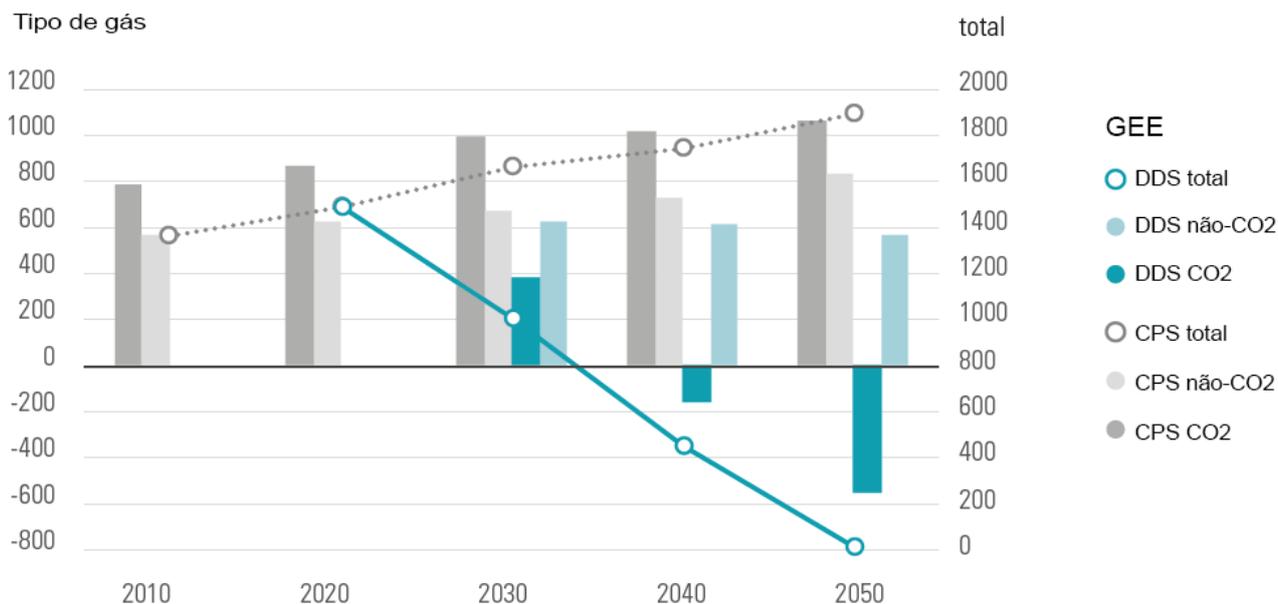


Figura 3. Emissões de GEE, CO₂ e não-CO₂, nos cenários (Mt CO₂e)

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

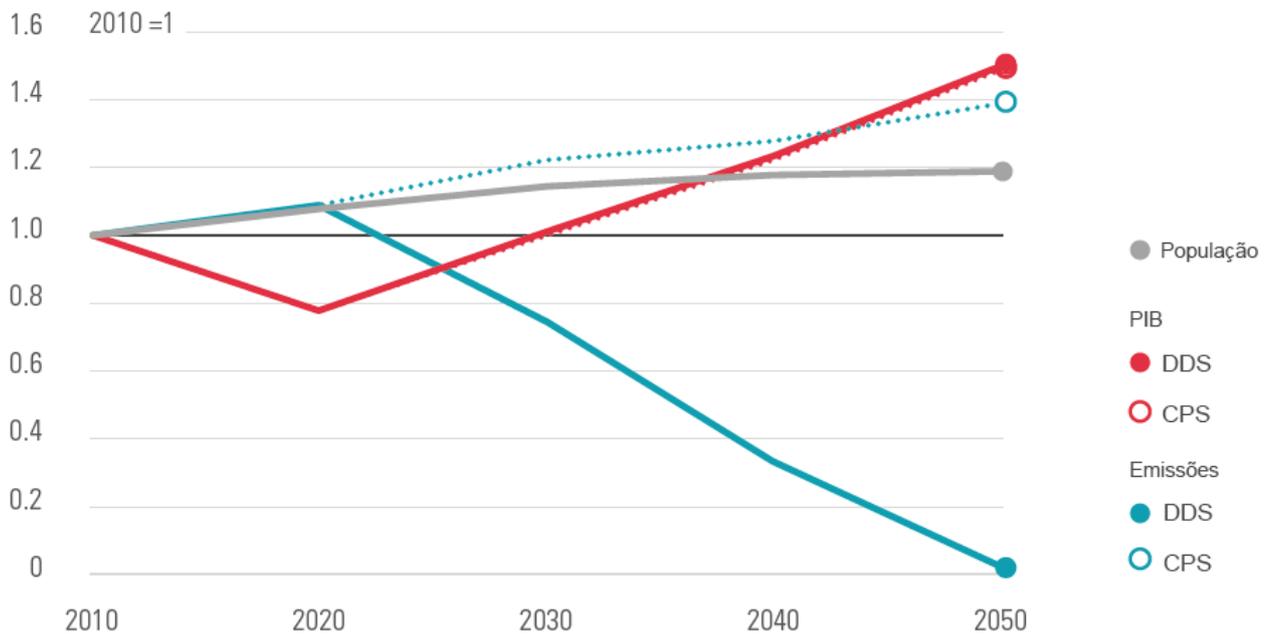


Figura 4. Emissões de GEE x População x PIB (2010 =1)

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

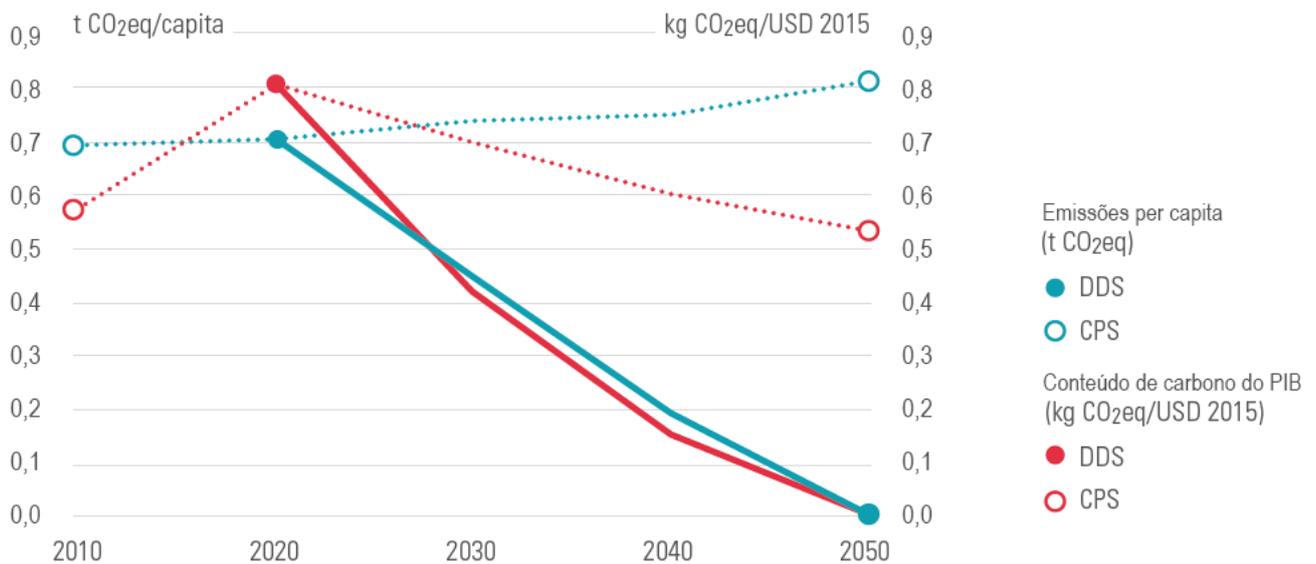


Figura 5. Intensidade de emissões per capita e por PIB

Fonte: La Rovere, et al. (2021)

Nota: O indicador da direita usa USD de 2015.

5. Visão Geral das Barreiras, Instrumentos Políticos Seleccionados e Oportunidades de Investimento

5.1. Abordagem Metodológica

O processo de elaboração dos planos de mitigação setorial apresentados no presente relatório incluiu vários diálogos multilaterais (organismos governamentais, sector empresarial, comunidade científica e ONGs) para cada sector, cujo *feedback* é incorporado ao longo do desenvolvimento do estudo. Essa interação da equipe técnica com os *stakeholders* contribui para a validação e maior concretude dos resultados, além de ajudar a reduzir as incertezas quanto aos riscos políticos envolvidos nas opções, contribuindo para aumentar a conscientização dos investidores sobre alguns nichos de oportunidades para investir em ações de mitigação no Brasil, foco deste relatório.

As ações de mitigação enfrentam muitas barreiras para atrair investimentos em um país em desenvolvimento como o Brasil. As barreiras mais fundamentais são herdadas do processo histórico que levou à inserção do Brasil na economia global como país periférico. Eles são geralmente conhecidos como os "riscos políticos" do país (instabilidade política; condições macroeconômicas; risco cambial (flutuações da taxa de câmbio); risco de inflação; dívida pública; dívida externa; flutuação das taxas de juros; insegurança legal, entre outros).

O Plano de Mitigação aborda os obstáculos a nível microeconômico, identificando ou desenvolvendo instrumentos e mecanismos financeiros adequados e propostas de alteração de políticas. Diferentes barreiras para as ações de mitigação são encontradas juntamente com as etapas do ciclo de planejamento e implementação, desde a concepção até a redução real das emissões de GEE em comparação com uma linha de base.

A metodologia geral aplicada na elaboração de cada Plano Setorial inclui:

- Revisão de literatura;
- Revisão de estudos de mitigação nacionais anteriores e exercícios de cenários de baixo carbono (La Rovere et al, 2018);¹¹
- Identificação das ações de mitigação mais relevantes em cada setor, com base na identificação e seleção prévias dos principais obstáculos que afetam o seu desempenho e dos instrumentos para superar esses obstáculos;
- Verificação e apresentação do estado atual das ações de mitigação;
- Mapeamento de stakeholders e realização do processo de consulta de especialistas através de telefone, e-mail, reuniões virtuais, roteiros de entrevistas semiestruturadas e estruturadas, diálogos *multistakeholders* organizados pelo Centro Clima no âmbito de projetos sinérgicos (Projeto ACT DDP e Projeto Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030);
- Coleta e tratamento das respostas ao processo de consulta; e

¹¹ La Rovere et al., 2018.

- Detalhamento de oportunidades de investimento pré-selecionadas.

A aplicação deste quadro metodológico baseou-se no julgamento de especialistas da equipe do Centro Clima e na validação dos *stakeholders* consultados. A experiência anterior com a quantificação de diferentes vias de emissão de GEE para cumprir as metas brasileiras no âmbito do Acordo de Paris, com o envolvimento de vários *stakeholders* nas equipes de construção de cenários (SBT- *Scenario Building Team*), foi particularmente valiosa. Em vários estudos realizados desde 2014 (ver <http://www.centroclima.coppe.ufrj.br/index.php/br/estudos-e-projetos/encerrados>), os cenários de descarbonização profunda foram comparados com os cenários de políticas atuais. A avaliação de desempenho das políticas, planos e programas de mitigação atualmente em andamento foi necessária para projetar cenários de referência de emissões de GEE no futuro. A análise de tendências passadas e atuais tem permitido avaliar a lacuna entre as metas de mitigação e os resultados, indicando a falta de efetividade das atuais ações de mitigação causada por diferentes barreiras à sua implementação. Os principais *stakeholders* já estiveram envolvidos em estudos anteriores do Centro Clima no âmbito das equipes de construção de cenários (SBT) e foram novamente consultados no âmbito deste projeto ao longo de 2020 e 2021, a fim de atualizar a análise e validar a priorização de barreiras – propostas de políticas – oportunidades de investimento de acordo com dois critérios fundamentais: mérito e viabilidade.

A metodologia para uma abordagem orientada para as partes interessadas inclui as seguintes etapas principais:

- Apresentar, discutir, obter *feedback* e validar pressupostos e resultados dos enredos e cenários iniciais elaborados pelo Centro Clima para o Cenário de Políticas Atuais (CPS) e o Cenário de Descarbonização Profunda (DDS);
- Identificar as principais barreiras para materializar o DDS e os instrumentos políticos (tanto de comando e controle quanto econômicos) para superá-los.

Em abril de 2021, realizamos uma série de quatro *webinars* multissetoriais para o projeto ACT DDP que, juntamente com os comentários e sugestões que recebemos dos parceiros do projeto DecarBoost, permitiram um primeiro relatório incorporando os *insights* fornecidos. Os eventos foram:

(i) Cenário Nacional para atingir Emissões de GEE Líquidas Zero até 2050 (100 participantes, em 7 de abril); (ii) O Setor Elétrico (65 participantes, no dia 8 de abril); (iii) A Indústria do Cimento (43 participantes, no dia 13 de abril); e (iv) AFOLU, com foco na cadeia produtiva da carne (31 participantes, no dia 15 de abril). Além disso, outra iniciativa de consulta foi realizada virtualmente para o Projeto Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030 entre julho e outubro de 2021, envolvendo aproximadamente 150 especialistas técnicos e cem lideranças de governos subnacionais, parlamento, organizações da sociedade civil, comunidades, empresas, fundos de investimento, coalizões e associações privadas. Nesses eventos, foram apresentadas e discutidas as principais

barreiras e instrumentos identificados quanto ao conjunto de ações setoriais de mitigação elencadas por meio deste estudo e dos projetos acima mencionados, fornecendo elementos valiosos para o aprofundamento da análise.

Assim, cada Plano Setorial proposto neste documento baseia-se em nossas estimativas modeladas do potencial de mitigação de cada NAMA e na validação de barreiras e instrumentos obtidos de diversos *stakeholders*.

5.2. Critérios para a Seleção das Ações de Mitigação

As ações de mitigação foram selecionadas entre inúmeras opções identificadas no Cenário de Descarbonização Profunda (DDS) do projeto DDP BIICS. O conjunto de opções é consistente com os objetivos de desenvolvimento do país, pode contribuir para a atual NDC, ou mesmo aumentar sua ambição, e foi corroborado por um extenso grupo de especialistas selecionados. Essas opções estão diretamente associadas a barreiras à sua implementação, mas podem ser superadas com instrumentos adequados. Para restringir e selecionar as ações de mitigação de GEE por setor, a equipe do Centro Clima analisou o conjunto de medidas de mitigação e utilizou os seguintes critérios básicos:

- Viabilidade: aceitabilidade e aspectos operacionais;
- Mérito: potencial de emissões de GEE evitadas, custo de implementação e cobenefícios das ações de mitigação.¹²

5.2.1. Custos de Mitigação

Até 2050, o DDS incluiu 32 ações de mitigação em diferentes setores. Elas foram escolhidas de acordo com seus custos, que foram limitados aos preços do carbono definidos para cada década de modo a garantir uma trajetória de emissões que leve a emissões líquidas zero até 2050. Tais custos são: até 19,0, 34,1 e 49,3 USD/t CO₂e, em 2030, 2040 e 2050, respectivamente. Para ilustrar¹³ melhor a relação entre os custos de mitigação e o potencial de redução, destacamos separadamente nos três algarismos abaixo as principais ações de mitigação (incluindo apenas aquelas que evitam pelo menos 5 MtCO₂e) que contribuem para o abatimento total em cada década. A Figura 6 apresenta a curva de custo de abatimento marginal (MACC) para o primeiro período (2021-2030). A Figura 7 e a Figura 8 apresentam o MACC para as décadas seguintes (2031-2040 e 2041-2050, respectivamente).

¹² Melhoria da qualidade de vida da grande maioria da população graças aos cobenefícios do DDS: serviços ecossistêmicos, menor poluição do ar nas cidades, melhor infraestrutura de saneamento, etc.

¹³ Os valores foram originalmente expressos em USD de 2015, conforme calculado em análises anteriores. O preço do carbono deve ser aplicado no Brasil usando a moeda local (reais) que foi acentuadamente desvalorizada entre 2015 e 2020. Assim, foram aplicados os seguintes ajustes para fazer a conversão adequada dos valores para USD de 2020: Preço do carbono em 2030 = Br\$ 97,70 / t CO₂e na moeda de 2020 = USD 19 / t CO₂e (a 1 USD = Br\$ 5,15 em 2020). Esse valor equivale a Br\$ 78,75/t CO₂e na moeda de 2015 = USD 25/t CO₂e (a 1 USD = Br\$ 3,15 em 2015).

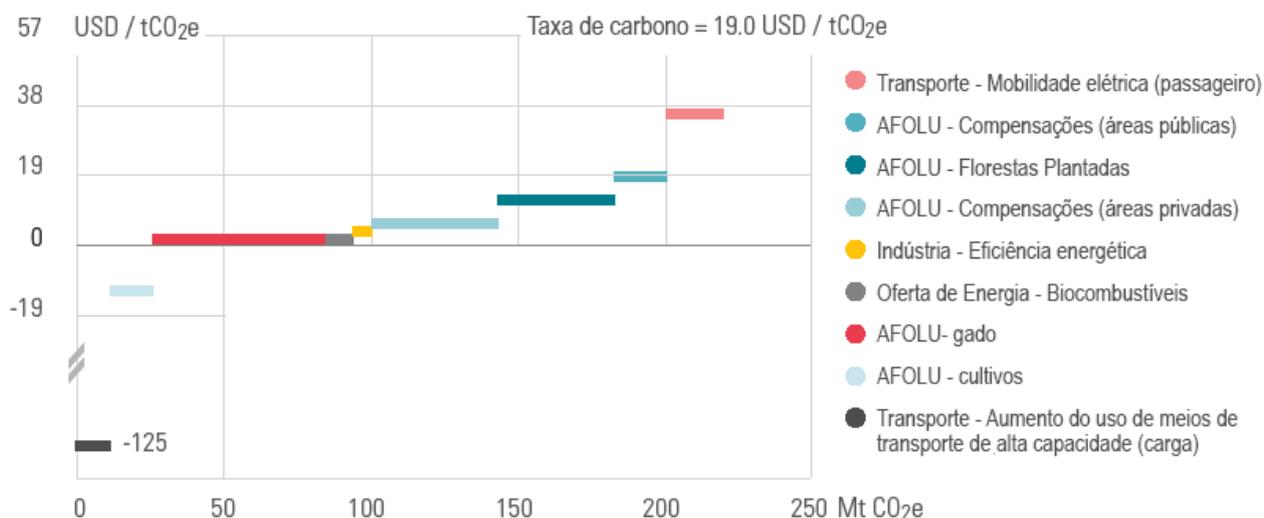


Figura 6. Curva de custo de abatimento marginal 2021-2030 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO_{2e})
Fonte: a partir de La Rovere et al (2021)

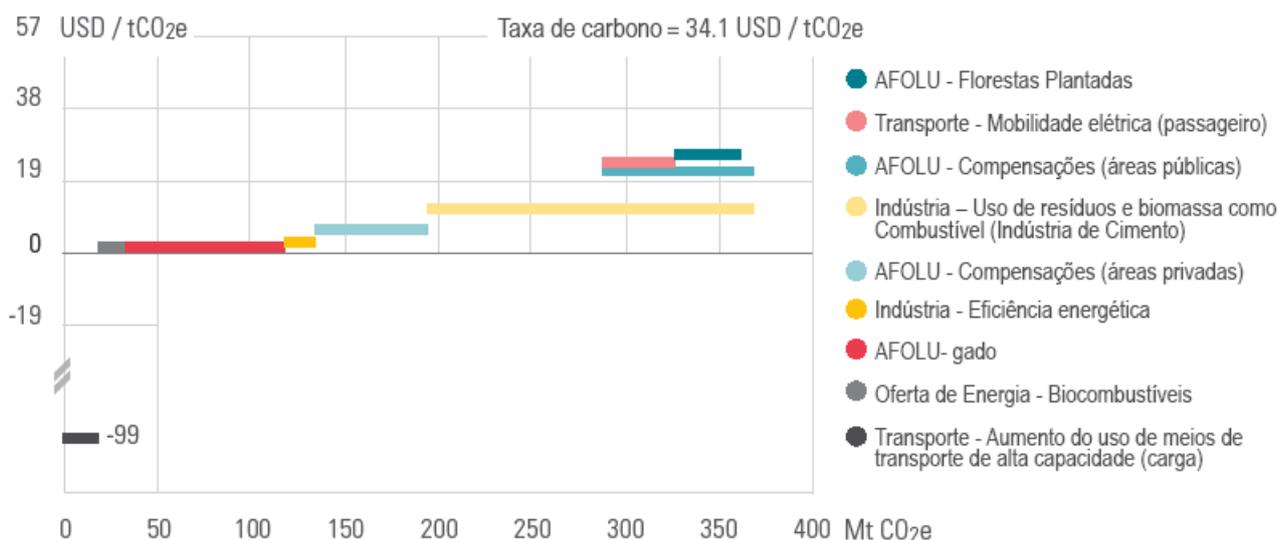


Figura 7. Curva de custo de abatimento marginal 2031-2040 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO_{2e})
Fonte: a partir de La Rovere et al (2021)

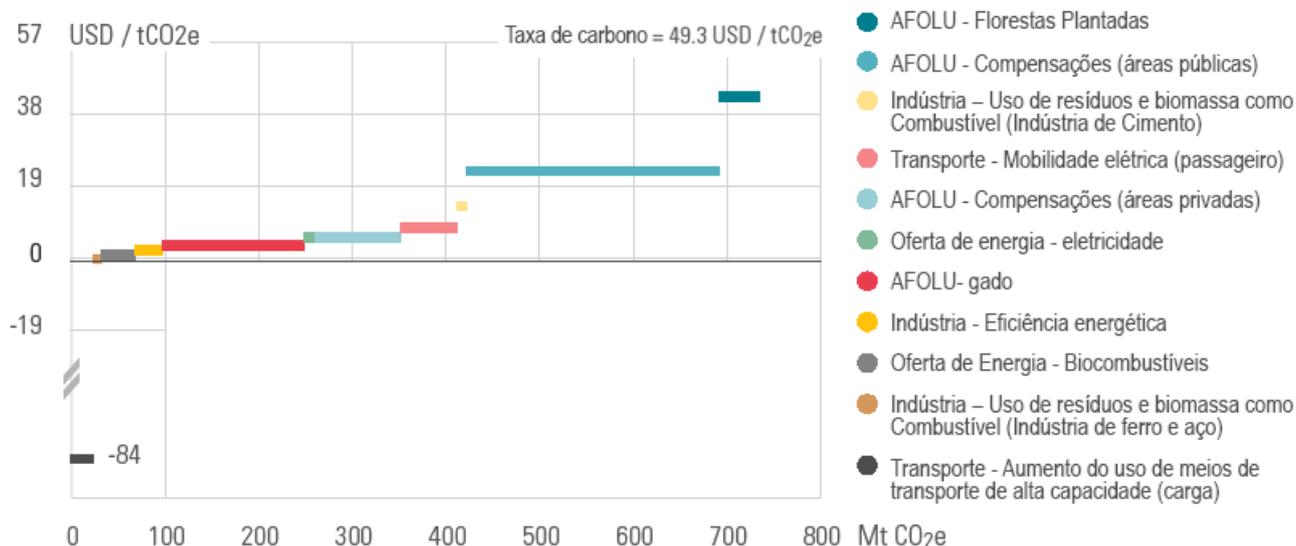


Figura 8. Curva de custo de abatimento marginal 2041-2050 (ações de mitigação evitando pelo menos 5 Mt CO₂e)
Fonte: a partir de La Rovere et al (2021)

Os custos das opções de mitigação podem diminuir ao longo das três décadas devido ao aumento das economias de escala e às reduções de custo das novas tecnologias (por exemplo, diminuição dos custos para veículos elétricos e geração de energia renovável). No entanto, um pressuposto subjacente importante no cenário DDS foi o de que ele considerava apenas o uso de tecnologias disponíveis, deixando claro que um enorme potencial de mitigação está disponível a baixos custos no Brasil, mesmo antes da implantação de *breakthroughs* tecnológicos.

