Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira

DOCUMENTO DO FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇA DO CLIMA

Maio de 2019

Agradecimentos

Primeiramente, gostaríamos de agradecer a **Alfredo Sirkis**, que coordenou o Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC) no período de outubro de 2016 à maio de 2019 e identificou na ocasião a importância do Brasil sair na frente para a elaboração de uma visão de longo prazo, que leve à descarbonização da economia e à criação de ecossistemas, sistemas produtivos e comunidades resilientes às mudanças climáticas globais. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, da sigla em inglês) convida os países a comunicarem suas visões de longo prazo somente a partir de 2020. Todavia, vislumbrando as oportunidades que este processo de elaboração oferece é que foi criada, em junho de 2017, dentre o conjunto de dez câmaras constituídas pelo FBMC na gestão de Sirkis, uma Câmara Temática denominada Visão de Longo Prazo (CT LP). A CT LP engajou múltiplos *stakeholders* em discussões sobre o tema e em torno de recomendações de opções tecnológicas que apóiem a visão de longo prazo do Brasil. A seguir encontra-se a **lista de organizações** que participaram das discussões e para qual somos gratos a todos os seus representantes que estiveram nas reuniões da CT LP, dedicando seu tempo, conhecimentos e reflexões.

A promoção das reuniões da CT LP só foi possível graças a parcerias institucionais e de especialistas que apoiaram a coordenação desta CT: **Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), Instituto Escolhas, World Resources Institute (WRI Brasil), Ana Carolina Szklo, Branca Americano, Juliana Speranza, Jaqueline Ferreira, Sérgio Leitão e Viviane Romeiro.**

Agradecemos também as coordenadoras executivas do FBMC que deram suporte a esta CT desde a sua criação: **Cássia Moraes** (2017-2019), **Olivia Ainbinder** (2017-2019), **Manuella Cantalice** (2018-2019), **Sabrina Leme** (2017), **Natalie Unternstell** (2016-2017).

Agradecemos o apoio dos financiadores das diversas etapas e processos desta CT LP que culminou na elaboração deste documento: a iniciativa ***NDC Partnership***, com apoio da **Embaixada da Alemanha e da Agência de Cooperação Alemã (BMZ)**, a **10ª Convocatória: Diálogos Setoriais União Europeia-Brasil**, ***Strategic Partnership for the Implementation of the Paris Agreement*** **(SPIPA)** e o **Instituto Clima e Sociedade** (iCS).

Agradecemos os especialistas que consultamos para apreciação de versões preliminares de partes deste documento e contribuições sobre recomendações de políticas, sem no entanto responsabilizá-los pelo documento final: **André Luis Ferreira, Carlos Nobre, Luciana Freitas, Roberto Schaeffer, Sérgio Margulis, Tasso Azevedo, Thiago Barral e sua equipe.**

Agradecimentos especiais a **Carolina Fillmann**, pela sua dedicação, competência e parceria no processo de diagramação deste documento, que foram fundamentais para a consecução do mesmo.

Organizações que participaram de reuniões da CT LT:

350.org

Agroicone

Associação Brasileira da Indústria Química (Abiquim)

Associação Brasileira das Empresas Aéreas (ABEAR)

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE)

Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica)

Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR)

Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE)

Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil (APROBIO)

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)

Biofílica Investimentos Ambientais

Braskem

BYD Brasil

Casa Civil da Presidência da República

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

CLAVI Incorporações

Climate and Land Use Alliance (CLUA)

Climate Ventures

Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)

Confederação Nacional da Indústria (CNI)

Confederação Nacional do Transporte (CNT)

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS)

Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS)

Conselho Federal de Contabilidade (CNPC)

Core Inovação Social

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Engajamundo

Federação Brasileira de Bancos (FEBRABAN)

Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP)

Ford Foundation

FRACTAL

Fundação Amazonas Sustentável (FAS)

Fundação Konrad Adenauer

GIP – Gestão de Interesse Público

Gol linhas áreas

Greenpeace Brasil

Grupo Soma

ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade

Instituto Aço Brasil

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE/UFRJ)