5.2.2. Sinergias e Compromissos com os Objetivos Não Climáticos do País

Os padrões de vida no Brasil melhorarão lentamente e a distância para os países desenvolvidos será reduzida até 2050, seguindo a tendência global. Sob o DDS, a reciclagem inteligente das receitas de precificação de carbono reduz as emissões de GEE e as desigualdades sociais. Compensar as famílias pobres pelo aumento dos níveis de preços através de cheques verdes e promover o emprego através da redução dos impostos sobre o trabalho são os principais facilitadores para maximizar a sinergia entre as políticas climáticas e fiscais. Existem várias iterações complexas com os ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável), mas as sinergias gerais com o DDS estão resumidas na Tabela 6.

Tabela 6. Sinergias com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS)

Sinergia muito alta com os ODS	
13	Ação contra a mudança global do clima (mitigação radical)
7	Energia limpa e acessível (a geração de eletricidade alcança emissões líquidas quase zero)
11	Cidades e comunidades sustentáveis (cidades mais limpas devido ao maior uso de biocombustíveis, veículos elétricos, e aumento do uso de transporte de massa público)

15	Vida terrestre (redução radical do desmatamento e aumento da proteção das florestas)
Sinergia alta com os ODS	
9	Indústria, inovação e infraestrutura (mais inovação e competitividade industrial e maior investimento em infraestrutura de baixo carbono)
17	Parcerias e meios de implementação (maior nível de cooperação internacional)
6	Água potável e saneamento (crescimento mais rápido da infraestrutura de saneamento graças a maiores investimentos destinados à mitigação de emissões)
Sinergia moderada com os ODS	
1	Erradicação da pobreza
2	Fome zero e agricultura sustentável
3	Saúde e bem-estar
8	Trabalho decente e crescimento econômico (PIB per capita e renda disponível das famílias ligeiramente superior; menor taxa de desemprego e novos postos de trabalho nos setores de serviço, transporte, florestas e biocombustíveis)
10	Redução das desigualdades
12	Consumo e produção responsáveis
Neutro em relação aos ODS	
5	Igualdade de gênero
14	Vida na água
16	Paz, justiça e instituições eficazes

Fonte: La Rovere et al (2021)

❖ **AFOLU**

A segurança alimentar global e a conservação da biodiversidade podem ser objetivos complementares e sinérgicos usando práticas agrícolas sustentáveis que protegem, restauram e promovem o uso racional dos ecossistemas, reduzindo as emissões de GEE.

O aumento do uso de práticas agrícolas sustentáveis, como culturas mistas, rotativas e de sucessão, com plantio direto e integração lavoura-pecuária-silvicultura, proporcionam co-benefícios, como otimização e intensificação da ciclagem de nutrientes do solo, maior retenção de água do solo, conservação da biodiversidade e aumento da produtividade agrícola.

Proteger, restaurar e promover o uso sustentável das florestas, incluindo a diversificação e a gestão florestal, previne a desertificação, interrompe/reverte a degradação dos solos e reduz as perdas de biodiversidade. Além disso, o estoque de carbono florestal também contribui para a redução de emissões por meio do uso de produtos de base florestal para substituir recursos não renováveis.

❖ **Transporte**

Além de reduzir as emissões de GEE, a mobilidade elétrica proporciona cobenefícios consideráveis para a saúde, para a segurança energética e para os gastos com a seguridade social da população afetada. Existe uma relação direta entre o orçamento da saúde e a poluição do ar nas cidades, causada principalmente por veículos equipados

com motores de combustão interna. Quanto mais os planejadores urbanos percebem uma redução nas internações hospitalares por problemas respiratórios, bem como de implicações associadas ao elevado ruído de tráfego, mais incentivam o uso de veículos elétricos nas regiões metropolitanas, principalmente motocicletas, ônibus e caminhões leves. A disseminação da mobilidade elétrica acompanha a expansão da oferta de eletricidade e telecomunicações para áreas remotas, levando a um maior controle de tensão na rede secundária. Por fim, a mobilidade elétrica no transporte rodoviário e ferroviário reduz a dependência do óleo diesel, um grande problema no Brasil, especialmente no transporte de carga. Além de ser uma fonte de energia mais cara e poluente, a alta volatilidade dos preços do petróleo bruto e do diesel mineral tem causado instabilidade social, incluindo greves e atos disruptivos, bem como pressões inflacionárias.

❖ **Indústria**

A descarbonização através de uma maior eficiência energética promove a produtividade industrial e a geração de emprego para recursos humanos qualificados na indústria e em toda a sua cadeia de suprimentos. A adoção de processos industriais de baixo carbono e outras inovações aumenta a competitividade e a resiliência. Além disso, a melhoria da eficiência energética e o aumento de combustíveis alternativos reduzem a dependência externa e os riscos associados às flutuações cambiais e nos preços das commodities energéticas, uma vez que as indústrias siderúrgica e cimenteira importam uma parcela significativa de seus combustíveis.

❖ **Oferta de Energia**

A expansão da produção de energia renovável e acessível (com a geração de energia atingindo quase zero emissões líquidas até 2050) promove a geração de emprego, reduz a poluição do ar e da água e melhora o bem estar e a resiliência social em geral. A implantação descentralizada de energia eólica e solar permite o desenvolvimento regional e é uma excelente oportunidade para estimular o crescimento econômico em comunidades distantes. O desenvolvimento da bioenergia em várias formas e para diferentes fins tem muitas sinergias com o desenvolvimento industrial e a proteção ambiental nas áreas rurais. A energia eólica offshore ganha força no Brasil, contando com diversos projetos em fase de licenciamento ambiental. Essa energia contribuirá para a produção do hidrogênio verde.

❖ **Resíduos**

A redução de baixo custo das emissões de GEE disponível qual seja a captura e queima de biogás de aterros incentiva o investimento em saneamento e ajuda a acelerar a construção da infraestrutura necessária para preencher a lacuna histórica no nível de cobertura do serviço. As famílias de baixa renda são as principais beneficiárias dessa expansão do serviço, trazendo benefícios sociais consideráveis. A geração de energia através da incineração controlada de resíduos nas grandes cidades, o uso de combustível derivado de resíduos (RDF) e o biogás como combustível na indústria aumentam a oferta de energia.

6. Requisitos de Investimento e Facilitadores Financeiros

O financiamento climático no Brasil não pode começar a ser discutido a partir do zero, pois o país tem um perfil muito peculiar em relação ao setor financeiro e aos mercados de capitais. O Brasil é bem conhecido por sua baixa taxa de poupança e alto custo de capital, que tem, ao longo dos anos, limitado os investimentos não apenas em projetos de baixo carbono, mas em infraestrutura geral. Aumentar a estabilidade política do país e melhorar os sistemas jurídicos e judiciais ajudará a reduzir riscos como altas taxas de câmbio voláteis e altas taxas de juros e beneficiará o mercado de capitais, fomentando todos os tipos de investimentos no país.

Serão necessários recursos financeiros sem precedentes e um setor financeiro público e privado preocupado com o ambiente para alcançar os objetivos do Acordo de Paris e dos ODS. Os recursos públicos por si só não serão suficientes. O setor financeiro é importante para mobilizar e canalizar os recursos financeiros para investimentos de baixo carbono, resilientes e sustentáveis. Cada vez mais, os proprietários de ativos, gestores de investimentos e bancos veem essa transição como uma oportunidade de negócio e alinham suas estratégias para esse fim.

Apesar do volume crescente de investimentos verdes e sustentáveis, os montantes totais ainda estão longe dos necessários para uma economia sustentável e de baixo carbono. A resolução das questões das mudanças climáticas e do crescimento sustentável é complexa e requer ações coordenadas entre muitos atores. Nos países em desenvolvimento, a superação das barreiras estruturais é fundamental para o desenvolvimento de um setor financeiro sustentável. Essas questões são particularmente relevantes para o Brasil.

Uma análise do setor financeiro brasileiro aponta três conjuntos principais de barreiras que comprometem o desenvolvimento saudável do financiamento climático no país:

- i. A primeira está relacionada ao alto nível de subsídios aos combustíveis fósseis no país: quase R\$ 100 bilhões, correspondendo a aproximadamente 1,4% do PIB do país, em 2019. A maioria destes subsídios deve-se a incentivos e deduções fiscais.
- ii. A segunda principal barreira é a falta de instrumentos financeiros e econômicos para fomentar investimentos de baixo carbono, como os títulos verdes e a implementação de uma política de precificação de carbono no Brasil. As barreiras a isso, de acordo com a revisão da literatura e entrevistas com *stakeholders* são: percepção de riscos mais elevados, falta de oferta e demanda por títulos verdes, baixa atratividade financeira, macroambiente instável, deficiências nos sistemas jurídico e judicial, ambiente político instável, cultura conservadora de investimento e *crowding-out* devido ao crédito subsidiado.
- iii. Por último, mas não menos importante, é também necessário ajustar e propor novas políticas e regulamentos financeiros para facilitar os investimentos em projetos de baixo carbono.

Para o setor financeiro, após uma extensa revisão da literatura e uma fase de consulta a *stakeholders*, foram concentrados esforços em quatro tipos de instrumentos políticos que são fundamentais para desencadear investimentos de baixo carbono no Brasil:

- i) **Redução progressiva e eliminação dos subsídios aos combustíveis fósseis:** no Brasil, os subsídios aos combustíveis fósseis totalizaram quase R\$ 100 bilhões em 2019, correspondendo a aproximadamente 1,4% do PIB do país. O montante total dos subsídios foi igual a três vezes o programa "Bolsa Família", que transfere recursos para famílias extremamente pobres no Brasil, e a cerca de 29 vezes o total de recursos do Ministério do Meio Ambiente do Brasil em 2019. O desafio de dimensionar e alterar os incentivos aos combustíveis fósseis não pode ser negligenciado e é um caminho estratégico para alcançar a redução da produção e do consumo de combustíveis fósseis no Brasil. No entanto, do ponto de vista nacional e geopolítico, lidar com incentivos e subsídios é um enorme desafio. Além das dificuldades metodológicas, do conteúdo técnico e da falta de transparência por parte dos governos, exige, de fato, um debate político sobre a direção do desenvolvimento.
- ii) **Instrumentos Financeiros:** Debêntures verdes ou títulos verdes e debêntures incentivadas são títulos de renda fixa usados para levantar fundos para implementar ou refinar projetos de longo prazo e comprar ativos com preocupação ambiental. Acabam atraindo investidores institucionais, como fundos de pensão e seguradoras. Os países em desenvolvimento enfrentam desafios no avanço de seus mercados de títulos verdes, em grande parte porque essas nações têm economias e mercados de capitais menos desenvolvidas. Esses desafios podem estar relacionados a barreiras estruturais que comprometem o desenvolvimento do mercado de títulos e a obstáculos específicos ao aumento dos fluxos financeiros para setores de baixo carbono. No que diz respeito às barreiras estruturais, de um modo geral, o estudo conclui que as condições que fomentam o desenvolvimento de um mercado de títulos convencionais também contribuem para o desenvolvimento de um mercado de títulos verdes e, por conseguinte, devem ser perseguidas pelo país. Fundos garantidores e instrumentos financeiros de compartilhamento de risco também são iniciativas muito promissoras para acelerar investimentos de baixo carbono em países em desenvolvimento.
- iii) **Precificação do carbono:** Com a precificação do carbono, seja um imposto ou um mercado, a decisão de reduzir as emissões ou pagar o preço do CO₂e emitido é feita pelo agente econômico, que compara o preço do poluente a ser precificado com seu custo marginal de mitigação. O que se espera é que os agentes econômicos com menor custo de controle reduzam mais, pois é mais barato controlar do que pagar o preço. No Brasil, o projeto *Partnership for Market Readiness* (PMR) do Banco Mundial discutiu, simulou e analisou muitas opções de precificação de carbono em conjunto com o Ministério da Economia. O Centro Clima/COPPE/UFRJ foi responsável pelo componente de modelagem e simulou oito diferentes cenários econômicos e de emissão de GEE

até 2030, seis deles com precificação de carbono (Wills et al, 2021). De acordo com os resultados obtidos a partir das simulações, um cenário de precificação ideal no Brasil deve ter as seguintes características: a) aumento gradual de preços para permitir que os agentes se adaptem; b) amplo escopo para reduzir o preço de equilíbrio; c) ajustes fiscais de fronteira pareceram ser mais eficientes do que as opções de *grandparenting*; d) as compensações de reflorestamento florestal nativo são cruciais para o controle do preço do carbono; e) as receitas da precificação do carbono são muito importantes para reduzir os encargos trabalhistas e melhorar a distribuição de renda e reduzir a pobreza. Essas políticas públicas complementares são cruciais para a implementação bem-sucedida da precificação do carbono em um país em desenvolvimento como o Brasil.

- iv) **Políticas e Regulamentos Financeiros:** Políticas e regulamentações financeiras são fundamentais para desencadear investimentos sustentáveis e promover o financiamento climático no Brasil. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) é a principal fonte de recursos reembolsáveis para o financiamento climático no Brasil. Atua por meio de importantes fundos ligados à sustentabilidade, como o Fundo Clima (Fundo Nacional de Mudanças Climáticas) e a Linha de Crédito Ambiental. Por meio dos recursos do Fundo Clima, o BNDES apoia a implementação de projetos, a aquisição de máquinas e equipamentos e o desenvolvimento tecnológico para mitigação e adaptação às mudanças climáticas. A composição das taxas de juros varia de acordo com a forma de apoio. Pode incluir o custo financeiro, a remuneração do BNDES, a taxa de intermediação financeira, a taxa do agente financeiro e a taxa de risco de crédito. Outros bancos de desenvolvimento, como bancos regionais de desenvolvimento e bancos multilaterais de desenvolvimento, também são fundamentais para promover a aceleração necessária no setor financeiro, a fim de permitir a realização das ambiciosas e desafiadoras metas do Acordo de Paris. O papel do Banco Central do Brasil também é relevante, e já começou a emitir regulamentos sobre a exposição das instituições financeiras a riscos climáticos. A extensão dessas regulamentações para cobrir também os riscos de transição de produtos e instituições financeiras e a criação de uma taxonomia brasileira de investimentos verdes e climáticos certamente serão uma importante contribuição para canalizar recursos financeiros para investimentos de baixo carbono.

Além disso, clubes climáticos e parcerias como as "Parcerias de Transição Energética Justa" (JET-Ps) em andamento com a África do Sul e com a Indonésia também são iniciativas muito promissoras, e estão resumidas abaixo para ilustrar como esse tipo de parceria poderia desencadear investimentos sem precedentes de baixo carbono no Brasil:

- **Parceria de Transição Energética Justa com a África do Sul:** Os governos da África do Sul, França, Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos, juntamente com a União Europeia, criaram uma nova Parceria de Transição Energética Justa ambiciosa e de longo prazo para ajudar os esforços de descarbonização da África do Sul. A Parceria visa acelerar a descarbonização da economia da

África do Sul, com foco no setor elétrico. Um investimento inicial de US\$ 8,5 bilhões será feito na primeira fase, usando uma variedade de mecanismos, incluindo subvenções, empréstimos concessionais e investimentos, bem como instrumentos de compartilhamento de riscos. Espera-se que a Parceria reduza até 1-1,5 giga toneladas de CO₂e nas emissões de GEE nos próximos 20 anos e ajude a África do Sul a acelerar sua transição para uma economia de baixa emissão e resiliente ao clima.

- **Parceria de Transição Energética Justa com a Indonésia:** Os governos dos Estados Unidos, Japão, Canadá, Dinamarca, França, Alemanha, Itália, Noruega, Reino Unido e União Europeia anunciaram sua dedicação a metas climáticas inovadoras e financiamento relacionado para ajudar a Indonésia em uma transição energética ambiciosa e justa, consistente com os objetivos do Acordo de Paris e ajudando a manter o limite de aquecimento global de 1,5 °C ao alcance. Inclui uma estratégia baseada no crescimento das energias renováveis, na eliminação progressiva da produção de eletricidade a carvão dentro e fora da rede e em compromissos adicionais em matéria de reformas regulamentares e de eficiência energética. Este plano também inclui um caminho acelerado de redução de emissões do setor de energia para líquido zero até 2050. O objetivo geral dessa cooperação de longo prazo com a Indonésia é mobilizar US\$ 20 bilhões em financiamento público e privado durante um período de três a cinco anos, utilizando uma combinação de subvenções, fundos garantidores, empréstimos a taxas de mercado, garantias e investimentos privados. O caminho para alcançar os ambiciosos objetivos climáticos e energéticos será pavimentado por esta iniciativa. Os países membros levantarão US\$ 10 bilhões, ou metade desse montante. Através do Banco Europeu de Investimento (EIB, sigla em inglês), a UE disponibilizará um bilhão de euros deste montante à Parceria, a fim de financiar projetos qualificados que promovam e integrem as energias renováveis para descarbonizar o sistema energético da Indonésia. Além disso, a UE destinará 25 milhões de dólares em subvenções e assistência técnica.

Uma iniciativa semelhante pode ser desenhada para o Brasil, com base na experiência do Fundo Amazônia (que também pode ser significativamente ampliada em sua próxima fase sob a administração que se iniciou em 2023), permitindo abranger outros setores além do uso da terra (especialmente silvicultura, transporte e resíduos – ver Tabela 7 abaixo).

Em suma, para orientar o país para o caminho da neutralidade climática até meados do século, é necessário conectar a demanda por financiamento climático a instrumentos econômicos e financeiros que ajudem a reorientar as fontes para investimentos em baixo carbono, atualmente direcionadas para a Formação Bruta de Capital Fixo. Um dos principais instrumentos é a implementação de uma política de precificação do carbono, que idealmente deveria ocorrer no âmbito de uma reforma tributária mais ampla, onde várias questões que estão correlacionadas podem ser abordadas como a limitação de subsídios e despesas fiscais a atividades intensivas em carbono e a criação de novos instrumentos financeiros capazes de aumentar a atratividade de investimentos de baixo carbono.

Um mercado de carbono *cap-and-trade* pode cobrir as emissões do setor industrial, garantindo flexibilidade e favorecendo a minimização de custos para reduzir as emissões de GEE.

No entanto, para que o país atinja a neutralidade de emissões em 2050 (NDC brasileira revisada entregue à UNFCCC em abril de 2022), será necessário que o setor AFOLU contribua ativamente, não apenas alcançando taxas líquidas de desmatamento anual zero, mas também fornecendo uma quantidade substancial de remoções de CO₂ por meio da restauração de florestas nativas, e programas de arborização em terras degradadas.

Permitir que a indústria utilize compensações da restauração florestal nativa pode ser uma oportunidade para alavancar investimentos nesse setor-chave no Brasil, levando a restauração de florestas nativas a um novo patamar. Por outro lado, é importante que a utilização de compensações pelo setor industrial se limite a 30% dos objetivos de redução das emissões (de acordo com os resultados do DDS), pelo que as empresas industriais continuam a investir na sua modernização, aumentando a eficiência e, assim, mantendo-se competitivas no mercado internacional ao longo do século.

Para o setor de transportes, uma possibilidade é a utilização de uma taxa inteligente sobre o carbono, que auxilie a Petrobras em sua política de precificação de combustíveis para o mercado interno. Esta taxa consideraria e harmonizaria a volatilidade dos preços do petróleo no mercado internacional, mais a volatilidade da taxa de câmbio, criando um corredor de preços que aumentam ao longo do tempo, a fim de permitir a competitividade dos combustíveis renováveis e as opções de eficiência energética, permitindo uma transição suave, com uma pequena volatilidade, de modo a que os agentes do mercado teriam uma visão clara do comportamento de longo prazo dos preços dos combustíveis.

Essa é uma das muitas maneiras diferentes de implementar uma política de precificação de carbono no Brasil. Com os incentivos econômicos e financeiros adequados, seria possível implementar um plano de investimento ambicioso em consonância com o objetivo de neutralidade das emissões em 2050 e com o Acordo de Paris (ver Parte II do presente relatório).

A Tabela 7 abaixo apresenta os requisitos adicionais de investimento no DDS em comparação com os níveis do CPS nas próximas três décadas por setor (La Rovere et al., 2021).

Tabela 7. Requisitos adicionais de investimento em mitigação no DDS no Brasil em comparação com o CPS, por setor econômico, por década

Investimento setorial (em bilhões de US\$)	2021-2030	2031-2040	2041-2050
AFOLU	3,23	11,08	27,62
Transporte	12,92	29,09	41,41
Indústria	1,81	5,98	11,11
Oferta de energia	0,34	1,32	2,65
Resíduos	-	21,33	30,14
Total	18,31	68,80	112,93

Notas: 1. O investimento adicional na oferta de energia considera a eletricidade e os biocombustíveis. 2. Taxa de câmbio 5,15 R\$/USD (valores de 2020). 3. Valores não descontados.

Fonte: La Rovere et al., 2021.

O investimento adicional em mitigação somaria cerca de US\$ 200 bilhões em um caminho que levaria a emissões de GEE líquidas zero em 2050. Isso representaria apenas um aumento de 0,5% na taxa de investimento (Total de Investimentos/PIB) no DDS em relação ao CPS.

No entanto, as necessidades variam de acordo com os setores. Seriam necessários mais investimentos nos setores dos transportes, resíduos e AFOLU (agricultura, florestas e uso do solo). Os investimentos em energia do CPS não precisam de um alto nível de investimentos adicionais para trilhar um caminho de descarbonização profunda. Tal pode ser explicado por uma parte significativa das emissões evitadas obtidas a custos negativos ou muito baixos e pelo sistema de licitações em vigor para assegurar parcerias público-privadas para financiar a expansão do sistema elétrico.

Um aumento substancial da taxa de investimento não é necessário no DDS (em relação ao CPS), destacando que uma mudança nos padrões de investimento atuais é mais importante do que encontrar recursos adicionais para a descarbonização. Isto demonstra a necessidade de criar instrumentos econômicos e financeiros que possam promover uma forte transição dos investimentos tradicionais para os investimentos de baixo carbono.

7. Referências

- Brasil (2020). Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. CNI/DDIE/ECON/Unidade de Edição. Atualizado em 7 de março de 2022 https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/b0/6f/b06f3ef0-14f3-4497-b1d2-5716d2c95df5/industrvs_importance_in_brazil_march2022.pdf
- Goes, G. V., Gonçalves, D. N. S., Márcio de Almeida, D. A., La Rovere, E. L., & de Mello Bandeira, R. A. (2020a). MRV framework and prospective scenarios to monitor and ratchet up Brazilian transport mitigation targets. *Climatic Change*, 162(4), 2197-2217.
- Goes, G. V., Gonçalves, D. N. S., Márcio de Almeida, D. A., de Mello Bandeira, R. A., & Grottera, C. (2020b). Transport-energy-environment modeling and investment requirements from Brazilian commitments. *Renewable Energy*.
- Gonçalves, D.N.S.; Goes, G.V.; D'Agosto, M. de A (2019). Transportes no Brasil – Panorama e Cenários Prospectivos para atendimento da Contribuição Nacionalmente Determinada; Rio de Janeiro, 2019. Available at: <https://ibts.eco.br/relatorios-tecnicos/>. Accessed on 10 December 2020.
- Gonçalves, D.N.S.; Goes, G.V.; D'Agosto, M. de A (2020). Energy transition in Brazil: Paris Agreement compatible scenario for the transport sector up to 2050. *Climate Transparency*. Available at: <https://climate-transparency.org/>. Accessed on 01 January 2022.
- La Rovere, Emilio L.; Wills, William; Grottera, Carolina; Dubeux, Carolina B. S.; Gesteira, Claudio. Economic and social implications of low-emission development pathways in Brazil. *Carbon Management JCR*, v. 9, p. 563-574, 2018.
- Unterstell, La Rovere, Ana Paula Prates, Berta Pinheiro, Bruna Guimarães, Carolina Burle Schmidt Dubeux, Clara de Queiroz, Claudio Gesteira, Daniel Neves Schmitz Gonçalves, Emilio La Rovere, Erika Carvalho Nogueira, Fernanda Westin, George Vasconcelos Goes, Giovanna Cavalcanti de Carvalho, Giovanna Napolini, Isabela Cristina de Araújo Lima, Márcio de Almeida D'Agosto, Marina Caetano, Michele K. Cotta Walter, Natalie Unterstell, Nathalia Martins, Olivia Ainbinder, Otto Hebeda, Saulo Machado Loureiro, Sergio Henrique F. Cunha, Taciana Stec, Walter Figueiredo De Simoni e William Wills, 2021. *Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030*. Disponível em <https://www.institutotalanoa.org/documentos>
- Wills, W.; La Rovere, Emilio Lèbre; Grottera, C.; Napolini, G. F.; Le Treut, G.; Gherzi, F.; Lefevre, J.; Dubeux, C. B. S.. Economic and social effectiveness of carbon pricing schemes to meet Brazilian NDC targets. *CLIMATE POLICY JCR*, v. 22, p. 48-63, 2021.

Parte III.

PLANOS SETORIAIS DE MITIGAÇÃO

Plano de Mitigação do Setor de Resíduos

Autores: Isabela Mancio Lima, Saulo Machado Loureiro & Carolina Dubeux

1. Apresentação do Setor

O Brasil é o maior país da América do Sul e o quinto maior do mundo. É um país de contrastes, onde, por um lado, existem elevados padrões de desenvolvimento tecnológico em oposição a bolsões de miséria absoluta. Desigualdades regionais significativas e diferenças marcantes entre pequenos e grandes municípios são características do país. As oportunidades de implementação de soluções para problemas urbanos na gestão de resíduos sólidos urbanos também são notáveis. Dessa forma, grandes municípios e regiões metropolitanas têm os melhores resultados de gestão, tratamento e destinação final de resíduos. As demais cidades apresentam dificuldades estruturais e administrativas, com poucos ou nenhum trabalhador qualificado, baixa capacidade de obtenção e aplicação de recursos e utilizam muitas lixões a céu aberto como opção de destino final. Vale ressaltar que os serviços de limpeza pública do Brasil são de responsabilidade dos municípios, de acordo com a Constituição Brasileira de 1988.

Considerando a prestação de serviços de limpeza urbana no Brasil, eles têm sido realizados pelos próprios municípios com crescente participação de empresas privadas. Para as modalidades de gestão administrativa, a grande maioria dos municípios de pequeno e médio porte adota a administração direta para que a secretaria, departamento ou setor da Prefeitura seja responsável por todas as ações relacionadas à gestão de resíduos sólidos. Poucos municípios possuem autoridades públicas específicas ou empresas de limpeza urbana. Outro fato importante é que mais de 50% dos municípios não cobram dos cidadãos pelos serviços prestados; para aqueles que o fazem, o valor é muito menor do que o custo real. A grande maioria, especialmente os de pequeno e médio porte, não possui equipe técnica qualificada para planejar, monitorar, avaliar serviços e implementar um sistema de custos e faturamento.

O setor de resíduos compreende cinco subsetores principais de emissão: (i) disposição final de sólidos (como aterros sanitários, aterros controlados ou lixões a céu aberto), (ii) tratamento biológico (compostagem e biodigestão anaeróbia), (iii) incineração e queima a céu aberto e (iv) tratamentos de efluentes domésticos e (v) industriais (ICLEI, 2021). O principal GEE é o metano, liberado dos aterros de resíduos sólidos urbanos - RSU (65%) devido à composição da matéria orgânica, principal elemento do lixo, responsável pela geração de biogás.

Apesar de representarem apenas 5% das emissões brutas brasileiras, o setor de resíduos teve o aumento mais significativo em 2015 desde 1990: 187%. Em 2015, foram emitidos 84 Mt CO_{2e}, 25% a mais do que em 2005 (MCTI, 2020). Em relação aos resíduos sólidos, as emissões cresceram 31% de 2005 a 2015, passando de 39 para 51 Mt CO_{2e}. Historicamente, além do crescimento populacional e do aumento da geração de resíduos, há também um maior acesso aos serviços de gestão de RSU, principalmente serviços de coleta e disposição final adequada, quase sempre aterro sanitário, uma tecnologia significativamente emissora GEE. Uma característica importante no Brasil é que a fração orgânica representa cerca de 45% dos resíduos sólidos (cerca de 36 milhões de toneladas/ano), fonte de emissões de GEE (ABRELPE, 2020).

Em relação às águas residuais, também em 2015, as emissões atingiram 33 Mt CO₂e, 18% acima dos valores de 2005 (MCTI, 2020). Dados mais recentes do SEEG (2019) indicam que 26% dessas emissões estavam relacionadas ao tratamento de efluentes domésticos e 7% aos efluentes industriais.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei Federal nº 12.305, de agosto de 2010 - é o marco legal da gestão de resíduos sólidos no Brasil. A PNRS apresenta uma visão integrada da gestão de RSU, priorizando a prevenção e redução da geração de resíduos e incentivando o uso de tecnologias para o tratamento de resíduos. Também prevê a obrigatoriedade de destinação ambiental adequada e a substituição de lixões a céu aberto, enfatizando que apenas os rejeitos devem ser encaminhados para aterros sanitários.

No entanto, sua implementação efetiva ainda está longe de ser desejada, e os esforços de curto prazo tendem a se concentrar no fechamento de lixões. Embora a PNRS tenha dado o ano de 2014 como prazo inicial para o fim de todos os lixões do país, ainda hoje, cerca de 8% dos resíduos produzidos (6,3 milhões de toneladas/ano) não são coletados, e 40% dos resíduos coletados ainda são descartados indevidamente (ABRELPE, 2020).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos PLANARES (2022), por sua vez, representa a estratégia de longo prazo em nível nacional para operacionalizar a PNRS (2010). O Plano propõe metas, diretrizes, projetos, programas e ações para alcançar os objetivos da Lei para um horizonte de 20 anos. Em sua primeira versão, as metas do PLANARES incluíam, por exemplo, o desvio de resíduos úmidos até então descartados em aterros sanitários para tratamento por biodigestão, aumento da reciclagem, recuperação de gases de aterro e, definitivamente, fechamento de todos os lixões a céu aberto até 2014. Recentemente em vigor, por meio do Decreto 11.043/2022 (MMA, 2022) o Plano entrou na fase de revisão e consulta pública em 2020, em consonância com o novo marco regulatório do saneamento básico (2020), propondo metas importantes em sua última nova versão. Entre elas, além da principal missão de erradicar todos os lixões do país até 2024, também visa garantir que 72,6% da população tenha acesso à coleta seletiva até 2040 e alcançar a coleta universal de lixo até 2036. Outro passo importante planejado é o reaproveitamento energético de mais de 60% do biogás gerado a partir da decomposição de resíduos orgânicos.

Em relação ao esgoto, existe o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020), que pretende universalizar o serviço até o final de 2033, garantindo que 99% da população seja atendida com água potável e 90% com coleta e tratamento de esgoto. Além disso, a nova Lei alterou muitos pontos do antigo marco do setor (Lei nº 11.445/2007), buscando aumentar a segurança jurídica entre o poder concedente e as empresas que podem operar os sistemas para atrair novos investimentos.

Outras referências são o PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico (2021) que visa regulamentar as políticas públicas de saneamento com metas e estratégias governamentais para o setor. Seu principal objetivo é a universalização do saneamento até 2033. No entanto, de acordo com um estudo da Confederação Nacional da Indústria (CNI), esse objetivo está longe de ser alcançado. Atualmente, 35 milhões de brasileiros não têm acesso à rede de água potável e quase 100 milhões não possuem serviço regular de coleta de esgoto - praticamente metade de toda a população do país. Além disso, de todo o esgoto produzido no Brasil, apenas 45% são tratados. De acordo com o mesmo estudo, se forem projetados os níveis de investimento recentes, a universalização dos serviços só será alcançada após 2050, com um atraso de cerca de 20 anos.

No entanto, todo o cenário é bastante sombrio quando comparamos as realizações com as metas estabelecidas pelo setor. Ainda existem mais de 3.000 lixões em operação (ABRELPE, 2020), mostrando a baixa efetividade da PNRS e a aplicação do PLANARES, cuja data inicial para o fechamento dos lixões estava prevista para agosto de 2014, como já mencionado. Esse é agora o objetivo prioritário do "Lixão Zero" (2019), que anunciou recentemente que havia desativado mais de 600 lixões em todo o país (MMA, 2020).

Portanto, é necessário fazer avanços na transição do atual sistema linear de gestão de resíduos para um modelo circular, com o fechamento definitivo de lixões a céu aberto e aterros inadequados, aumento da coleta de esgoto e tratamento. Além disso, o setor do tratamento de resíduos merece uma atenção especial, uma vez que o aumento da cobertura dos serviços de saneamento por tratamento anaeróbico pode aumentar substancialmente as emissões de gases com efeito de estufa.

Nesse sentido, o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas - FBMC (2018) propôs algumas ações de mitigação, como a ampliação da captação e queima de biogás e/ou uso energético do biogás produzido em aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto; aumento do volume de resíduos sólidos orgânicos compostados; aumento da coleta seletiva; e implantação de um programa de logística reversa.

A simples adoção de sistemas adequados de disposição de resíduos e estruturas eficientes para captação e queima de biogás (com cerca de 50 % de metano) de aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto (ETE) pelo método anaeróbico faz parte da solução – além de proporcionar uma excelente oportunidade para a venda de créditos de carbono.

2. Objetivos

Este Plano de Mitigação visa promover a redução das emissões de GEE no setor de Resíduos através da adoção de tecnologias sustentáveis. Assume dois cenários: os cenários de "Políticas Atuais" (CPS) e "Descarbonização Profunda" (DDS), revisados em Unterstell e La Rovere et al. (2021). O CPS considera as políticas em vigor, enquanto o DDS adota ações adicionais de mitigação que poderiam reduzir consideravelmente as emissões para ajudar o país a atingir uma meta de emissões líquidas zero em 2050.

O setor de tratamento de resíduos pode, portanto, ser considerado um setor com potencial mitigador, uma vez que as emissões são consequência direta do aumento da cobertura de saneamento, e a expansão prevista nas políticas nacionais de resíduos sólidos e saneamento básico pode ser parcialmente financiada pela venda de créditos de carbono, e pelas receitas de portão e da venda de energia produzida.

Para tanto, essa expansão do saneamento deve incluir a implantação de projetos de captação de biogás em aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto, contribuindo para diminuir o passivo do setor nos próximos anos e reduzir as emissões brasileiras.

3. Ações de Mitigação

Os objetivos acima referidos podem ser alcançados através da intensificação da adoção de um conjunto de medidas de mitigação nos dois subsetores: tratamento de resíduos sólidos e tratamento de águas residuais domésticas e industriais.

Os cenários são baseados na evolução populacional utilizando estimativas de crescimento populacional do IBGE (Agência de Geografia e Estatística), geração de resíduos per capita (SNIS, 2020), disposição de resíduos sólidos urbanos e tratamento de efluentes. Esses cenários sugerem investimentos em infraestrutura, escolhas tecnológicas, bem como instrumentos de política e regulatórios.

O CPS para resíduos sólidos e águas residuais baseia-se na premissa de ampliar a cobertura dos serviços de saneamento no ritmo do progresso já em andamento.

Embora as políticas atuais tenham sido concebidas para a expansão e o desenvolvimento do setor, não devem ser capazes de provocar alterações significativas nos resultados das emissões no horizonte do estudo (2050).

O principal indicador, a destruição de metano em queimadores nos aterros sanitários e ETEs (estações de tratamento de esgoto), permanece relativamente constante e, da mesma forma, a captura e o uso de biogás.

Para estimar as emissões do CPS, foram consideradas tendências nas diversas formas de tratamento, inicialmente previstas nos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei 12.305/2010), mas sem adoção de medidas adicionais.

O DDS, por sua vez, considera o pleno cumprimento das metas estabelecidas no mais recente Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares, 2022) e Plano de Saneamento Básico (Plansab, 2021), no Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei 14.026/2020) e no Decreto 10.712 de 2021, que regulamenta a nova Lei do Gás (14.134/2021), estimando os valores a serem alcançados até 2030 e a ampliação das metas até 2050.

A estrutura do Planares 2022 seguiu as diretrizes indicadas na Lei da PNRS e seu decreto normativo, já considerando e alinhando com o novo marco regulatório do saneamento básico promulgado em 2020. No entanto, apesar de decretada e publicada em 2022, sua elaboração ocorreu em 2020 e utilizou, na maioria dos casos, dados do SNIS-RS até 2019 e Panoramas Abrelpe até 2019. Portanto, não há novas metas em relação à versão 2019. A Tabela 1 apresenta os pressupostos para a gestão de resíduos sólidos em ambos os cenários.

Tabela 1. Pressupostos dos cenários de tratamento de resíduos sólidos

Resíduos Sólidos		2020	CPS			.DDS		
			2030	2040	2050	2030	2040	2050
Geração de resíduos	Mt/ano	87,5	108,5	134,3	166,9	108,5	134,3	166,9
Coleta de resíduos	Mt/ano	80,6	100,5	125,4	156,6	108,0	134,3	166,9
Não categorizado	Mt/ano	6,9	7,9	8,9	10,3	0,4		
Reciclagem (coletada)	Mt/ano	1,9	2,4	2,9	3,2	11,9	26,9	41,7
	(SNIS)	2,1%	2,2%	2,1%	1,9%	11,0%	20,0%	25,0%
Despejo a céu aberto	Mt/ano	13,4	15,5	18,0	21,0			
	(Abrelpe)	15,3%	14,3%	13,4%	12,6%			
Aterro inadequado (aterro controlado)	Mt/ano	18,0	21,2	24,8	29,1			
	(Abrelpe)	20,6%	19,5%	18,5%	17,5%			
Aterro sanitário	Mt/ano	47,1	61,0	79,2	102,7	75,4	63,5	48,7
	(Abrelpe)	53,8%	56,3%	58,9%	61,5%	69,5%	47,3%	29,2%
Compostagem aeróbica	Mt/ano	0,3	0,4	0,5	0,6	5,2	12,8	23,3
	(SNIS)	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	4,8%	9,5%	13,9%
Biodigestão anaeróbia	Mt/ano					2,2	5,4	10,0
	%					2,0%	4,0%	6,0%
Co-processamento	Mt/ano					4,0	6,2	8,8
	%					3,7%	4,6%	5,3%

Fontes 2020: PNSB 2017 (IBGE, 2020), SNIS 2021 (MDR, 2022), IV Inventário Nacional (MCTI, 2020); 2030-2050: Unterstell, La Rovere et al. (2021), Planares (MMA, 2022).

De acordo com as metas estabelecidas no Planares (2020), a eficiência da coleta de resíduos sólidos atingirá 100% da cobertura até 2033 e, a partir de 2021, serão introduzidas tecnologias alternativas ao aterramento. Com isso, as hipóteses dos cenários de resíduos sólidos são as seguintes:

- A geração de resíduos urbanos aumenta de 88 Mt em 2020 para 109 Mt em 2030 e 166 Mt em 2050, em ambos os cenários;
- O percentual de cobertura de coleta aumenta de 92,1% em 2020 para 92,7% em 2030 e 93,8% em 2050 no Cenário CPS e 99,6% em 2030 e 100% de 2033 a 2050 no cenário DDS;
- A disposição final em aterros sanitários aumenta de 47 Mt em 2020 para 61 Mt em 2030 e 102 Mt em 2050 no CPS; e para 75 Mt em 2030, mas para 48 Mt em 2050 no cenário DDS, correspondendo a 56% e 70% dos resíduos produzidos em 2030 e 61% e 29% em 2050, respectivamente, o que revela uma redução considerável da deposição em aterro com a utilização de outras formas de tratamento. Mesmo assim, esse é o tratamento predominante em ambos os cenários ao longo do período de estudo, conseqüentemente, a fonte de emissão mais relevante nesse setor;

- A destruição de biogás em aterros sanitários em 2020 atingiu 12,1% em relação ao total de biogás produzido. Seu percentual permanece constante em CPS e cresce para 16,4% em 2030 e 25% em 2050 no cenário DDS. Da mesma forma, a captura de biogás aumenta de uma taxa constante de 10,6% no CPS para 23,7% em 2030 e 50% em 2050 no cenário DDS.
- A reciclagem permanece em 2% de 2020 a 2050, com pequenas variações de 0,2% no cenário de CPS; no cenário de DDS, atinge 11% dos resíduos em 2030 e 25% em 2050. A reciclagem não promove a redução direta de emissões, mas deslocará 23,8 Mt desses resíduos dos aterros de 2020 a 2030 e 81,4 Mt de 2020 a 2050 no CPS. No cenário DDS, o deslocamento chega a 75 Mt de 2020 a 2030 e 618 Mt de 2020 a 2050.
- A reciclagem orgânica, ou compostagem aeróbia, também permanece constante em 0,4% dos resíduos de 2020 a 2050 no CPS, deslocando outros 3,7 Mt de resíduos orgânicos de aterros de 2020 a 2030 e 13,4 Mt de 2020 a 2050; no cenário DDS, cresce até 4,8% em 2030 e 13,9% em 2050, deslocando 28,8 Mt de aterros de 2020 a 2030 e 303,2 Mt de 2020 a 2050, aumentando ainda mais a emissão de metano evitada.
- No que diz respeito às formas alternativas de tratamento a partir de 2021, só no cenário DDS atingirá 2% do tratamento em plantas de biodigestão em 2030 e 6% em 2050;
- Ainda no cenário DDS, 3,7% dos resíduos gerados em 2030 e 5,3% em 2050 são tratados em fornos de coprocessamento de cimenteiras;
- Por fim, 8,6% dos resíduos gerados em 2030 e 20,6% em 2050 são tratados em usinas de incineração de "resíduos em energia", também no cenário DDS;

O cumprimento dessas metas reduzirá o volume de resíduos sólidos em aterros sanitários de 90% no CPS entre 2030 e 2050 para 70% em 2030 e 30% em 2050 no cenário DDS.