Instituto Arapyau

Instituto Clima e Sociedade (iCS)

Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo (IEA USP)

Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM)

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)

Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ)

Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento (ITDP Brasil)

Instituto Escolhas

Instituto Internacional para a Sustentabilidade (IIS)

Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE)

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN)

Itaú - Unibanco

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)

Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC)

Ministério das Cidades

Ministério do Meio Ambiente (MMA)

Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão

Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil

Observatório do Clima (OC)

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)

Plant-for-the-Planet

Prefeitura do Município de São Paulo

Rede de Ação Política pela Sustentabilidade (RAPS)

Reos Partners

Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade do Rio de Janeiro (SEAS/RJ)

Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo (SMA/SP)

Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)

SOS Mata Atlântica

Subsecretaria de Meio Ambiente, Energia, Ciência e Tecnologia do Itamaraty

Syndarma

Tyndall Centre for Climate Change Research

UNFCCC

Universidade de Brasília (UNB)

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Universidade Federal de São Paulo (Unifesp)

Viden - Projetos Ambientais e Sustentabilidade

World Resources Institute (WRI Brasil)

World Wide Fund for Nature (WWF)

Youth Climate Leaders

PREFÁCIO DOS AUTORES

Este documento é um convite a leitura e ao debate que não se encerra nele. Foi um desafio e tarefa árdua reunir e equilibrar referências científicas e colaborações construídas por meio de reuniões da Câmara Temática de Visão de Longo Prazo do Fórum Brasileiro de Mudança do Clima, para uma agenda da descarbonização da economia e de construção de uma sociedade mais resiliente às mudanças climáticas.

Espera-se que ele incentive junto a *stakeholders* um novo estágio de ação com implementação de medidas, projetos e políticas. Aliando ciência e tecnologia a investimentos o Brasil tem ótimas oportunidades para assumir a liderança internacional em uma conjectura planetária que se pretende ser cada vez menos intensiva em carbono, rumo a um balanço líquido de emissões zero no longo prazo. Não obstante, o planejamento e a prática dessa trajetória a ser percorrida precisa começar desde já.

Desejamos que este documento seja uma contribuição a esta tarefa, suscitando novas discussões e aprofundamentos em próximas etapas.

Boa leitura!

Juliana Speranza e William Wills

AUTORES

Juliana Speranza é economista pela UFF e mestre em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação de Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade (CPDA/UFRRJ). Especialista em mudanças climáticas e mudanças do uso da terra há mais de 10 anos, apoiou organizações do terceiro setor, setor privado, agências de desenvolvimento multilaterais e governo. Colaborou na elaboração do 1º Plano Nacional de Adaptação junto ao Ministério do Meio Ambiente e à Terceira Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC junto ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. É autora de publicações acadêmicas e técnico científicas. Foi pesquisadora do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), contribuindo na ocasião para a publicação "*Economia da Mudança do Clima* no Brasil: *Custos e Oportunidades*".

William Wills, é engenheiro elétrônico pela UFRJ, e mestre e doutor pelo PPE/COPPE/UFRJ. É coordenador de pesquisa no CentroClima/COPPE/UFRJ e sócio diretor da EOS Consultoria. Também atua como consultor internacional em instituições como o Banco Mundial, PNUD e CEPAL. Participou em mais de 30 projetos de pesquisa na área de mudanças climáticas, e é autor principal ou co-autor de mais de 25 publicações nacionais e internacionais. William é também revisor de diversas revistas científicas indexadas.