Tabela 2. Pressupostos dos cenários de tratamento de águas residuais

Águas residuais		2020	CPS			.DDS			
			2030	2040	2050	2030	2040	2050	
Geração de esgoto		Mt DBO	4,1	4,3	4,5	4,5	4,3	4,5	4,5
Esgoto recolhido e tratado		Mt DBO	1,7	2,0	2,2	2,3	3,5	4,1	4,3
		(%)	42%	46%	48%	50%	82%	91%	96%
Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs)	Processos não emissores	Mt DBO	0,05	0,04	0,03	0,03	0,08	0,1	0,1
		(%)	1%	1%	0,8%	0,6%	2%	2%	2%
	Lodo ativado	Mt DBO	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,2
		(%)	16%	18%	19%	20%	23%	26%	28%
	Lagoas facultativas	Mt DBO	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
		(%)	3%	3%	3%	3%	5%	6%	6%
	Outros não categorizados	Mt DBO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
		(%)	2%	2%	2%	2%	4%		
	Tratamento anaeróbio	Mt DBO	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5	1,6
		(%)	20%	22%	23%	24%	29%	33%	35%
	Captura e queima de CH₄	(%)	33%	33%	33%	33%	38%	40%	43%
	Fossas sépticas		Mt DBO	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	1,1
(%)			14%	18%	20%	20%	20%	24%	25%
Fossas rudimentares		Mt DBO	0,3	0,1			0,1		
		(%)	8%	3%			3%		
Despejo direto em corpos d'água		Mt DBO	1,4	1,4	1,4	1,3	0,6	0,4	0,2
		(%)	35%	33%	31%	30%	15%	9%	4%

Fontes 2020: PNSB 2017 (IBGE, 2020), SNIS 2021 (MDR, 2022), IV Inventário Nacional (MCTI, 2021); 2030-2050: Unterstell, La Rovere et al. (2021), Plansab (MDR, 2021).

Em relação ao tratamento de efluentes, o pressuposto é que o cenário CPS segue a tendência e permanece o mesmo até 2030. Para o cenário DDS, dada a meta de cobertura de coleta de esgoto do Plansab (2019) de 90% até 2033, estima-se que em 2030 o saneamento básico atinja 82% de toda a população e 96% em 2050.

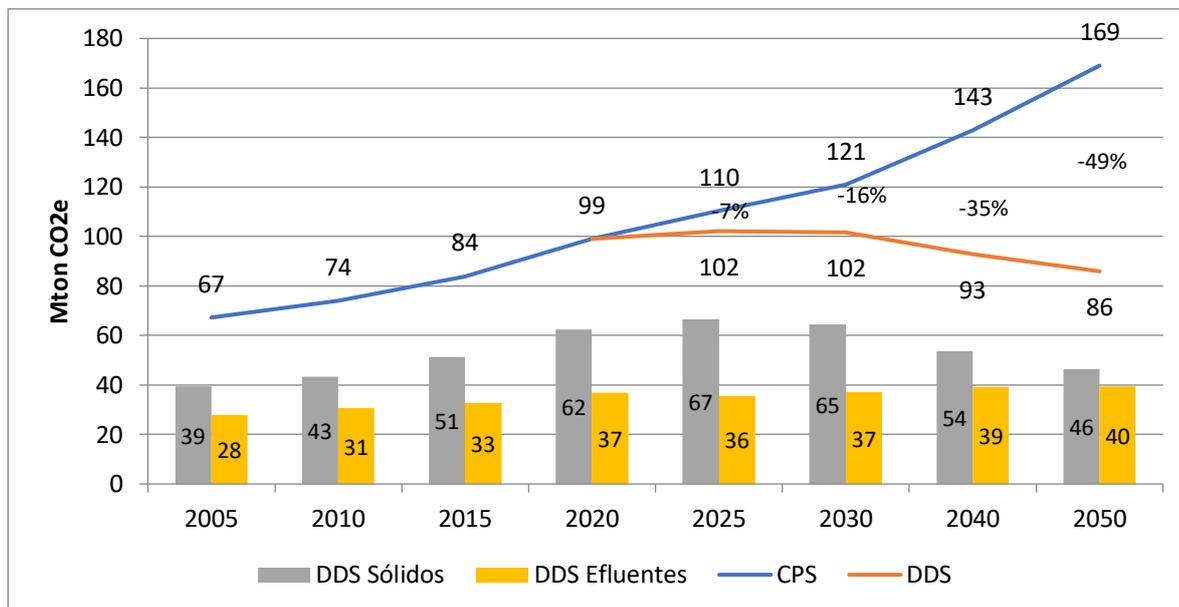
Os pressupostos dos cenários de tratamento de águas residuais apresentados no quadro acima são descritos a seguir:

- a coleta para tratamento em estações de tratamento de águas residuais (ETE) tem um leve aumento de 42% em 2020 para 46% em 2030 no cenário de CPS, mas no cenário DDS, praticamente dobra para 82% até 2030, chegando a 96% em 2050;
- da mesma forma, o tratamento aeróbio por lodo ativado aumenta de 16% em 2020 para 18% em 2030 no cenário CPS e 23% no cenário DDS, atingindo em 2050, 28% do esgoto gerado;
- o tratamento anaeróbio em ETE aumenta de 20% do volume total em 2020 para 22% no cenário CPS em 2030, mas para 29% no cenário DDS em 2030, atingindo um volume de tratamento de 35% em 2050;
- a queima de metano produzido em estações de tratamento anaeróbio é mantida em 33%, mantendo-se constante em termos percentuais no cenário CPS (considerando a eficiência de 55% na queima de metano em *flares*);
- no cenário DDS, a queima de metano de tratamentos anaeróbios aumenta de 33% em 2020 para 38% até 2030 e atinge os 43% em 2050 (assumindo a mesma eficiência de *flare* de 55%);
- A participação das fossas tem um ligeiro aumento, de 21% em 2020 para 23% até 2030 e 25% em 2050 no cenário DDS, mantendo-se constante no cenário CPS.

Em ambos os cenários, a consequência direta dessa expansão nos serviços de saneamento é a redução significativa do tratamento em fossas sépticas rudimentares, de 8% para 3% em 2030 e zero em 2050.

Da mesma forma, a redução do lançamento de esgoto bruto nos corpos d'água, embora tímida no cenário de CPS, é muito significativa no cenário DDS, passando de 35% em 2020 para 15% em 2030, contra apenas 33% no cenário de CPS. Ainda assim, no cenário DDS, em 2040 as fossas sépticas rudimentares são eliminadas e, em 2050, a descarga nos corpos d'água atinge o menor nível histórico, apenas 4% dos efluentes gerados.

Figura 1. Trajetória das emissões do setor de resíduos até 2050 – CPS/DDS



Fonte: Unterstell e La Rovere et al., 2021

A Tabela 3, por sua vez, mostra a contribuição projetada desagregada do setor de resíduos para as emissões de GEE até 2050.

Tabela 3. Emissões do setor dos resíduos até 2050

EMISSÕES DO SECTOR DOS RESÍDUOS (Mt CO ₂ e)	2005	2010	2015	2020	2025		2030		2040		2050	
					CPS	DDS	CPS	DDS	CPS	DDS	CPS	DDS
Aterro sanitário (USW, ISW)	37,4	41,2	49,0	62,1	71,3	63,8	80,8	57,6	102,3	39,0	128,7	20,5
Térmica (HSW, ISW, WTE)	2,0	2,0	2,2	0,2	0,2	2,3	0,3	5,9	0,3	12,2	0,3	21,3
Biológico (compostagem, biodigestão)	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	1,0	0,1	2,5	0,1	4,6
Subtotal de Resíduos Sólidos	39,4	43,2	51,3	62,3	71,5	66,5	81,1	64,6	102,7	53,7	129,1	46,4
Esgoto doméstico	24,1	26,1	27,1	28,9	30,6	28,1	30,6	28,5	19,1	21,6	18,2	21,8
Efluente industrial	3,8	4,6	5,6	7,8	8,2	7,5	9,1	8,5	21,1	17,5	21,8	17,7
Subtotal de águas residuais	27,8	30,7	32,6	36,7	38,7	35,6	39,8	37,1	40,2	39,1	40,0	39,5
SECTOR TOTAL DOS RESÍDUOS	67,3	74,0	83,9	99,1	110,3	102,2	120,9	101,6	142,9	92,8	169,0	85,9

Fonte: 2005-2015 Brasil, 2020; 2020-2050 autores baseados em Unterstell e La Rovere et al., 2021

O cenário CPS assume como premissa a ampliação da cobertura dos serviços de saneamento no ritmo do progresso atual. No DDS, considerou-se uma expansão mais ambiciosa: o cumprimento das metas estabelecidas nos Planos Nacionais de Resíduos Sólidos - PLANARES (MMA, 2022) e no Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB (MDR, 2021), estimando os valores a serem alcançados até 2030 e a expansão das metas até 2050. Um indicador importante, a queima de biogás no tratamento anaeróbico de efluentes, deve aumentar de 33% em 2020 para 38% em 2030 e 43% em 2050 no DDS, mantendo-se constante no CPS a partir de 2020 com uma eficiência de 55% dos *flares* das ETE ao longo do período.

Assim, as emissões totais de GEE de 102 Mt CO₂e do setor de tratamento de resíduos são estimadas para 2030 no cenário DDS, enquanto no cenário CPS, as emissões seriam de 121 Mt CO₂e - representando aumentos de 2,5% e 22%, respectivamente, em relação às emissões em 2020, de 99 Mt CO₂e. No DDS, o subsetor de resíduos sólidos representa 64% das emissões em 2030 e os efluentes líquidos 36%, correspondendo a 65 Mt CO₂e e 37 Mt CO₂e, respectivamente. E, em 2050, embora o CPS atinja 169 Mt CO₂e, o cenário DDS diminui para 86 Mt CO₂e, um potencial de mitigação de quase 50%.

É importante destacar que o Planares (MMA, 2022) e o Plansab (MDR, 2021) são grandes marcos para efetivar a mudança necessária em ambos os setores. Esses são os principais instrumentos que contêm as diretrizes e recomendações para a implementação da PNRS (BRASIL, 2010) e da Política Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2020). Se implementadas, essas políticas podem ajudar a evitar ou reduzir as emissões de GEE. Os municípios desempenham um papel de liderança na consecução destes objetivos, uma vez que são os gestores dos serviços públicos de limpeza urbana e dos serviços de resíduos sólidos urbanos.

4. Instrumentos

Para maior clareza e compreensão deste Plano, é necessário, primeiramente, recuperar os resultados obtidos na etapa anterior deste estudo. O Relatório "**Panorama das Barreiras: Brasil**" (I-BR.1) propôs um conjunto de instrumentos de políticas públicas com o objetivo de mitigar (ou superar) as principais barreiras identificadas para o setor de resíduos. A Tabela 4 resume esses resultados.

As barreiras são classificadas em dois grandes grupos: E/F (econômico/financeiro) e R/I (regulatório/institucional). As ações prioritárias são destacadas em negrito.

Tabela 4. Correlação entre as medidas, barreiras e instrumentos de política identificados no relatório "Visão Geral das Barreiras: Brasil"

Medidas	Barreiras	Tipo	Instrumentos políticos
Eliminação de disposição inadequada	Descumprimento da legislação, prazos e orientações	E/F	Implementação efetiva de Políticas Públicas no setor; incentivos econômicos para municípios que utilizam modelos de baixo carbono; sanções e penalidades por descumprimento/adequação da legislação.
	Baixa capacidade técnica das administrações municipais – barreira do conhecimento	R/I	Investimento na informação e na formação de pessoal
	Falta de interesse/visão política do setor	R/I	Divulgação de informação qualificada aos gestores; benefícios fiscais para localidades que implementam projetos de baixo carbono; reforço de entidades e associações do setor
	Elevado volume de capital e investimentos necessários – pequenos municípios sem viabilidade econômica e financeira para grandes projetos	E/F	Promoção de recursos: linhas de financiamento e participação do sector privado; formação de consórcios
	Acesso precário aos serviços de saneamento e falta de um plano de educação básica sobre gestão de resíduos para a população	R/I	Campanhas de educação e de sensibilização
Captura de biogás em aterros sanitários e destruição de metano por queima	Desafios econômicos e institucionais relacionados à gestão municipal: situação fiscal dos municípios; dificuldade em fornecer garantias; setor historicamente de baixa prioridade	R/I E/F	Cobrança de taxas/tarifas pelo custo dos serviços de coleta, transporte e tratamento de resíduos; apoio financeiro dos estados; segurança jurídica para a entrada de capital privado; instrumentos de previsibilidade para o setor; divulgação de informações qualificadas aos gestores
Utilização de energia dos resíduos: Utilização de biogás de aterro para a produção de eletricidade	Baixa segregação de resíduos	E/F R/I	Subsídios cruzados para coleta seletiva; incentivos econômicos à cadeia de reciclagem e revisão da sua tributação
	Acesso ao crédito e custos de transação	E/F	Articulação e elaboração de mecanismos de financiamento através dos governos federal, estadual e municipal Incentivos econômicos para projetos que buscam a recuperação de resíduos
	Baixa capacidade técnica das administrações municipais / Desconhecimento técnico sobre o real potencial de utilização do biogás – nível municipal	R/I	Fornecimento de treinamento para agentes Maior apoio do governo federal, dos estados e participação do setor privado Elaboração de diretrizes para arranjos regulatórios e comerciais (PPP, consórcios, etc.) Divulgação de informações qualificadas
	Barreiras relacionadas com a competitividade energética	E/F	Criação de leilões específicos de energia; isenção de ICMS sobre equipamentos para captação, tratamento e processamento de biogás; garantias de venda de energia.
Utilização do biogás de aterro sanitário para a produção de biometano e sua	Desconhecimento técnico sobre o real potencial de utilização do biogás e do biometano – nível municipal	R/I	Disseminação de experiências exitosas; Integração entre agentes (públicos e privados), Consultas Públicas e Projetos de Chamada Estratégica Criação e divulgação de cursos e apresentações itinerantes (disponíveis por órgãos setoriais)

Medidas	Barreiras	Tipo	Instrumentos políticos
disseminação nas indústrias	Impostos elevados sobre máquinas e equipamentos	E/F R/I	Revisão da política de financiamento do equipamento importado Desenvolvimento de metodologia progressiva com conteúdo nacional – estimulando a formação desse mercado no Brasil (nacionalização gradual)
	Dificuldade em fornecer garantias e interesses políticos envolvidos	E/F R/I	Instrumentos de previsibilidade para o setor – garantia de cumprimento de contrato e sem interferência do ciclo eleitoral
	Cadeia de suprimentos fraca – máquinas, operação e manutenção	E/F	Benefícios fiscais (isenção de ICMS, por exemplo); Nacionalização das cadeias produtivas
	Confiabilidade do uso de biometano	R/I	Projetos-piloto Divulgação de informações qualificadas aos gestores
	Competitividade do biometano	E/F	Subsídios Políticas específicas
	Altos custos de purificação e questões relacionadas à logística de distribuição	E/F	Investimento em redes de gasodutos para o transporte de biometano
	Ausência de políticas específicas	R/I	Criação de um "Programa Nacional de Biogás e Biometano" e políticas específicas
	Ausência de mercado cativo.	R/I	Garantias de venda, mandato de mistura; melhoria do Programa RenovaBio
Difusão de biodigestão*	Custos elevados – importação de equipamentos	E/F	Favorecimento de uma cadeia de suprimentos nacional – possibilidade de futuros exportadores de biodigestores para países de clima tropical
	Baixa disseminação da prática	R/I	Plataformas de disseminação de conhecimento e formação
	Segregação de resíduos necessária	E/F R/I	Políticas de sensibilização, incentivos financeiros
	Necessário adaptar as tecnologias às características do substrato nacional	E/F	Investimento em P&D, expansão e nacionalização da cadeia de suprimentos
Compostagem da fração orgânica de RSU*	Desafio na escala e comercialização do composto (pequenos projetos e longe dos centros consumidores)	E/F	Mapeamento de usuários, geradores e consumidores; incentivos financeiros
	Segregação de resíduos necessária	E/F R/I	Adoção da coleta seletiva como serviço de gestão pública
	Baixa disseminação da prática	R/I	Disseminação da prática, criação de incentivos políticos e financeiros.
Incineração de resíduos	Alto investimento inicial e altos custos de O&M, pessoal qualificado necessário	E/F	Incentivos à entrada de capital privado
	Opinião pública	R/I	Divulgação da prática, exposição de experiências bem-sucedidas
	Alto rigor na emissão de poluentes.	R/I	Políticas rigorosas de inspeção, monitoramento
Utilização de resíduos sólidos em fornos de cimento (coprocessamento)	Ausência de regras que incentivem a utilização de resíduos como fonte de energia	R/I	Implementação de um imposto sobre a deposição em aterro, a fim de incentivar o redirecionamento dos resíduos dos aterros para as indústrias (como já acontece em alguns países da União Europeia)
	Distância dos centros geradores às Indústrias	E/F	Subvenções ao transporte de resíduos destinados a co-processamento
	Falta de consenso entre Municípios e Indústrias sobre os custos de transporte	R/I	Benefícios fiscais e trabalhistas para minimizar os custos de transporte
	Necessidade de rastreamento dos resíduos sujeitos a coprocessamento	E/F	Fortalecimento/incentivos à criação de coletores e cooperativas de triagem

Para o setor de resíduos, a medida mais básica e prioritária é a eliminação do descarte inadequado de resíduos com a efetiva implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Outro instrumento importante é a promoção de linhas de financiamento e incentivos à participação do setor privado. Historicamente, a trajetória dos investimentos no setor e sua concentração estão relacionadas, principalmente, ao baixo desenvolvimento socioeconômico de determinadas localidades, que tendem a apresentar baixos retornos financeiros. Essa característica se desdobra na baixa capacidade técnica e gerencial de muitos gestores, dificultando o acesso aos recursos disponíveis e a concepção e implementação de projetos. Uma componente fundamental para inverter esta situação é a adoção de instrumentos adequados às especificidades das regiões e dos gestores. A cooperação entre os governos municipal, estadual e federal é necessária para a elaboração dos Planos Municipais de Resíduos Sólidos e para a promoção de soluções em larga escala por meio da formação de acordos públicos ou consórcios. A necessidade de campanhas de educação e sensibilização para a população também é crucial. É possível verificar a necessidade de melhorias no processo de educação básica, especialmente considerando que a destinação correta dos resíduos envolve questões de saúde pública.

Outra ação crítica é garantir a captura do biogás e a destruição do metano em aterros sanitários. Nota-se que essa prática está presente, principalmente em cidades de médio e grande porte, muito diferente da realidade observada em cidades de pequeno porte. No geral, a quantidade de gás de aterro capturado no país ainda é muito baixa.

Portanto, os dois instrumentos considerados mais relevantes para o setor são detalhados a seguir: a formação de consórcios entre municípios de pequeno porte visando uma melhor gestão de resíduos (viabilidade de aterros sanitários com queima e captação de metano) e incentivos político-financeiros para o uso do biometano na indústria.

Formação de consórcios intermunicipais

Nos últimos anos, a criação de consórcios intermunicipais tem sido uma das opções que os pequenos municípios têm utilizado para atender e prestar um serviço de qualidade. De acordo com o art. 52 do Decreto nº 7.404/2010 (Brasil, 2010b), ao optarem pela gestão em regime de consórcio, os municípios estão dispensados de elaborar um plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos – desde que o plano intermunicipal atenda ao conteúdo mínimo da Lei (Brasil, 2010a). Além disso, a PNRS prevê, em conjunto com o Governo Federal, a priorização de transferências e recursos para os consórcios. Esse arranjo permite que municípios com menos recursos descartem adequadamente seus resíduos, uma vez que os membros do consórcio compartilham os custos de implantação, operação e manutenção. Nesse sentido, a formação de consórcios além de criar escala para a construção de aterros, também favorece o uso do biogás. A divisão de custos e uma maior concentração do volume de resíduos retidos em apenas uma unidade permite arranjos tecnológicos mais eficientes e robustos, sendo uma excelente futura oportunidade de negócio. Quando for necessária maior demanda de energia, será possível aumentar os sistemas de captação, bem como a infraestrutura de geração de energia por meio de resíduos. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2020), existem 235 consórcios

intermunicipais para gestão de resíduos sólidos. O conjunto de 1.404 municípios associados à gestão de resíduos sólidos urbanos abrange 25,2% dos 5.570 municípios brasileiros e 14,0% da população urbana (25,1 milhões de habitantes). Os consórcios estão mais concentrados na macrorregião Sudeste, com 203 (35,6%), seguidos pelas macrorregiões Sul e Nordeste, respectivamente, com 26,0% e 23,0% dos municípios consorciados – nota-se que o desempenho dos consórcios ainda não é uma realidade comum no país.

O Planares (2020), por sua vez, tem como meta para 2040 um percentual de municípios consorciados de 94,1%, o que, diante dos números atuais, parece um valor exagerado ou excessivamente otimista. Para isso, algumas iniciativas são de grande importância, tais como:

- Garantir oportunidades exclusivas para que consórcios públicos e arranjos intermunicipais e inter federativos obtenham recursos federais;
- Treinamento de consórcios públicos e outros arranjos para implementação de soluções tecnológicas que maximizem o desvio de resíduos sólidos das unidades de disposição final, bem como desenvolvimento de fluxos de processos e modelos documentais que possam ser replicados por meio de ajustes referentes às características locais;
- Os órgãos reguladores de gestão de resíduos e saneamento devem agilizar a regulamentação dos consórcios intermunicipais.
- O Governo Federal deve apoiar técnica e financeiramente os estados na elaboração de seus respectivos estudos de regionalização, visando identificar escalas e conjuntos de municípios favoráveis a uma melhor gestão regional de RSU para a formação de consórcios intermunicipais.

A maioria dos estados realizou tais estudos sobre este último item que serviram de base para seus planos estaduais de RSU. O caso do Rio de Janeiro (RJ) se destaca com o Programa Pacto pelo Saneamento. Entre 2013 e 2014, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEA-RJ, elaborou seu Plano Estadual de Resíduos Sólidos – PERS/RJ. Sobre a questão dos consórcios, partiu de estudos que vêm sendo desenvolvidos desde 2010 com o apoio do MMA (Ministério do Meio Ambiente) para propor a regionalização pretendida e, assim, apontar um conjunto de consórcios intermunicipais a serem formados. Consideram-se distâncias para centros de massa e escalas adequadas, capazes de permitir a implantação de Centros de Tratamento de Resíduos – CTRs/aterros sanitários comuns a conjuntos de Municípios.

No caso do RJ, mais de 2/3 da geração de resíduos estão concentrados na região metropolitana e em algumas cidades de médio porte, o que tem resultado no interesse do setor empresarial em investir em projetos e implementar CTRs/aterros sanitários. No entanto, considerando as fragilidades, principalmente nos municípios de menor porte – tanto do ponto de vista gerencial quanto operacional e da destinação final de resíduos – o Estado estruturou uma equipe técnica permanente na secretaria para apoiar os consórcios em formação, utilizando recursos do Fundo Estadual de Meio Ambiente – FECAM. Projetou e construiu aterros sanitários para atender os consórcios formados por municípios menores e mais pobres que não são atrativos para o interesse do setor privado. Para

outros, incentivou o investimento privado em grandes aterros regionais, especialmente na Região Metropolitana, e PPPs (Parceria Público-Privada) entre consórcios e empresas que operam os centros e tratamento de resíduos (CTRs). Também financiou projetos de remediação para os lixões à medida que foram desativados. Em 2015, 97,7% das 17 mil toneladas/dia já estavam sendo descartadas adequadamente, com a expectativa de que a meta de 100% fosse atingida em 2016. No entanto, devido à crise econômica vivida pelo país e principalmente pelo Estado, a meta ainda não foi plenamente alcançada (ZVEIBIL, 2021).

Uma iniciativa interessante e recente é o processo seletivo lançado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) em 2020, com o objetivo de apoiar consórcios para estruturar concessões de gestão de RSU com recursos federais, que pagarão por todos os estudos necessários para a concessão de modelagem de parceria público-privada. As propostas de arranjos atendendo de 2 a 20 municípios que juntos atendam pelo menos 300 mil pessoas foram consideradas elegíveis. As propostas apresentadas devem considerar também o compromisso de cobrar pela prestação de serviços após a estruturação da futura concessão. O processo seletivo buscou priorizar propostas que beneficiassem o maior número de habitantes; que incluam cidades com taxa ou tarifa já estabelecida; maiores déficits na prestação de serviços e/ou que apresentaram Plano Municipal ou Plano Regional Integrado de Gestão de RSU. Ao todo, 41 consórcios se inscreveram para o processo, e 23 consórcios municipais, que reúnem 304 cidades brasileiras, foram qualificados. Os recursos para o financiamento dos estudos seriam disponibilizados pelo Fundo de Apoio à Estruturação e Desenvolvimento de Concessões e Parcerias Público-Privadas (FEP), gerido pelo banco Caixa Econômica Federal (CEF).

Mais uma vez, vale ressaltar as inúmeras dificuldades que os municípios brasileiros enfrentam para cumprir as exigências da PNRS. Não obstante o atual contexto de crise, soma-se à dificuldade em obter recursos, encontrar um local adequado para a construção do aterro sanitário, obter licenças ambientais, entre outros fatores. Para piorar a situação, a União e os Estados não conseguem atender as demandas municipais de apoio técnico e financeiro. Um levantamento de 2019 da Confederação Nacional dos Municípios (CNM) alerta que apenas 38% dos municípios do consórcio possuem aterros sanitários, o que significa que, apesar de os municípios terem avançado na formação do consórcio, ainda não conseguiram obter os recursos necessários para a implantação dos aterros sanitários (CMN, 2020).

Nessa temática, é importante destacar que há citações na literatura de Municípios que implementaram, por exemplo, um aterro controlado em vez de um aterro sanitário. Devido às dificuldades econômicas de monitoramento e controle, o local ganhou características de um lixão. Dito isso, a operação de aterros sanitários em municípios com até 20 mil habitantes é inadequada e não deve ser incentivada devido aos riscos envolvidos (TCU, 2011). Os ganhos de escala potencializados pelo compartilhamento de instalações são inegáveis, o que comprova que os custos dos investimentos para a instalação de aterros sanitários são inversamente proporcionais ao número de habitantes atendidos. Além disso, a desapropriação de apenas uma área para implantação de um aterro sanitário reduz os impactos ambientais negativos causados. Vale lembrar que o consórcio não é a solução para todos os problemas de gestão de resíduos urbanos. A gestão municipal dos RSU deve ser abordada em um

processo de planejamento e monitoramento, direcionando ações prioritárias e com foco no cumprimento da legislação.

A maioria dos municípios do Amazonas e do Centro-Oeste tem grandes distâncias entre si – às vezes sem qualquer via de acesso (via férrea ou hidrovia direta) – onde a formação de um consórcio se mostra inadequada e inviável do ponto de vista operacional. Além disso, o financiamento de aterros de menos de 100 toneladas/dia, exceto em regiões isoladas (para as quais os biodigestores e a compostagem podem ser soluções mais adequadas), mostra-se insustentável, ambiental e financeiramente (ZVEIBIL, 2021).

Linhas de crédito para o biometano (financiamento do transporte, construção de gasodutos)

Por sua vez, quando se trata de captar o biogás para fins energéticos, ainda é necessário investir mais em informações, principalmente no fornecimento de informações qualificadas aos tomadores de decisão. É necessário capacitar, qualificar e fortalecer os atores locais, aumentando a mão de obra especializada disponível na região para a multiplicação de conhecimentos, desenvolvimento de estudos, implantação de plantas, replicação de modelos e manutenção e operação de unidades. Nos últimos anos, o setor de biogás (e biometano) vem promovendo discussões para resolver barreiras técnicas, políticas, mercadológicas e sociais em toda a sua cadeia. Até então, o setor carecia de políticas públicas direcionadas que pudessem promover um cenário institucional, econômico, normativo e regulatório com condições favoráveis e estáveis para referenciar, incentivar e garantir a produção e as aplicações das fontes de energia.

Muito em parte derivado do "Compromisso Global para o Metano", também assumido pelo Brasil na COP 26 – que prevê uma redução voluntária de 30% das emissões mundiais até 2030 –, o Programa Nacional para a Redução do Metano a partir de Resíduos Orgânicos – Metano Zero, aparece como uma excelente oportunidade para desbloquear o setor. O Programa, iniciativa do Governo Federal, busca promover a redução das emissões de metano em consonância com o desenvolvimento sustentável a partir da cooperação para financiamento, incentivos, isenções, capacitação, desenvolvimento e disseminação de tecnologias e processos.

A inclusão do biometano no Regime Especial de Incentivo ao Desenvolvimento de Infraestrutura (REIDI) foi importante. O REIDI suspende a cobrança de PIS/COFINS (tributos) sobre as receitas provenientes de vendas de máquinas, equipamentos, materiais de construção, serviços e locações de obras e infraestrutura quando adquiridas por pessoas jurídicas beneficiárias do regime e destinadas ao empreendimento. Outras medidas de incentivo que merecem destaque são as linhas de crédito e o financiamento específico para os agentes financeiros públicos e privados implementarem biodigestores, purificação de biogás, sistemas de produção e compressão de biometano e pontos verdes e corredores para o fornecimento de veículos pesados movidos a biometano. O Programa também criou o crédito de metano, modelo semelhante ao crédito de carbono que será incorporado ao mercado de carbono no Brasil.

A Lei nº 14.134/2021 (Nova Lei do Gás) e seu Decreto Normativo nº 10.712/2021 favorecem o ambiente de negócios para investimentos no setor. Estabelecem que qualquer gás com as mesmas características do gás natural deve receber tratamento igual, desde que atenda às especificações estabelecidas pela ANP – como é o caso do

biometano. Desta forma, foi dada segurança jurídica às empresas de biogás que podem utilizar a base legal e regulamentar do gás natural.

A ANP é responsável pela definição de normas técnicas no âmbito das especificações de transporte, armazenamento e qualidade do gás natural. No entanto, em relação ao biometano, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) não define regras para a aprovação do controle de qualidade e as especificações para injeção em gasodutos de distribuição. Quando fornecidos, os requisitos técnicos para a injeção de biometano na rede de distribuição de gás natural na forma canalizada (dedicada ou não) estão de acordo com os requisitos específicos da legislação estadual. De acordo com a ABNT NBR 16837-1:2020, as condições de operação devem ser acordadas entre os interessados, de acordo com a regulamentação local vigente (ABNT, 2020) (Clementino, 2021).

De acordo com ARSESP, as distribuidoras de gás canalizado têm observado um interesse crescente na demanda por biometano por parte dos usuários, inclusive identificando o movimento de alguma migração para o biocombustível, mesmo que por modal diferente do tubo. Dentre as dificuldades identificadas para a massificação dessa fonte de energia, duas principais podem estar na área de influência das concessionárias de gás canalizado:

- (i) Aproximar as redes de distribuição das áreas fornecedoras de biometano; e
- (ii) Conhecer a participação de mercado disposta a pagar o prêmio para acessar essa fonte de energia (BNDES, 2020).

O princípio do livre acesso à rede de distribuição de gás canalizado também oferece maior segurança para quem pretende investir em projetos de produção de biometano, pois a utilização da infraestrutura da rede permite alcançar mais consumidores. Há ainda a possibilidade de rateio do valor dos investimentos entre os usuários do sistema de gasodutos e da troca operacional de gás natural (*swap*) associada ao regime de contratação da capacidade de gasodutos do tipo entrada e saída, e ambos previstos na "Lei do Gás". Esses mecanismos permitem que os produtores negociem com clientes em potencial em qualquer parte da rede.

De qualquer forma, para promover o desenvolvimento de um mercado consolidado de biometano e promover um cenário de injeção dessa energia na rede de distribuição de gás nos estados, é necessário atender a uma série de requisitos, tais como:

- Investir na desburocratização e diversificação de linhas de crédito e financiamentos específicos para produtores e indústrias;
- Reduzir as barreiras ao crédito e promover incentivos fiscais. Os empréstimos devem ser executados antecipadamente, associados ao planejamento financeiro e a coeficientes técnicos definidos para minimizar os riscos de endividamento;
- Incentivos específicos permitem a redução dos custos de produção de biometano e garantias efetivas de compra de gás - a criação de grandes demandas possibilitaria a implementação de gasodutos para o transporte de biometano;
- Contratos de fornecimento de biometano a distribuidores a preços de compra competitivos.

Ainda segundo a ARSESP, o que viabiliza a construção do gasoduto é a capacidade de fornecer biometano com "qualidade ANP", que, por sua vez, depende da escala do produtor. Em relação à maturidade tecnológica para a produção e distribuição de biometano, verifica-se que esta barreira foi ultrapassada em vários países que fazem uso intensivo de gás renovável; no entanto, para o mercado nacional, ainda é tratada como uma "inovação".

5. Programas e Projetos

Dentre todas as atividades, o descarte de RSU é considerado o principal responsável pelas emissões do setor (SEEG, 2019a). Os lixões ainda são a forma mais comum de destinação de resíduos do país, totalizando 2.707 estabelecimentos. Além disso, é possível identificar a presença de 1.310 aterros controlados e 640 aterros sanitários (Brasil, 2021).

Dessa forma, o cenário atual da gestão de resíduos no Brasil permite concluir que há muito espaço para melhorias significativas e, conseqüentemente, oportunidades para ações que envolvam projetos de redução de emissões de GEE. Dentre essas opções, destacam-se a coleta de biogás para destruição e biometano para uso industrial. Os projetos de captura e destruição de biogás têm viabilidade econômica comprovada, com custos de implementação relativamente baixos e alto potencial de mitigação. Podem ser aplicados em aterros sem essa tecnologia (ou com baixa eficiência) ou na transição de práticas de disposição de resíduos – de locais inadequados, como aterros e lixões controlados, para aterros sanitários. Dito isto, deve-se mencionar que, em geral, a geração de biogás nessas regiões também aumentará.

Ao contrário dos grandes centros urbanos, em algumas regiões, os lixões e aterros controlados ainda predominam como destino final dos RSU – principalmente no Centro-Oeste, Nordeste e Norte do país. Ainda mais, os pequenos e médios municípios carecem de recursos e infraestrutura. É prática comum não queimar gás de aterro de operações de resíduos ou queimá-lo de forma ineficiente.

Diante desse cenário, as duas principais propostas designadas para o setor de resíduos são apresentadas a seguir. No apêndice, elas são apresentadas com mais detalhes.

Projetos de queima e captura de gás de aterro sanitário

O objetivo do primeiro projeto é evitar a liberação de metano na atmosfera resultante da decomposição anaeróbia de RSU. Embora este projeto possa – e deva – ser expandido para modelos de uso de energia no futuro, essa primeira atividade envolve apenas a captura e queima de gás sanitário em novos aterros sanitários. Sugere-se a criação de consórcios, onde a viabilidade econômica e financeira da empresa e o seu bom funcionamento possam ser garantidos.

Embora não deva ser considerada a solução definitiva para a gestão de resíduos no país, os aterros sanitários são um elemento importante da gestão integrada. Através da coleta e combustão de gás de aterro, os aterros reduzem os efeitos ambientais globais e locais de liberações descontroladas. Os riscos de efeitos tóxicos na comunidade e no

ambiente do local são atenuados através de uma gestão adequada dos aterros. Operacionalmente, a gestão adequada do biogás reduzirá o potencial de incêndios e a liberação associada de produtos de combustão incompleta.

A extensão substancial dos serviços de saneamento para fazer face ao atual déficit de infraestruturas poderá conduzir a um aumento considerável das emissões se as tecnologias de captura e queima de biogás não forem introduzidas em larga escala.

Para evitar emissões, uma articulação entre os estados e seus municípios nos processos de licenciamento ambiental é essencial para tornar obrigatória a implantação de sistemas de captura de biogás e, quando técnica e viável, seu uso energético.

Impulsionar o uso de biometano na indústria

Outro projeto promove a ampliação do uso energético e térmico do biometano em plantas industriais, sendo este biometano produzido através de RSU. Este projeto pode então ser de interesse de indústrias que exigem muita energia para geração de calor, como usinas siderúrgicas, ou para indústrias que desejam reduzir sua pegada de carbono. As usinas geradoras podem ser qualquer aterro sanitário, dada uma escala mínima de viabilidade – um nível que normalmente começa em 600 toneladas por dia.

Dessa forma, para a disseminação do biometano para tais aplicações, além da implantação de plantas de purificação, seria importante promover ainda mais a expansão/criação de dutos no país. Atualmente, esse modelo só é interessante quando a planta produtora está localizada próxima à planta consumidora, onde faz sentido transportar o combustível usando um caminhão (*beam truck*), a forma predominante de transporte de biometano no país. O cenário atual pode não tornar o modelo viável para grandes volumes de biocombustível necessários e para longas distâncias de onde é produzido.

O uso térmico do biometano para fins industriais tem se mostrado uma opção. Já existem experiências no país, por exemplo, de biometano para uso em um complexo siderúrgico em altos-fornos, coqueificação e sinterização, setores que fazem parte do processo de produção de aço. É um cenário com potencial de expansão, sendo uma opção para reduzir o aspecto ambiental das emissões de GEE com a introdução do biocombustível nas operações da indústria pesada, ao mesmo tempo em que contribui para uma boa gestão de resíduos na cidade, um modelo em que todos ganham.

No Brasil, a expectativa é que com a nova Lei do Gás (nº 14.134/2021), recentemente regulamentada, haja mais investimentos em infraestrutura para a expansão da rede de gasodutos. O texto libera o acesso do biometano à rede de gasodutos, incentivando sua regulação pelos Estados responsáveis pela política de distribuição de gás. O marco sanitário recentemente aprovado também é favorável, pois o biometano pode ser produzido a partir do tratamento do biogás gerado em aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto.

Assim, este projeto visa propagar o uso do biometano como substituto do gás natural nas indústrias, bem como facilitar as conexões de biometano na entrada da rede de distribuição de gás existente e incentivar a construção de uma nova rede. Este projeto destina-se a municípios de médio e grande porte com aterros sanitários; e para o setor industrial para aqueles que querem um processo com menor pegada de carbono.

Dessa forma, o aumento projetado do uso de biometano em atividades industriais e novas usinas térmicas estimula o debate sobre a implementação de programas de expansão da rede de gasodutos no país. O biometano pode ser transportado através de gasodutos e sob a forma de gás comprimido através de veículos de transporte adequados para este fim. Também pode ser transportado através de uma tubulação dedicada, onde apenas o biometano de aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto é entregue aos consumidores industriais. A rede de gasodutos do Brasil para o transporte de gás natural é de cerca de 9.500 km, e transporta gás natural das unidades de processamento (UPGN) para as instalações de armazenamento. Esses dutos também podem levar a molécula diretamente a grandes consumidores, como indústria pesada ou termelétricas, ou, por fim, aos pontos de entrega das concessionárias estaduais de distribuição. A rede de distribuição tem 35.500 km de extensão, recebendo o gás no ponto de entrega e depois transportando-o para os consumidores finais.

A primeira injeção de biometano na rede de distribuição no Brasil foi desenvolvida no estado do Ceará. Desde 2018, a GNR Fortaleza – parceria entre a Marquise Ambiental e a Ecometano, do grupo MDC – injeta o gás produzido no Aterro Municipal do Oeste de Caucaia, na Região Metropolitana de Fortaleza, na rede Cegás (distribuidora local). Hoje, o gás renovável representa quase 15% do volume distribuído pela concessionária local. A produção diária de biometano gira em torno de 110 mil m³, cerca de 36,5 milhões de m³ por ano, podendo evitar 610 mil toneladas equivalentes de CO₂ liberadas na atmosfera anualmente (ECOMETANO, 2020), sem contar as emissões evitadas da fonte fóssil substituída.

Outros exemplos pioneiros e bem sucedidos no país são o projeto "Cidades Sustentáveis", em Nanduba (SP), envolvendo uma parceria entre a distribuidora GasBrasiliiano e a fábrica de Cocal. Este projeto, em fase final de desenvolvimento, é o primeiro projeto no Brasil para a distribuição regional exclusiva de biometano canalizado. O investimento total estimado é de R\$ 180 milhões, sendo R\$ 30 milhões para a GasBrasiliiano para a construção da rede de distribuição e R\$ 150 milhões para a Cocal para a construção da usina de produção de biometano, que já está concluída. Além disso, em São Paulo, outro projeto é a conexão do aterro sanitário de Caieiras à rede de distribuição da Comgás. A Orizon Recuperação de Resíduos também tem planos de injetar biometano na rede de distribuição para suprir a demanda do polo industrial de Paulínia. A Copergás, distribuidora de gás natural em Pernambuco, também aposta no biometano como importante fonte de abastecimento no futuro. Uma das metas da concessionária é que 20% do gás distribuído pela empresa venha de fontes renováveis dentro de dez anos, algo como 340 mil m³/dia.

No entanto, para que a produção de biometano se torne viável, é provável que seja necessário algum apoio institucional e econômico. Isso implica em investigar como esses incentivos econômicos devem ser formados e quais mudanças institucionais são necessárias. Algumas sugestões são:

- Criação de um prêmio financeiro para o consumo de biometano, bem como de um conjunto de mecanismos estruturais para acelerar a transição da utilização de energia do biogás para o biometano;

- Criação de certificados de origem para o biometano: a certificação possibilita agregar valor comercial adicional, além de auxiliar, para fins fiscais e estratégicos, na identificação da porção renovável injetada na rede, uma vez que a fungibilidade do gás ocorre no interior dos gasodutos;

Na França, por exemplo, é possível injetar biometano num ponto da rede e vendê-lo através de certificados com outro fornecedor ou a um cliente final. Para esse fim, os estados devem buscar renovações e ajustes em seus marcos legais e estabelecer e mapear critérios para conexões entre usinas de fornecimento de biometano e redes de distribuição.

- Os Estados devem ser encorajados a regular a figura do consumidor livre

Apesar de a "Nova Lei do Gás" conceder aos consumidores livres a liberdade de construir e implementar instalações e gasodutos para seu uso específico, cabe ao órgão estadual definir as tarifas de operação e manutenção. A distribuição como segmento regulado tem suas operações cedidas pelos governos estaduais. Diante disso, para viabilizar a expansão da rede, o governo deve estabelecer mecanismos que facilitem a aprovação e implementação de planos de negócios sustentáveis.

- O RenovaBio deve considerar outras aplicações de biometano além do uso do transporte, dado o seu valor ambiental.

Renovabio é um programa nacional de biocombustíveis. O mercado de créditos de descarbonização para a produção e importação de biometano destinado a diferentes utilizações finais, incluindo a injeção em redes de gasodutos, deve ser ampliado. Atualmente, o RenovaBio lida exclusivamente com a descarbonização da matriz de transporte; ou seja, a Política não abrange usinas de biogás com fins meramente térmicos ou elétricos. A possibilidade de fungibilidade de CBIOs (créditos de descarbonização) com mecanismos criados em outros programas e em um escopo que inclui outros setores - além do transporte - tende a oferecer maior liquidez aos CBIOs do que seria obtido apenas pela demanda obrigatória dos distribuidores. O desenvolvimento de planos para a indústria de gás natural deve incluir mecanismos que flexibilizem a oferta e a demanda de biometano, além de estruturas de financiamento para a expansão da rede que inclua áreas potenciais para a integração de plantas de produção, visando promover oportunidades para o mercado de injeção de biometano. Relações sinérgicas entre metas e incentivos econômicos para a aquisição de biometano podem agregar oportunidades para que as distribuidoras construam portfólios de produtos, com biometano incluído no *pool* de gás natural ou ofertado isoladamente, favorecendo assim a busca por mercados âncora e investimentos em novas redes de consumo. A integração do biometano com o gás natural também é essencial para alcançar os objetivos do Novo Mercado de Gás.

- "Bônus tecnológico" exclusivo para o processamento de biogás, diferente para cada tecnologia e tamanho de planta, além de impor limites operacionais para estimular inovações específicas, como consumo de energia elétrica, fuga de metano e perdas térmicas em cogeração.

- Quota mínima para a aquisição de biometano por distribuidores de gás e o estabelecimento de preços de venda compatíveis com os custos de produção. Os contratos de venda de longo prazo permitem garantias de retorno sobre os investimentos.
- Requisito mínimo relativo à concentração máxima de siloxanos presentes no biogás de aterro e de tratamento de esgotos (que não existem no biometano de vinhaça) – custos adicionais.

O cumprimento das normas ANP para o biometano produzido a partir de gás de aterro sanitário e de tratamento de esgotos no parâmetro dos siloxanos é difícil de ser cumprido. Os custos para atender aos requisitos de qualidade impostos pela ANP é um fator que pode ser um impedimento para que o biometano seja amplamente utilizado em escala comercial.

Dadas as flutuações no preço do gás natural no mercado internacional intensificadas devido às sanções impostas à Rússia, a produção local de biometano, que já seria um objetivo estratégico no campo da sustentabilidade, é agora também uma questão econômica.

O mercado também aguarda os detalhes dos incentivos previstos nos programas Metano Zero e Combustível do Futuro do governo federal. Ambas as iniciativas buscam valorizar os benefícios ambientais dos combustíveis renováveis ao longo de seu ciclo de vida e, assim, permitir a geração de créditos de metano complementares aos créditos de descarbonização (CBIOs) da RenovaBio.

6. Referências

- ABRELPE, 2015. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Empresas Especiais de Resíduos. Costs estimativas para possibilitar a universalização da destinação adequada de resíduos sólidos no Brasil. São Paulo, SP: Jun. 2021. ABRELPE, 2015. 91 págs.
- ABRELPE, 2021. Visão Geral do Resíduos Sólidos no Brasil 2021 - Ano 2020. Brasil, São Paulo, SP: dez de 2021. ABRELPE, 2021. 54 p.
- ANP, 2015. Agência Nacional de Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis. Resolução ANP n.º 8, de 30.1.2015 - DOU 2.2.2015. Estabelece a especificação do Biometano contida no Regulamento Técnico ANP n.º 1/2015, parte integrante desta Resolução. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis Rio de Janeiro- RJ, 2015.
- ANP, 2017. Agência Nacional de Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis. Resolução ANP n.º 685, de 29.6.2017 - DOU 30.6.2017. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis Rio de Janeiro- RJ, 2017.
- ARSESP - Texto de Referência para Apoio ao Workshop Selo Verde e Incentivos para a Utilização de Biometano no Suprimento de Gás Canalizado no Estado de São Paulo
- BNDES, 2020. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Gás para o desenvolvimento. Rio de Janeiro: BNDES, 2020
- BNDES, 2021. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. GÁS PARA O DESENVOLVIMENTO RELATÓRIO | FEVEREIRO 2021 Perspectivas de oferta e demanda no mercado de gás natural do Brasil. Rio de Janeiro, 2021.
- BRASIL, 2010. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a "Política Nacional de Resíduos Sólidos"; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e toma outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 de agosto^{da}2010
- BRASIL, 2020. Law n.º 14.026, de 15 de julho de 2020, atualiza o "Legal Framework for Basic Sanitation" e altera o Law n.º 9.984, de 17 de julho de 2000, o Law n.º 10.768, de Novembro 19, 2003, o Law n.º 11.107, de 6 de abril de 2005, o Law n.º 11.445, de January 5th, 2007, o Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010, a Law n.º 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), e o Law n.º 13.529, de 4 de dezembro de 2017,.... Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 de julho^{da}2020.
- BRASIL 2021 Comitê de Monitoramento da Abertura do Mercado de Gás Natural. Manual Orientativo de Boas Práticas Regulatórias do Comitê de Monitoramento da Abertura do Mercado de Gás Natural (CMGN). Brasil, 2021.
- CLEMENTINO, W. S., 2021. Análise de condicionantes para injeção do biometano na rede de distribuição de gás canalizado. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Programa de Planejamento de Sistemas Energéticos. Campinas, 2021.
- CMN, 2020. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. DIAGNÓSTICO DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Brasília, 2020.
- CNI, 2019. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS: UM GUIA PARA TOMADORES DE DECISÃO. Brasília, 2019.
- EPE, 2018. TÉCNICA DEA 019/2018 Estudo sobre a Economicidade do Aproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterro para Produção de Biometano. Rio de Janeiro, 2018.
- EPE, 2019a. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço energético nacional 2019. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoesdados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>.
- EPE, 2019b. Informe técnico: potencial energético dos resíduos urbanos: No EPE-DEA-IT-007/2019. Rio de Janeiro, dezembro de 2019.
- EPE, 2021a. Modelos de negócio para utilização de energia a partir de resíduos sólidos urbanos - versão revista e alargada. Empresa de Pesquisa Energética n.º IT-EPE-DEA-SEE-002/2021. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: 29 Jun. 2021a. EPE, 2021. 41 págs.

- EPE, 2021b. Balanço Energético Brasileiro 2021 Ano 2020. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: EPE, 2021b. 292 págs.
- IPCC, 2019. 2019 Refinamento das Diretrizes do IPCC de 2006 para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. e Federici, S. (eds). Publicado em: IPCC, Suíça.
- IBGE, 2020. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário/IBGE, Coordenação de Indicadores Populacionais e Sociais. - Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 124 p.: il. Inclui bibliografia e glossário. ISBN 978-65-87201-11-5 (em inglês)
- MARIANI, L., 2018. Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil. 2018. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP, 144 p., 2018.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2022. Mensal Monitoring Bulletin do Natural Gas Industry nº 184 - Junho 2022. Secretaria de Petróleo, Natural Gas e Biofuels - Department of Natural Gas. Brasília, DF: MME, 2022.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2021. Secretaria Nacional de Saneamento. Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB. Relatório Anual de Avaliação. Brasília DF: MDR, 2021. Abr. 141 págs.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2022. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS 2021 Diagnoses. Brasília, DF: MDR, 2022. Departamento Nacional de Saneamento. Modo de acesso: www.snis.gov.br (online).
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES, 2021. Opções para mitigar as emissões de gases de efeito estufa em setores-chave no Brasil. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de gestão de resíduos: Régis Rathmann. Brasília: MCTI, 2017. 278 p. ISBN: 978-85-88063-37-2.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES, 2021. Quarta Comunicação Nacional sobre Emissões Antropogênicas e Remoção de Gases de Efeito Estufa do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Brasília, DF: MCTI, 2021. 620 p.: il. ISBN: 978-65-87432-18-2.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2022. Departamento de Qualidade Ambiental. Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES [recurso eletrônico] / coordenação de André Luiz Felisberto França... [et. al.]. - Brasília DF: MMA, 2022. 209 p. : il.; Cor. Modo de acesso: World Wide Web ISBN 978-65-88265-15-4 (online).
- UNIÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CIMENTEIRA, 2019. Roteiro Tecnológico do Cimento: Potencial para Redução das Emissões de Carbono da Indústria Brasileira de Cimento até 2050. Visedo, Gonzalo; Pecchio, Marcelo; Oliveira, Maria Gisele Fonseca. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Portland do Cimento: Título. CDD - 23 e. - 666,94. SNIC, 2019. 64 págs.
- PROTEGEER, 2021. Cooperação para a proteção do clima na gestão dos resíduos sólidos urbanos. ROTEIRO PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) NO MANEJO DE RSU. BRASÍLIA/DF 2021.
- UNTERSTELL E LA ROVERE, ET AL., 2021. Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030. Disponível em: <www.climaesociedade.org>. Acesso em 01 de janeiro de 2022.
- VON SPERLING, M., 1996. Introdução à Qualidade da Água e Tratamento de Esgoto. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuais, ed. 2, v. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 págs. ISBN: 85-7041-1 14-6.

Apêndice 1 – Uso de Biometano – o Caso do Rio de Janeiro

Devido à política de saneamento, o biometano é uma fonte de energia limpa que aumentará em todo o país. Portanto, este combustível precisa ser integrado ao mix de fontes para diminuir o teor de carbono da matriz energética. Com o objetivo de ampliar o uso do biometano pelo setor industrial, analisa-se aqui o caso do Estado do Rio de Janeiro, com sugestões de instrumentos e melhorias institucionais. Embora a ênfase seja dada a este Estado em particular, é um modelo que pode ser facilmente replicado em outras partes do país, com a devida atenção às particularidades.

No Rio de Janeiro, a distribuição de gás é um serviço público prestado por uma empresa privada: a Naturgy, atualmente operadora técnica das antigas empresas privatizadas, Ceg e Ceg Rio. A distribuição de gás natural é uma concessão do governo do Estado, que tem como objetivo prestar um serviço de primeira classe à população. A Naturgy distribui gás natural da Petrobras sob a supervisão de um órgão governamental, a AGENERSA – Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro.

No Rio, a Lei nº 6.361/2012 trata da Política Estadual de Gás Natural Renovável. A lei exige que as distribuidoras adquiram todo o biometano produzido no Estado até o limite de 10% do volume de gás natural distribuído por cada concessionária, desconsiderando a demanda termelétrica. Isso significa que, dado o tamanho atual do mercado estatal de gás, haveria espaço para uma injeção obrigatória de cerca de 650.000 m³/dia na rede da Naturgy. Dez anos após a publicação da lei, no entanto, essa injeção de biometano na grade não atingiu os valores esperados. Um obstáculo é o preço máximo de referência fixado para os combustíveis renováveis, que não constitui um incentivo eficaz. O fato é que as incertezas ainda marcam o cenário de curto/médio prazo para o biometano. Novas fontes necessitam de atenção especial, soluções econômico-financeiras e institucionais para o seu pleno desenvolvimento.

Uma proposta promissora é promover uma forte parceria entre o governo do Estado, distribuidores, empresas e bancos de desenvolvimento, como fonte segura de financiamento. Custos em níveis tão altos quanto "inovações" exigem compartilhamento de custos entre os envolvidos. Deve-se garantir que a concessionária forneça plenos direitos de passagem para o biometano e que forneça taxas de uso para os dutos de valor apropriado. Além disso, dado o caráter de equivalência entre biometano e gás natural, já estabelecido por lei, é necessário ampliar toda a legislação atualmente aplicável ao gás natural – fortemente em difusão – para ser, da mesma forma, em todas as suas nuances, também direcionada ao biometano. Significa que toda Lei, Portaria, incentivo e questões correlatas direcionadas ao gás natural também devem incluir o biometano. Além disso, devem ser garantidos prêmios e vantagens especiais ao biometano, tendo em conta os seus inúmeros benefícios ambientais intrínsecos.

O Rio de Janeiro possui duas usinas de biometano, mas os volumes produzidos nesses dois ativos são vendidos apenas para indústrias e postos de GNV (gás natural comprimido) por meio de caminhões, sendo este modelo o mais rentável da distribuidora. A Urca Energia opera a maior usina do gênero no país, no aterro de Seropédica, na Região Metropolitana, produzindo cerca de 120 mil m³/dia. A Ecometano, por outro lado, produz 15.000 m³/dia no aterro de Dois Arcos, em São Pedro da Aldeia, na Região de Lagos, na primeira fábrica de

biometano do Brasil. A expectativa é que o volume produzido no Estado cresça nos próximos anos. Aliás, uma das principais referências para este projeto é a Companhia de Gás do Ceará (Cegás) com a GNR Fortaleza. Este caso de sucesso deve ser replicado, dada a forte demanda dos consumidores industriais por biometano. Este projeto também pode incentivar a instalação de projetos similares em outras localidades, ampliando o acesso dos consumidores a combustíveis com as mesmas especificidades e aplicações que o gás natural. Além disso, diversificar a fonte de abastecimento, especialmente em razão de preços elevados do petróleo e do gás, é um passo importante para o mercado da energia.

Vale ressaltar que o setor de gás encanado no Brasil possui regime jurídico e jurisdição mista (federal e estadual). De acordo com o art. 177 da Constituição Federal, a exploração, importação e transporte de gás natural são de responsabilidade da União, enquanto, nos termos do art. 25 § 2º da Constituição Federal, a exploração dos serviços locais de gás canalizado é de responsabilidade dos estados. O mesmo se aplica aos gases renováveis (biometano). A ANP, por meio das Resoluções nº 8/2015 e nº 685/2017, regulamenta a especificação do biometano proveniente de produtos agrosilvopastoris e dos resíduos orgânicos de aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto. A Resolução nº 734/2018 regulamenta a autorização para a produção de biocombustíveis e a autorização para o funcionamento da unidade produtora. Os produtores de biometano (Gás Verde, GNR Fortaleza e GNR Dois Arcos) enfrentam dificuldades para encontrar laboratórios (credenciados pelo INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) que realizem análises sobre o teor de siloxanos e compostos orgânicos voláteis no biometano. Hoje, apenas dois laboratórios no Brasil estão disponíveis, SGS do Brasil e Nutec, localizados respectivamente em São Paulo e no Ceará. Para isso, enquanto essa falta de laboratórios ainda é uma realidade, pode ser uma opção suspender temporariamente essa obrigação e permitir o uso de outros laboratórios - que comprovam seus processos de gestão e qualidade sempre que solicitados.

Especificamente para o caso do Rio de Janeiro, os seguintes ajustes regulatórios são sugeridos:

- Completar a regulação do aspecto do mercado cativo e os aspectos regulatórios do biogás para o mercado livre. O regulamento deve garantir a ligação dos produtores à rede e estabelecer regras para o mercado livre dos biocombustíveis. Deve definir as regras para a comercialização, prioridade para o acesso a autoprodutores, auto importadores e usuários livres, e a permuta física ou financeira de gás natural e biometano;
- Os fornecedores de biometano não devem pertencer aos mesmos grupos econômicos que as concessionárias;
- As concessionárias devem fazer uma chamada pública de propostas para a compra de biometano para atender o mercado regulado. Para o mercado livre, as concessionárias não poderão negar o acesso à rede de distribuição de gás canalizado ou impor um volume mínimo para que o usuário se torne "Livre de Biometano";

O autoprodutor, o auto importador e o utilizador livre de biometano devem ter acesso prioritário à rede de distribuição de gás.

Do ponto de vista técnico e regulatório, as distribuidoras não têm impedimentos para a compra de biometano – a tecnologia já é dominada no Brasil, inclusive um case de sucesso no Ceará. A incipiência atual da indústria brasileira de biometano decorre do círculo vicioso da escassez de sinais econômicos e da falta de economias de escala, que resultam em baixo desenvolvimento do mercado consumidor e vice-versa. Por outro lado, as condições de distribuição e consumo do biometano podem ser as mesmas aplicáveis ao gás natural. Portanto, um fortalecimento mútuo dessas duas cadeias de energia pode ocorrer. O biometano é essencial para o setor de gás no sentido de integração e complementação com o gás natural para possibilitar maior sustentabilidade ambiental para o setor de gás em um momento em que o tema ESG vem ganhando cada vez mais destaque nas empresas nacionais e internacionais.

Apêndice 2

A.2.1. Oportunidade de Investimento 1 – Coleta de Gás de Aterro e Destruição de Metano em *Flares* (Queimadores)

I. INFORMAÇÕES BÁSICAS DO PROJETO		
1	Título da atividade do projeto (AP)	Coleta de gás de aterro e destruição de metano em <i>flares</i> . (infraestrutura inicial para aterros sanitários com a possibilidade de atualização para futuros sistemas de geração de energia)
2	Escala da atividade do projeto	Grande Escala
3	Localização da atividade do projeto	Este projeto foi concebido especialmente para municípios de médio e pequeno porte que não possuem soluções eficientes de gestão de recursos. No Brasil, para novos aterros, a escolha da área para sua implantação deve seguir os critérios regionais estabelecidos na norma técnica NBR 13896 (ABNT, 1997). Critérios técnicos, ambientais e sociais têm sido utilizados, além de critérios legais, em estudos para a implantação de aterros sanitários. Veja a Figura 1 – Distribuição da disposição de resíduos no território brasileiro. Não há aterros suficientes no Brasil para atender seus 5.570 municípios (menos de 650).
4	Tecnologia / serviço / outro	Este projeto pode ser aplicado a nível municipal ou num consórcio de municípios a nível regional e nacional. A escolha das tecnologias depende de fatores como a população atendida (capacidade), a quantidade de resíduos e a política que os municípios, a região ou o governo federal gostariam de seguir. A Lei nº 11.107, em vigor desde 6 de abril de 2005, regulamenta a cooperação inter federativa para a gestão dos serviços públicos por meio de consórcios públicos e acordos de cooperação. Deve ocorrer a implantação de novos aterros sanitários baseados na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), tendo como requisito a implantação de sistemas eficientes de captação de gás que garantam a destruição do metano.
5	Setor econômico	Gestão de resíduos sólidos
6	Redução média anual das emissões de GEE (t CO ₂ e)	O relatório de 2017, elaborado pelo Sindicato Nacional das Empresas de Limpeza Urbana do Estado de São Paulo (Selur, 2017) em parceria com a consultoria PwC, calcula que mais de três mil lixões brasileiros ainda estejam em operação, liberando cerca de 216 mil toneladas de CH ₄ na atmosfera, o que representa o equivalente a 6 milhões de toneladas de CO ₂ e por ano. De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares, 2022), eles devem ser substituídos por disposição final ambientalmente adequada. Os aterros sanitários são a opção mais provável no Brasil. Seguindo as metas do Planares (2022), de 2020 a 2030, a destruição de metano em <i>flare</i> deve ter um potencial de mitigação de 3,5 Mt CO ₂ e, mais 12,2 Mt CO ₂ e até 2050. Além disso, se considerar a geração de eletricidade, poderia haver uma redução adicional de 4,4 Mt CO ₂ e de 2020 a 2030, mais 21,6 Mt CO ₂ e até 2050, totalizando 41,7 Mt CO ₂ e de 2020 a 2050 (Unterstell, La Rovere et. al, 2021). * Deve-se notar que o fator de redução de emissões variará dependendo da temperatura e precipitação média do local, composição de resíduos, número de habitantes atendidos pelo aterro, idade dos resíduos depositados, taxa de coleta e taxa de crescimento da população urbana.
7	Data	Esta planilha foi escrita em outubro de 2022. Para o início efetivo do projeto, estudos específicos de impacto e viabilidade devem ser realizados.

8	Informações de contato	Isabela Mancio Lima, Pesquisadora, COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro – isabelalima@ppe.ufrj.br, +55 21 991178279 Saulo Machado Loureiro, COPPE/UFRJ – saulo@lima.coppe.ufrj.br
II. DESCRIÇÃO DA ACTIVIDADE DO PROJECTO (AP)		
1	Descrição do projeto	<p>Grandes centros urbanos com gestão de resíduos mais elaborada e eficiente não são a realidade da maioria dos municípios de médio e pequeno porte do país. A prática comum não é queimar gás de aterro de operações de resíduos – ou queimá-lo com pouca eficiência, apenas por razões de segurança. Além disso, seguindo a legislação brasileira vigente, o investimento do operador do aterro sanitário na captura e queima de biogás não é uma atividade obrigatória. Portanto, muitas vezes não há motivação para o operador investir.</p> <p>Com a instalação de novas unidades, esse arranjo permite que municípios com menos recursos destinem adequadamente seus resíduos, uma vez que consórcios compartilham os custos de implantação, operação e manutenção. A formação de consórcios também favorece o uso do biogás para fins futuros, uma vez que um maior volume de resíduos fica concentrado em apenas uma unidade, favorecendo arranjos tecnológicos mais eficientes e robustos. Essa disposição regionalizada pode ocorrer por meio de delegação, concessões regionais e PPPs, ou diretamente por meio da comunhão dos titulares. Podem ter seus custos minimizados por meio de arranjos intermunicipais, na forma de consórcios.</p> <p>Dito isto, através da construção de aterros, facilitada por acordos de consórcio, este projeto visa impedir a libertação de metano para a atmosfera resultante da decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos. A atividade envolve a captura e queima de gás em aterros sanitários não apenas por razões de segurança e, portanto, aumentando a quantidade destruída. Dessa forma, o projeto visa maximizar a captura de gás de aterro e queimá-lo em quantidade e eficiência muito maiores.</p> <p>* De acordo com Unterstell, La Rovere, et al. (2021), o setor de resíduos sólidos foi responsável em 2020 por 62,4 Mt CO₂e emissões, a maioria dos aterros sanitários.</p> <p>** O RSU é depositado em três unidades diferentes: lixões, aterros controlados. Analisando a Figura 1, é possível verificar que os lixões são a forma mais comum de disposição de resíduos do país, totalizando 2.707 estabelecimentos. Além disso, é possível identificar a presença de 1.310 aterros controlados e 640 aterros sanitários (Brasil, 2021).</p> <p>Dos 5570 municípios, apenas 665 têm mais de 50 mil habitantes (Ministério da Economia, 2020). De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2019, havia 190 consórcios públicos em gestão de resíduos sólidos abrangendo 1617 municípios.</p> <p>De acordo com esses números, o projeto em questão tem um enorme potencial de aplicabilidade.</p>
2	Números-chave da tecnologia	<p>Diversos estudos e projetos sobre resíduos têm sido desenvolvidos no Brasil nas últimas décadas. Da mesma forma, foram publicados artigos científicos sobre estimativas de custos para essas unidades gestoras. Assim, os custos de implementação estimados neste item foram baseados nos custos apresentados em estudos, planos e manuais realizados por especialistas no tema dos resíduos por órgãos oficiais e instituições de referência no tema.</p> <p>Segundo Abrelpe (2015), a construção de um aterro sanitário de grande porte com capacidade de receber 2 mil toneladas/dia de resíduos e/ou atender 2 milhões de pessoas custa US\$ 150 milhões. Para tamanho médio – e uma população de 1 milhão – cerca de US \$ 70 milhões, com uma capacidade de 800 toneladas / dia. Municípios com população de 200 mil habitantes o investimento é de R\$ 23 milhões para uma capacidade de 200 toneladas/dia.</p> <p>Com base na ABRELPE (2015), para 2.000 toneladas de lixo por dia de aterro sanitário, a distribuição média dos custos é:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <5% pré-implantação/implantação • 80% da operação • <10% fechamento/pós-fechamento

		<ul style="list-style-type: none"> • <10% administrativos <p>Apesar de ser simples de construir, o sistema de captação de biogás possui características inovadoras no sistema nacional de gestão de resíduos. Grande parte do sistema de <i>flares</i> implantado é de tecnologia nacional.</p> <p>Para um aterro de 2.000 toneladas/dia, o Capex da instalação do sistema de captura de biogás é estimado em US\$ 4,1 milhões e o Opex em US\$ 5,7 milhões em 20 anos de vida útil (MCTI, 2017, atualizado para outubro de 2022).</p> <p>Esses custos são divididos em todos os equipamentos necessários para a implantação do sistema de coleta e queima de biogás (VANZIN, et al. 2006), conforme esses itens e sua participação estimada nos custos totais (%):</p> <p>Mobilização e Gestão de Projetos: 1,0% Tubulação principal de coleta de gás: 46.0% Tubulação lateral: 3.5% Passarelas: 1,0% Gestão de condensado: 0,6% Poços de Drenagem Vertical: 6,6% Coletores horizontais: 1,2% Equipamentos de Ventilação e Queima: 28,6% Custos de Engenharia, Contingência e Transações Iniciais de projetos de carbono: 11.4%</p> <p>Os valores relacionados à operação e manutenção do sistema de coleta de biogás, incluindo verificações, manutenção de rotina, peças e substituição de poços (MCTI, 2017) são estimados em 7,0% sobre o custo total por ano, cerca de US\$ 285 mil.</p>
3	Descrição técnica da medida de mitigação	<p>A tecnologia a ser utilizada no projeto está disponível no mercado brasileiro e consiste basicamente em drenos verticais interligados a um tubo, que, por sua vez, é conectado a equipamentos de sucção e queima. Todos os materiais e equipamentos são fabricados no Brasil.</p> <p>A tecnologia de captura de gás inclui:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Células de aterro cobertas com uma camada compacta de argila; • Águas residuais canalizadas e tratadas numa estação de tratamento de águas residuais; • Drenos verticais utilizados para extração de gás; • Espaçamento adequado entre os drenos para maximizar a coleta de gás, o que minimiza os custos; • Exaustor de gás projetado como um sistema circular para permitir, em caso de perda parcial ou função total do exaustor em uma direção, a funcionalidade do sistema de gás não é perdida, e; • Sistemas de extração e armazenamento condensados localizados em pontos estratégicos do sistema de gás. <p>As empresas que projetam e constroem sinalizadores geralmente operam em mercados maiores, como combustão, tecnologia de aterros sanitários ou engenharia ambiental. Isso ocorre porque a demanda geral por <i>flares</i> não é suficiente para formar um setor dedicado à queima de biogás. No entanto, existem diversas empresas que fabricam muitas unidades por ano e que atuam no Brasil e no exterior. Existem também várias empresas de engenharia menores no Brasil que produzem queimadores mais básicos, mas que não são especificamente dedicadas à combustão ou engenharia ambiental.</p> <p>A tecnologia para queima de gás de aterro coletado inclui:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Queimador contínuo de alto biogás; • Piloto automático e contínuo utilizando GLP/Biogás; • Pannel de controle e ignição com CLP – Centro de Logística de Processamento; • Vedação hidráulica na base; • Chama monitorada pelo fluxo através de termopares que medem a velocidade do gás através da diferença de temperatura na passagem;

		<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de filtragem e secagem de gases através de decantação e separação. <p>Um sistema de coleta de biogás padrão tem três componentes principais: poços e tubulações de coleta, um sistema de tratamento e um compressor. Além disso, a maioria dos aterros sanitários com um sistema de recuperação de energia terá um sinalizador para queimar o excesso de gás ou para uso durante os períodos de manutenção do equipamento. (MUYLAERT et al., 2000; OLIVEIRA, 2000). A coleta de gás normalmente começa depois que uma parte do aterro (célula) é fechada. Existem duas configurações de sistemas de coleta: poços verticais e trincheiras horizontais, sendo os poços verticais a forma de coleta mais utilizada. Independentemente do sistema de coleta utilizado, cada extremidade é conectada a um tubo lateral, que transporta o gás para um coletor principal.</p> <p>Diversos padrões de rede de tubulação são projetados para facilitar a drenagem de líquidos e minimizar o comprimento da tubulação necessária para o sistema de coleta (ESMAP, 2004). O arranjo dos drenos de coleta pode ser apresentado em duas composições, a espinha e a cabeça do anel. A matriz de espinhas tem uma única cabeça principal com subcabeças que saem dela. Este arranjo representa o uso mais eficiente da tubulação e pode ser projetado para minimizar a quantidade de condensado que se acumula no sistema de coleta de gás de aterro. A eficiência do sistema de coleta é proporcional à eficiência da gestão de lixiviados. O chorume que se deposita na massa de resíduos dificulta a sucção do gás, o que pode reduzir em até 50% a quantidade estimada de biogás a ser coletado (O'LEARY e WALSH, 2006).</p>
4	Participantes do projeto	<p>Participantes do projeto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Empresa de consultoria privada (executora). • Empreiteiro interessado (instituição pública ou privada).
5	Potencial de redução de emissões de GEE	<p>O potencial médio de redução de emissões de GEE para projetos de destruição de metano em queimadores (<i>flares</i>) para 2 milhões de habitantes (2.000 toneladas de resíduos por dia de aterro) é de 444 kt CO₂/ano, equivalente a 0,6 t CO₂e/tonelada de resíduos, considerando 20 anos de vida útil (autores).</p> <p>* Deve-se notar que o fator de redução de emissões variará dependendo da temperatura e precipitação média do local, composição de resíduos, número de habitantes atendidos pelo aterro, idade dos resíduos depositados, taxa de coleta e taxa de crescimento da população urbana.</p>
6	Mercado-alvo e potencial	<p>Indicado para gestores de médios e pequenos municípios, com a indicação da formação de consórcios intermunicipais de gestão de resíduos. A iniciativa privada também está incluída, com a oportunidade de investir no setor e melhorar ainda mais as instalações para modelos mais sofisticados de uso de energia.</p> <p>No futuro, com mais de 50% dos resíduos no Brasil de origem orgânica, há um grande potencial para que o metano produzido a partir de instalações de biogás seja recuperado com relativa facilidade para geração de eletricidade e aquecimento industrial/doméstico. Assim, o investimento privado pode vir de empresas que, no futuro, busquem fazer uso do biogás gerado para fins energéticos.</p>
III. FINANCIAMENTO DE PROJECTOS		
1	Principais detalhes de financiamento de projetos/financiamento estruturado	<p>Existem linhas de financiamento do Governo Federal para estados e municípios brasileiros implementarem projetos de saneamento, incluindo alguns projetos específicos relacionados à gestão de resíduos sólidos. No entanto, a partir da sanção da PNRS em 2010, o acesso aos recursos federais depende, obrigatoriamente, da elaboração do Plano Estadual de Resíduos Sólidos.</p> <p>É dada prioridade ao acesso aos recursos da União para os estados que estabelecem microrregiões para integrar a organização, o planejamento e a execução da gestão de resíduos nos municípios. Os municípios que optarem por soluções conjuntas intermunicipais para a gestão de resíduos sólidos, incluindo a elaboração e implementação de um plano intermunicipal ou a celebração voluntária de planos microrregionais de resíduos sólidos, também terão prioridade (PNRS, 2010).</p> <p>Na esfera econômico-financeira, as receitas operacionais do projeto provêm da cobrança tarifária diretamente dos clientes, por se tratar de uma concessão comum. No caso dos</p>

		<p>resíduos sólidos, para além da tarifa que será cobrada aos usuários, devido ao manuseamento de resíduos domésticos, será também cobrado o tratamento de resíduos de limpeza urbana, a pagar pelo Município como utilizador público especial.</p> <p>Para a destruição do biogás, o mercado de carbono pode ser uma fonte de receitas. A renda obtida com créditos de carbono, no entanto, não foi calculada neste estudo.</p>
2	Fontes de financiamento	<p>Algumas linhas de financiamento para a gestão de RSU destinadas aos municípios são oriundas do Fundo Climático (Subprograma de Energias Renováveis com condições mais fáceis para a implementação de iniciativas desse modelo), por meio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES); recursos da Caixa Econômica Federal (CEF) e de fundos internacionais como GEF e BID.</p> <p>Uma linha que poderia ser de interesse foi anunciada em maio deste ano, com o lançamento pelo Banco do Brasil (BB) de um fundo de investimento para financiar projetos de crédito de carbono. O fundo apoiará projetos sustentáveis e estará vinculado à variação de preços do mercado global de crédito de carbono, disponível para todos os clientes.</p> <p>De um modo geral, os projetos podem envolver: • Coleta e Transbordo; •Peneiramento; •Tratamento; • Uso de energia; • Destino final; • Recuperação ambiental.</p> <p>Basicamente, os critérios de elegibilidade exigem que as propostas promovam a eliminação adequada; cumpram a PNRS e a Lei de Saneamento Básico e que não incluam apenas resíduos de saúde e/ou construção e demolição (setor público).</p> <p>Iniciativas do setor privado talvez estejam especialmente interessadas em projetos que visem ampliar seu escopo para o uso energético do biogás capturado, dado o retorno financeiro sobre a venda e comercialização da energia gerada.</p> <p>*No Brasil, existem 21 aterros sanitários (ANEEL, 2020) gerando energia a partir do biogás, com 174,3 MW instalados</p>
3	Créditos de carbono	<p>Elegível – Atualmente, esse tipo de projeto ocorre em alguns municípios do Brasil, e os créditos de carbono gerados são vendidos para outros países. Com o aumento da produção de resíduos e a necessidade de deter o aquecimento global, há um enorme mercado para que essa prática se desenvolva.</p>
4	Custo por tonelada de carbono (\$/t CO ₂ e)	<p>Para a destruição de metano em aterros sanitários com queima em <i>flares</i>, o custo marginal de redução das emissões é de USD 2,80 por tonelada de CO₂e, considerando a escala de 2.000 toneladas de resíduos por dia de aterro, em comparação com aterros com queima não controlada de biogás, durante 20 anos de vida útil (autores).</p>
5	Risco do financiamento	<p>O custo de capital, ou investimento em infraestrutura para serviços que envolvem a gestão de resíduos sólidos (CAPEX), costuma ser o foco das discussões relacionadas aos custos desse tipo de projeto, embora seja importante lembrar que, quando prestados de forma contínua, esses projetos demandam recursos para sua execução diária. No entanto, a definição de custos operacionais (OPEX) é comumente deixada em segundo plano, apesar de sua importância e volume consideravelmente superior ao CAPEX, uma vez que inclui todas as despesas necessárias para a operação permanente e ininterrupta desses serviços essenciais (combustíveis e outros insumos para equipamentos e frota, folha de pagamento e benefícios para compensação de mão de obra, despesas com manutenção e revisão da frota e outros sistemas operacionais, entre outros).</p> <p>Também é importante destacar que, embora o CAPEX possa ser financiado por diversas fontes de recursos (internos e externos), como outras esferas de governo (Estados e União), organizações internacionais (países e agências multilaterais), instituições de desenvolvimento (bancos de desenvolvimento), os custos operacionais (OPEX) precisam ser subsidiados com o orçamento local, a partir da recuperação dos valores necessários para tal financiamento, através da adoção de um instrumento de remuneração com encargos de utilização.</p>

6	Modelagem financeira	O projeto está em fase inicial de planejamento e requer detalhes para ter os esquemas de financiamento definidos. Vale ressaltar que para um município ter acesso a qualquer financiamento linhas, deve ter seu Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos elaborado, pois sua qualidade será o critério para análise bancária, conforme consta na Lei 12.305/2010.
7	Modelo de aquisição	A Lei Nacional de Consórcios Públicos (Lei nº 11.107/2005) e a Lei Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007) conferem um sistema jurídico que induz formatos associativos e desenhos institucionais diferenciados. Entre elas, visando a implantação de aterros sanitários e projetos do tipo MDL (mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto), está incluída a concessão comum ou a adoção da parceria público-privada (PPP). No caso de regiões metropolitanas ou regiões compostas por diversos municípios de pequeno e médio porte, estudo de caso desta pesquisa, a destinação final de resíduos pode ser realizada de forma consorciada. A primeira alternativa seria a constituição de um consórcio antes da licitação para a concessão de implantação e operação de aterro sanitário. O próprio consórcio licitaria a concessão/PPP (parceria público-privada). Alternativamente, um município poderia licitar a concessão e os outros se juntariam mais tarde. A grande vantagem da segunda alternativa é a agilidade, ou seja, o fato de que ela pode ser implementada em um período de tempo mais curto.
9	Estágio do projeto	Desenvolvimento de Conceitos
10	Suporte de assistência técnica	Como ainda se trata de um projeto em fase inicial de planejamento, não foi necessário suporte de assistência técnica.
IV. BARREIRAS E RISCOS DO PROJETO		
1	Barreiras e riscos do projeto	<p>Os aterros precisam de um mínimo de escala para o seu correto funcionamento a custos adequados – indica-se a formação de consórcios intermunicipais, onde as diferenças políticas podem dificultar a sua execução.</p> <p>O desenvolvimento de aterros que contenham sistemas de recuperação e degradação de biogás através da queima apresenta poucas barreiras técnicas, onde queimadores estão disponíveis e acessíveis no mercado.</p> <p>Barreiras econômicas são encontradas na restrição de acesso ao capital, como a inexistência de linhas de crédito próprias para aterros sanitários e os custos de transação para obtenção de financiamento. Estudos de viabilidade técnico-econômica e documentação para análise de risco de investimento são caros e podem ser proibitivos para os agentes do setor. Como a gestão dos RSU no país é de responsabilidade dos municípios, que são extremamente carentes de infraestrutura econômico-financeira e gestores capacitados, a adoção de medidas de baixo carbono ainda é difícil. Uma barreira regulatória é o fato de que nenhuma lei obriga a coleta e destruição de biogás de aterros sanitários.</p> <p>Riscos Associados:</p> <p>Políticos – uma vez que a gestão dos resíduos urbanos é uma competência municipal, qualquer solução ou modelo institucional depende da política do poder local. Mudanças de governos municipais a cada quatro anos pode criar descontinuidades para esses projetos, que são necessariamente de longo prazo.</p> <p>Redes sociais/catadoras – na grande maioria dos lixões no Brasil existem catadores que obtêm seu sustento por meio da coleta de materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos. A construção de novos aterros sanitários está intimamente relacionada à extinção de lixões. Como resultado, nem no antigo lixão nem no novo aterro sanitário haverá espaço para os coletores, o que pode causar sérios distúrbios sociais. Esse aspecto reforça a indução de modelos de gestão em que os catadores, organizados em cooperativas, deixam de trabalhar nos locais de disposição final e passam a atuar em programas de coleta seletiva, reciclagem e valorização de resíduos.</p> <p>Risco de geração e coleta de gás – nos estudos de viabilidade de créditos de carbono, calcula-se a quantidade estimada de gás gerado por um determinado volume de resíduos sólidos, por meio de um modelo matemático, e é estabelecido um percentual de coleta de gás gerado. Um ou outro pode variar muito dependendo do tipo de resíduo, da quantidade e, mais</p>

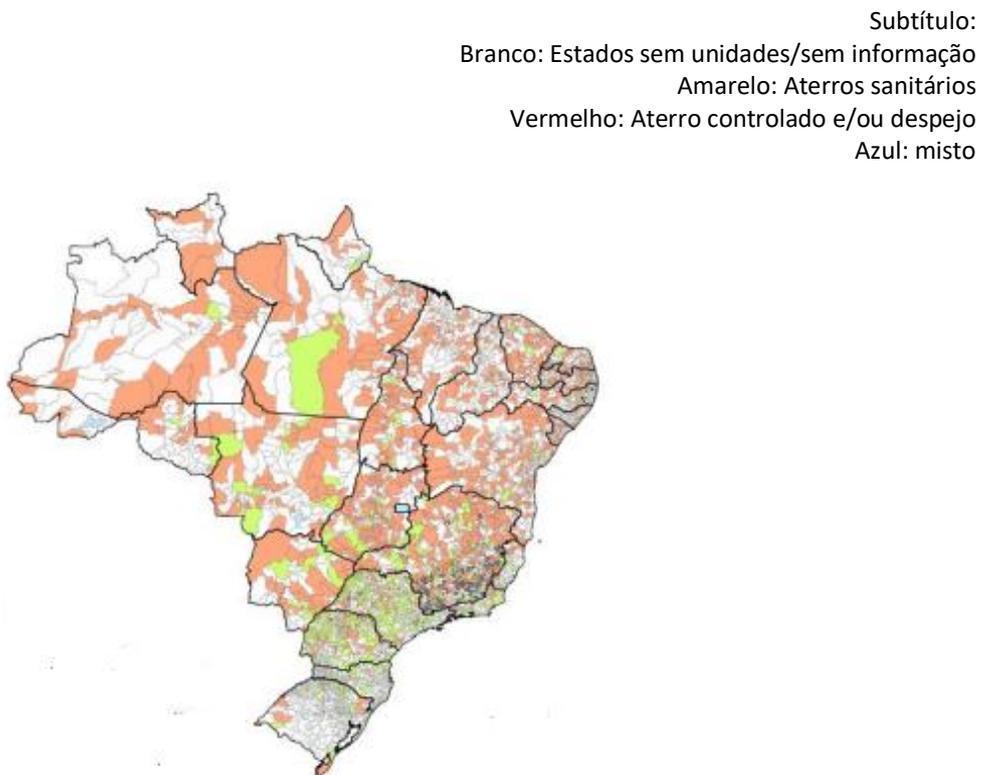
		<p>importante, do método de operação do aterro e do sistema de gás. Portanto, a quantidade de créditos de carbono pode ser significativamente menor do que a estimada, o que pode inviabilizar o projeto.</p> <p>Risco de mercado – se a oferta de créditos de carbono aumentar e se tornar maior do que a demanda, os preços podem cair drasticamente. Outros riscos: se a coleta e o tratamento do gás de aterro sanitário no Brasil se tornarem um <i>business as usual</i>, esses projetos deixarão de ser elegíveis para o mercado de carbono, pois não terão adicionalidade, característica obrigatória para tal elegibilidade.</p> <p>Nota 1: Más práticas e baixa eficiência da coleta de biogás em aterros sanitários: As estimativas variam amplamente, tanto na literatura quanto entre os agentes entrevistados, com valores entre 35% e 85%. No entanto, o consenso é que a arrecadação do Brasil é relativamente baixa, com valores entre 50% e 65%, com notáveis exceções. Vale ressaltar que esses valores, além de sua grande incerteza, são significativamente inferiores às melhores práticas observadas em todo o mundo, em que a taxa de coleta pode ultrapassar 80%.</p> <p>Nota 2: As áreas disponíveis para a implementação de aterros são cada vez mais escassas, uma vez que as condições ou parâmetros da legislação são cada vez mais restritivos e os custos de transporte são limitantes.</p>
2	Condições favoráveis	<p>Facilitar o acesso ao investimento é essencial e pode ser feito de diferentes formas, como parcerias com bancos capazes de prover esse tipo de investimento, para programas com linhas específicas, por meio de taxas de juros subsidiadas pelo Poder Público, por exemplo. Outra forma é promover a capacitação de gestores técnicos que prestarão serviços nesse segmento, tornando o processo menos demorado e mais assertivo. Outras medidas importantes são a necessária integração entre agentes (públicos e privados), apoio econômico e técnico dos governos estadual e federal às prefeituras; investimento na formação e divulgação de informação qualificada; a criação de incentivos econômicos (como a isenção de ICMS) e a aplicação de penalidades como o não recebimento de recursos financeiros quando não estiverem em consonância com as normas e regulamentos vigentes no setor.</p> <p>Os consórcios intermunicipais de saneamento são uma alternativa legal criada para viabilizar a gestão e o tratamento conjuntos de resíduos de diferentes municípios. Esse arranjo permite que municípios com menos recursos instalem unidades para destinar adequadamente seus resíduos, uma vez que os membros do consórcio compartilham os custos de implantação, operação e manutenção. Nesse sentido, a formação de consórcios também favorece o uso do biogás, uma vez que, além de permitir a divisão de custos, um maior volume de resíduos está concentrado em apenas uma unidade, o que possibilita arranjos tecnológicos e aplicações energéticas robustas.</p>
2	Desenvolvimento de políticas	<p>Em 2020, foi aprovado o novo marco regulatório do saneamento básico, que, entre outras medidas importantes como a cobrança pelo serviço para cobrir parte dos custos de coleta, transporte e tratamento de resíduos (taxa de lixo), impôs a obrigatoriedade de licitação para os contratos vencidos, uma importante ferramenta de previsibilidade para o setor e, portanto, criando um ambiente seguro e favorável ao investimento privado.</p>
V. INFORMAÇÕES E DOCUMENTAÇÃO ADICIONAIS		
1	Benefícios e riscos sociais, econômicos e ambientais	<p>Embora não deva ser considerada a solução definitiva para a gestão de resíduos no país, os aterros sanitários são um elemento importante da gestão integrada.</p> <p>Através da coleta e combustão de gás de aterro, os aterros reduzem os efeitos ambientais globais e locais de emissões descontroladas. Os principais componentes do gás de aterro, CH₄ e CO₂, são incolores e inodoros. A principal preocupação ambiental global sobre esses compostos é o fato de que eles são GEE. Embora a maioria das emissões de gases de aterro seja rapidamente diluída na atmosfera, existe um risco de asfixia e/ou efeitos tóxicos se o biogás estiver presente em altas concentrações em espaços confinados. O biogás contém mais de 150 componentes que podem causar efeitos ambientais como odores, destruição da camada de ozônio e criação de ozônio no nível do solo. Os riscos de efeitos tóxicos na</p>

		<p>comunidade e no ambiente do local são mitigados através da gestão adequada dos aterros sanitários.</p> <p>Operacionalmente, a gestão adequada do biogás reduzirá o potencial de incêndios e a liberação associada de produtos de combustão incompleta. Isso também beneficia o pessoal que trabalha no ambiente de aterro que não está exposto a riscos relacionados ao fogo. Com a queima do gás, a população que vive no entorno do aterro terá condições de vida mais saudáveis.</p>
2	Potencial transformacional	<p>O projeto tem um potencial multiplicador com a disseminação desses procedimentos em outros aterros sanitários. A tecnologia utilizada não exige pagamento de <i>royalties</i> ou licenças de qualquer natureza, sendo de domínio público. Não necessita de assistência técnica internacional, como é no parque tecnológico brasileiro.</p> <p>O projeto é relativamente simples, de baixo custo (em comparação com outras medidas de redução) e tem grande potencial para reduzir as emissões, por isso é claramente viável e provável de ser replicado.</p>
3	Aprovações/autorizações regulamentares	<p>O licenciamento de um aterro envolve uma licença prévia, licença de instalação e licença de operação. O licenciamento ambiental deve ser concedido por um órgão governamental competente, que são quase sempre os Conselhos Estaduais de Política Ambiental da Secretaria de Estado do Meio Ambiente em cada estado.</p> <p>Além das licenças apresentadas no Licenciamento Ambiental, é necessário o Estudo de Impacto Ambiental – EIA. Trata-se de um estudo técnico realizado por uma equipe multidisciplinar qualificada para levantar os pontos positivos e negativos do aterro, a ser desenvolvido considerando os ambientes físico, biótico e antrópico, e estabelecendo uma série de medidas e ações voltadas para minimizar os impactos negativos registrados. Finalmente, para tornar o EIA acessível à sociedade como um todo, o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA deve ser elaborado no qual um resumo dos principais pontos do EIA é levantado.</p>
4	Consulta pública	Entendemos que a participação de todos os atores e setores da sociedade é vital para um processo transparente e eficiente.
5	Documentação chave e documentos de apoio	não aplicável

1 Um importante incentivo para a regionalização é o fato de que o Novo Marco condicionou o financiamento de projetos com recursos federais à estruturação da prestação regionalizada de serviços. Nesse sentido, foi publicado o Decreto nº 10.588/2020, que dispõe sobre o apoio técnico e financeiro de recursos públicos federais para garantir a efetividade das metas de universalização do Novo Marco Legal do Saneamento Básico.

2 As Parcerias Público-Privadas (PPPs) são contratos administrativos de concessão de serviços públicos em que o parceiro privado é responsável pelo investimento inicial em infraestrutura e pela operação de serviços em toda a concessão, sendo remunerado pelo poder público no longo prazo, em parcelas. Pode-se dizer que é uma forma de financiamento privado de infraestrutura pública.

Figura 2. Unidades de disposição final por município, segundo dados do diagnóstico SNIS 2019



Fonte: SNIS, 2019.

A.2.2. Oportunidade de Investimento 2 – Produção de Biometano a partir de Resíduos Sólidos Urbanos e Substituição de Gás Natural por Biometano na Indústria

I. INFORMAÇÕES BÁSICAS DO PROJETO		
1	Título da atividade do projeto (AP)	Produção de biometano a partir de resíduos sólidos urbanos e substituição de gás natural por biometano na indústria
2	Escala da atividade do projeto	Grande Escala – aplicável a diferentes ramos industriais
3	Localização da atividade do projeto	<p>O projeto promove a expansão do uso energético e térmico do biometano em plantas industriais, sendo este biometano produzido através de RSU.</p> <p>Dessa forma, para a disseminação do biometano para tal aplicação, é necessário, não apenas disponibilizá-lo, mas, ao mesmo tempo, promover a expansão/criação de gasodutos no país. Atualmente, esse modelo só é interessante quando a planta produtora está localizada próxima à planta consumidora, onde faz sentido transportar o combustível por meio de um caminhão, a forma predominante de transporte de biometano no país.</p> <p>Para grandes volumes de biocombustível e para longas distâncias de onde é produzido, o cenário atual pode não viabilizar empreendimentos.</p> <p>Este projeto pode então ser implementado em indústrias que exigem muita energia para a geração de calor, como usinas siderúrgicas, ou para indústrias que desejam reduzir sua pegada de carbono. As usinas geradoras podem ser qualquer aterro sanitário, dada uma escala mínima de viabilidade – um nível que normalmente começa em 500 toneladas por dia, de acordo com o MCTI (2010).</p>
4	Tecnologia / serviço / outro	<p>O tratamento de purificação envolve custos muito elevados para atender às especificações necessárias para injeção nos gasodutos de gás natural. São plantas que envolvem tecnologia estrangeira de alta complexidade e, conseqüentemente, geram altos custos operacionais e de manutenção. Os fornecedores de tecnologia devem atuar como parceiros, transferir conhecimento operacional e fornecer a garantia de desempenho dos equipamentos. A nacionalização da tecnologia seria valiosa.</p> <p>Há também altos custos relacionados a análises laboratoriais e testes de qualidade obrigatórios de biometano, que, em geral, geralmente são realizados por um único laboratório, uma vez que não há oferta suficiente de empresas com capacidade técnica no mercado. Tais custos poderiam ser reduzidos se os governos estaduais responsáveis pela regulação da distribuição de gás canalizado oferecessem um subsídio direto aos produtores de biogás e biometano, como nos países europeus onde a tecnologia foi implementada com sucesso.</p> <p>O transporte de biometano requer sua pressurização para injeção na rede de distribuição de gás, liquefação para transporte a granel por estrada, ferrovia ou mar ou compressão para uso veicular. (JOPPERT 2014; MOGHADDAM et al., 2015). O risco para a saúde é o critério mais importante na escolha dos limites de especificação para a injeção na rede de gás natural. Em seguida, o segundo critério mais importante é a integridade das tubulações, onde os níveis de água, sulfeto de hidrogênio, amônia e oxigênio são definidos para evitar a corrosão. Há também uma necessidade especial de níveis rigorosos de oxigênio e hidrogênio. Os limites do ponto de orvalho de água são necessários para proteger contra a formação de condensado.</p> <p>A comercialização de biometano requer unidades de produção de alto volume para garantir a disponibilidade de biocombustíveis – portanto, esse modelo é particularmente adequado para aterros sanitários. A partir dessa alternativa, é possível vender biometano (via <i>pipeline</i> virtual) para atender clientes específicos com alta demanda – geralmente nos setores industrial, comercial ou veicular.</p> <p>*Cada tonelada de resíduos depositados em aterros sanitários gera, em média, 200m³ de biogás (ALBARRACIN, 2016).</p>
5	Setor econômico	Gestão de resíduos (energias renováveis)
6	Redução anual média das emissões de GEE (t CO ₂ e)	<p>(Escala Aterro 2.000 toneladas/dia de resíduos)</p> <p>Recuperação e destruição de metano em 20 anos: 8.874 kt CO₂e</p> <p>Gás natural substituído na indústria em 20 anos: 563 Mm³ CH₄</p> <p>Emissões de gás natural evitadas na indústria em 20 anos: 1.165 kt CO₂e</p> <p>Mitigação total: 10 Mt CO₂e em aterro de 2.000 toneladas/dia, em 20 anos.</p>

		Reduções médias anuais de emissões de GEE: 500.000 t CO ₂ e. Fonte: autores baseados em Unterstell, La Rovere et al, 2021.
7	Data	Esta planilha foi escrita em outubro de 2022. Para o início efetivo do projeto, estudos específicos de impacto e viabilidade devem ser realizados.
8	Informações de contato	"Isabela Mancio Lima, Pesquisadora, COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro isabelalima@ppe.ufrj.br, +55 21 991178279" Saulo Machado Loureiro, Pesquisador, COPPE/UFRJ. saulo@lima.coppe.ufrj.br

II. DESCRIÇÃO DA ACTIVIDADE DO PROJECTO (AP)

1	Descrição do projeto	<p>O uso térmico do biometano para fins industriais tem se mostrado uma opção. Já existem experiências no país, por exemplo, de biometano para uso em um complexo siderúrgico em altos-fornos, coqueificação e sinterização, setores que fazem parte do processo de produção de aço.</p> <p>É um cenário com potencial de expansão, sendo uma opção para reduzir as emissões de GEE com a introdução do biocombustível nas operações da indústria pesada, ao mesmo tempo em que contribui para uma boa gestão de resíduos na cidade, um modelo em que todos ganham.</p> <p>Atualmente, o modelo mais utilizado para a distribuição de biometano no país é por meio de caminhões, apesar dos custos e emissões associados ao transporte. No Brasil, a expectativa é que com a nova Lei do Gás (nº 14134 de abril de 2021), recentemente regulamentada, haja mais investimentos em infraestrutura para a expansão da rede de gasodutos. O texto libera o acesso do biometano à rede de gasodutos, incentivando sua regulação pelos Estados responsáveis pela política de distribuição de gás. O marco legal do saneamento recentemente aprovado também é favorável, pois o biometano pode ser produzido a partir do tratamento do biogás gerado em aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto.</p> <p>Assim, este projeto visa propagar o uso do biometano como substituto do gás natural nas indústrias, bem como facilitar as conexões de biometano na entrada da rede de distribuição de gás existente e incentivar a construção de uma nova rede.</p> <p>Este projeto destina-se a municípios de médio e grande portes com aterros sanitários e ao setor industrial a quem pretende um produto com menor pegada de carbono.</p>
2	Números-chave da tecnologia	<p>Técnicas de tratamento capazes de remover materiais particulados, excesso de umidade, impurezas e outros contaminantes são necessárias para transformar biogás em biometano. As principais técnicas de purificação envolvem a remoção de dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio do biogás, bem como a secagem do excesso de umidade (PROBIOGÁS, 2016). De acordo com a especificação brasileira estabelecida na ANP nº 685/2017, os limites e parâmetros de qualidade diferem para uso veicular, geração de calor e injeção na rede de gás natural.</p> <p>Os sistemas de purificação e refino de biogás são os principais propósitos: • Preservar a vida útil dos equipamentos – geradores de motores, motores automotivos, caldeiras e tubulações, por exemplo; • Melhorar a capacidade energética do biogás, transformando-o em biometano; • Valor econômico do biogás.</p>
3	Descrição técnica da medida de mitigação	<p>O tratamento primário inclui etapas de filtração e remoção de água e visa eliminar partículas sólidas em suspensão e umidade. Resfriamento e compressão de gás são as técnicas comumente usadas. O tratamento secundário, por outro lado, envolve o aumento do poder calorífico do biogás a partir de uma limpeza mais profunda, por processos físicos e químicos que são dimensionados de acordo com os contaminantes presentes no biogás e sua finalidade de aplicação. As tecnologias mais comuns utilizadas para o tratamento secundário são a adsorção e absorção. Além de remover os siloxanos presentes no biogás, a adsorção (ou lavagem) é um processo pelo qual os contaminantes aderem à superfície de um adsorvente, como carvão ativado ou sílica gel. A absorção remove compostos (como o enxofre) do biogás com o auxílio de um solvente ou reagente sólido (PROBIOGÁS, 2016).</p>
4	Participantes do projeto	<p>Participantes do projeto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Empresa privada (executora). • Empreiteiro interessado (instituição pública ou privada).
5	Potencial de redução de emissões de GEE	<p>Utilizando o Projeto GNR (Gás Natural Renovável) Fortaleza – biogás produzido no Aterro Sanitário Municipal a Oeste de Caucaia – como banco de dados, a produção de 110 mil m³ de biometano por dia, cerca de 36,5 milhões de m³ por ano pode evitar 610 mil toneladas de CO₂ equivalente liberadas na atmosfera anualmente (ECOMETANO, 2020). As emissões evitadas pela substituição da fonte fóssil na indústria de implementação do projeto também devem ser adicionadas – a serem calculadas caso a caso.</p>

6	Mercado-alvo e potencial	<p>Além da indústria, há também muitas interfaces com o setor de transportes, especialmente na frota de coleta de resíduos, o que é extremamente relevante devido aos altos custos do diesel importado.</p> <p>O desenvolvimento de ações de cooperação entre os setores público e privado, bem como instituições de pesquisa, é de suma importância no desenvolvimento de projetos de forma integrada, com foco na geração de energia para atender demandas específicas ou coletivas. Essa cooperação permite estruturar projetos maiores e ampliar a capacidade financeira do empreendimento.</p>
III. FINANCIAMENTO DE PROJECTOS		
1	Principais detalhes de financiamento de projetos/financiamento estruturado	<p>De acordo com a EPE, 2018, em Thrän et al. (2014), as faixas de custo total do investimento em infraestrutura de tratamento e conversão de biometano com características de gás natural podem variar entre US\$ 45 e US\$ 138 para cada metro cúbico diário de capacidade de processamento de biogás. Ainda de acordo com a EPE, 2018, o estudo apresentado na Nota de Orientação sobre Captação e Utilização de Gás de Aterro Sanitário (Terazza e Willumsen, 2009) aponta para a faixa entre US\$ 78 e 173 por m³/dia de capacidade da usina. A EPE também usa um estudo mais recente, o manual de Desenvolvimento de Projetos de Energia LFG da EPA (2017), que indica a faixa entre US \$ 71 e US \$ 164 para a mesma capacidade de processamento de biogás. Na EPE, 2018, o cálculo do CAPEX total para o projeto corresponde a esses valores mais os valores obtidos em Hoyer (2016) apud Angelidaki (2018) para investimento em tratamento e conversão em biometano.</p> <p>Com base na EPE, 2018, valores não sujeitos a efeitos de escala, estimamos o valor presente (taxa de desconto anual de 8%) do CAPEX em US\$ 24/m³ de biogás.</p> <p>A utilização dos pressupostos acima referidos resultou nos seguintes valores de investimento:</p> <p>(i) para as grandes centrais (2.000 toneladas de resíduos/dia): 86 USD/m³ de biogás, representando um investimento total de USD 14,0 milhões;</p> <p>(ii) para pequenas instalações (200 toneladas de resíduos/dia): 135/m³ de biogás, representando um investimento total de USD 2,2 milhões.</p> <p>Estima-se que os custos operacionais anuais correspondam a 17% do CAPEX (EPE, 2018):</p> <p>(i) para as grandes usinas (2.000 toneladas de resíduos/dia), o OPEX é de US\$ 47,6 milhões, considerando a vida útil de 20 anos;</p> <p>(ii) para pequenas instalações (200t de resíduos/dia), o OPEX é de US\$ 7,4 milhões, considerando a vida útil de 20 anos.</p> <p>A construção de um gasoduto é o item de maior custo, em torno de US\$ 150.000 a US\$ 175.000 por km (SCS ENGINEERS, 2011).</p>
2	Fontes de financiamento	<ul style="list-style-type: none"> • Uma opção são os recursos do Fundo Climático (Subprograma de Energias Renováveis, com condições mais fáceis para a implementação de iniciativas desse modelo), por meio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES); • Fundos internacionais como GEF e BID; • Financiamento privado.
3	Créditos de carbono	<p>Elegível – Atualmente, esse tipo de projeto ocorre em alguns municípios do Brasil e os créditos de carbono gerados são vendidos para outros países. Além disso, grande parte dos aterros sanitários ainda não opera em sua capacidade máxima devido a limitações da rede ou pouco investimento para expansão. No entanto, com o aumento da produção de resíduos e a necessidade de conter o aquecimento global, há um enorme mercado para que essa prática se desenvolva.</p>
4	Custo por tonelada de carbono (\$/t CO ₂ e)	<p>O custo de redução para o refino de biogás para usar biometano em indústrias ou outro uso de combustível (incluindo destruição de metano) é de US \$ 19,27 por tonelada evitada de CO₂e, em comparação com aterros de queima de biogás não controlados, considerando aterros de 2.000 toneladas / dia e vida útil de 20 anos (sem considerar as receitas de vendas de biometano, cerca de US \$ 418 milhões).</p>

		Ao incluir as receitas de vendas de biometano, considerando uma faixa de preço do gás natural entre USD 14.385 /MNBtu e USD 19.911 /MMBTU obtida da Petrobras, o custo de abatimento é reduzido para uma faixa entre USD 6.27 /t CO ₂ e e USD 1.09 /t CO ₂ e. (Taxa de câmbio de outubro de 2022) Fonte de preço do gás natural: MME, 2022
5	Risco de financiamento	A tecnologia de geração de biometano é uma tecnologia segura, eficiente e consolidada em todo o mundo. Do ponto de vista técnico, trata-se de um modelo de baixo risco, embora a dependência de componentes importados crie incerteza quanto aos custos devido à flutuação da taxa de câmbio. Por sua vez, na indústria ainda não está difundido no Brasil, exigindo investimentos em capacitação e disseminação de informações qualificadas capazes de promover um ambiente seguro para o desenvolvimento do setor. A parte mais crítica de qualquer projeto de infraestrutura é garantir a segurança financeira. Esta pode se constituir em um desafio para os projetos de tratamento de resíduos, especialmente quando estão envolvidas tecnologias mais inovadoras.
6	Modelagem financeira	As vias de investimento podem incluir a participação em títulos verdes e a dívida coletiva e/ou participações em ações em projetos individuais através de PPP (ou outras estruturas de financiamento público-privadas ou exclusivamente privadas)
7	Modelo de aquisição	Parceria público-privada (PPP)
9	Estágio do projeto	Desenvolvimento de Conceitos
10	Suporte de assistência técnica	Como ainda se trata de um projeto em fase inicial de planejamento, não foi necessário suporte de assistência técnica.
IV. BARREIRAS E RISCOS DO PROJETO		
1	Barreiras e riscos do projeto	Quanto às barreiras tecnológicas, a tecnologia utilizada neste tipo de planta é geralmente importada. Portanto, é necessária uma equipe especializada, assistência técnica estrangeira e a importação de peças em caso de avaria e/ou manutenção. Esse fato representa um risco para a operação contínua da planta. Por exemplo, um problema que requer uma eventual substituição de peças pode representar um longo período de tempo de inatividade. Esse tratamento é necessário, por exemplo, para a transmissão de biometano – na rede de gás natural existente ou em novos gasodutos – que também consome energia e requer equipamentos específicos e conhecimentos técnicos.
2	Condições favoráveis	Os projetos que envolvem o refino de biometano são intensivos em capital. Portanto, os investimentos exigem uma escala mínima de viabilidade e estratégias de substituição de equipamentos para peças normalmente importadas. Além disso, exigem o reforço das capacidades de uma mão de obra mais qualificada e, conseqüentemente, a formação não só a nível operacional, mas também no desenvolvimento de modelos empresariais e de mercado.
2	Desenvolvimento de políticas	No Brasil, a regulação do biometano é muito recente, e o mercado ainda é muito incipiente. Há muito espaço para refinamentos e melhorias nas esferas fiscal, regulatória ou de infraestrutura. No entanto, a legislação recente, como a nova lei do gás e o novo quadro de saneamento, tende a reforçar a cadeia do biogás e do biometano. *Destaca-se o estado do Rio de Janeiro, com duas das três usinas de biometano existentes no Brasil representando cerca de 67% da capacidade instalada do país (ANP, 2021).
V. INFORMAÇÕES E DOCUMENTAÇÃO ADICIONAIS		
1	Benefícios e riscos sociais, econômicos e ambientais	A oportunidade apresentada neste estudo atende às necessidades de atendimento das questões ambientais para a destinação adequada de resíduos no país. É essencial e urgente reduzir as emissões de GEE e, no mínimo, permitir a eliminação segura dos resíduos para o ambiente e as populações circundantes. Para quem vislumbra, no futuro, a opção pela geração de energia, o biogás produzido pode contribuir para a promoção do desenvolvimento regional sustentável, possibilitando a criação de novos empregos, renda e vantagens para diversos setores produtivos.
2	Potencial transformacional	Projeto com grande potencial de replicação.

3	Aprovações/permissões regulatórias	<p>As aplicações energéticas que envolvem biometano devem obedecer às resoluções e diretrizes normativas da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), órgão responsável por regular e fiscalizar a produção, comercialização, circulação e uso de biocombustíveis.</p> <p>A ANP é vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) e deve autorizar o início de uma unidade de produção de biometano em aterro sanitário.</p> <p>Nos últimos anos, a produção de biometano no Brasil ganhou novos parâmetros regulatórios. Em 2018, a ANP regulamentou a atividade por meio da Resolução 734. No ano anterior, foram estabelecidas regras para controlar a qualidade do biometano de aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto por meio da Resolução 685.</p>
4	Consulta pública	-
5	Documentação chave e documentos de apoio	não aplicável