Índice

Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira **10**

1.1. Introdução 12

1.2. Câmara Temática de Visão de Longo Prazo 13

1.3. Base Científica das Mudanças Climáticas Globais e Estratégia de Longo Prazo para a Descarbonização da Economia Brasileira 16

1.4. Modelagem Climática e de Cenários e Descarbonização da Economia Brasileira 24

Apêndice 28

Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira Setor de Mudança do Uso da Terra, Florestas, Agropecuária e Biodiversidade **35**

2.1. Introdução 36

2.2. Panorama das Emissões dos Setores de Mudança do Uso da Terra e Florestas e Agropecuário do Brasil 41

2.2.1. Estado da Arte: Desmatamento e Emissões de Gases de Efeito Estufa do Setor Florestal 41

2.2.2. Estado da Arte: Desmatamento e Emissões de Gases de Efeito Estufa do Setor Agropecuário 47

2.3. Descarbonização da Economia, Bem-Estar Social e Promoção de Benefícios Econômicos no Setor Florestal e Agrícola 50

2.4. Opções Tecnológicas para a Descarbonização do Setor Florestal e Agrícola 56

2.4.1. Brasil Carbono Zero em 2060 57

2.4.2. Opções de Mitigação em Setores-Chave do Brasil 60

Apêndice 63

Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira Setor de Energia **66**

3.1. Introdução 67

3.2. Panorama da Situação da Produção e Consumo de Eletricidade e dos Transportes 70

3.2.1. Estado da Arte: Produção e Consumo de Eletricidade 70

3.2.2 Estado da Arte: Emissões do Transporte de Cargas e Passageiros 77

3.3. Descarbonização da Economia, Bem-Estar Social e Promoção de Benefícios Econômicos no Setor de Energia 82

3.4. Opções Tecnológicas para a Descarbonização do Setor de Energia 96

3.4.1. Brasil Carbono Zero em 2060 97

3.4.2. Opções de Mitigação em Setores-Chave do Brasil 101

Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira Setor de Resíduos **104**

4.1. Introdução 105

4.2. Panorama da Situação dos Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos no Brasil 108

4.2.1. Estado da Arte: Resíduos Sólidos 108

4.2.2. Estado da Arte: Efluentes Líquidos 112

4.3. Descarbonização da Economia, Bem-Estar Social e Promoção de Benefícios Econômicos no Setor de Resíduos 118

4.4. Opções Tecnológicas para a Descarbonização do Setor de Resíduos 122

4.4.1. Brasil Carbono Zero em 2060 122

4.4.2. Opções de Mitigação em Setores-Chave do Brasil 124

Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira Setor Industrial **127**

5.1. Introdução 128

5.2. Panorama de Setores Industriais Selecionados: Ferro-gusa e Aço, Cimento e Química 130

5.2.1. Panorama da Indústria de Ferro-gusa e Aço 130

5.2.2. Panorama da Indústria de Cimento 133

5.2.3. Panorama da Indústria Química 137

5.3. Opções Tecnológicas para a Descarbonização dos Sub-setores Industriais de Ferro-gusa e Aço, Cimento e Química 139

5.3.1. Opções Tecnológicas para a Descarbonização do Setor de Ferro-gusa e Aço 140

5.3.2. Opções Tecnológicas para a Descarbonização da Indústria de Cimento 142

5.3.3. Opções Tecnológicas para a Descarbonização da Indústria Química 143

Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira Adaptação **146**

6.1. Introdução 147

6.2. Impactos, Riscos e Vulnerabilidades do Brasil às Mudanças Climáticas Globais e a Contribuição do Estudo Brasil 2040 148

6.2.1. Impactos para os Recursos Hídricos 149

6.2.2. Impactos para o Setor de Energia 151

6.2.3. Impactos para a Produção de Alimentos 153

6.2.4. Impactos para Infraestruturas Críticas do Brasil 155

6.3 Adaptação e Resiliência Urbana 156

6.4 Conclusão 159

Síntese, Conclusão e Próximos Passos **160**

Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira

Introdução

BRASÍLIA (2018). FOTO DO FBMC. REUNIÃO DA CT LT DO FBMC.

01

Brasil como um país desenvolvido, justo, adaptado à mudança do clima e ancorado em uma economia circular e de baixo carbono. O combate à mudança do clima é alinhado à geração e distribuição de renda, inclusão social e respeito aos direitos humanos, sendo fortalecido pela educação climática e respeito à equidade geracional. Os recursos naturais são geridos de forma sustentável e transparente, criando novas oportunidades de desenvolvimento e gerando prosperidade para toda a sociedade. Todo financiamento e investimento público e privado priorizam atividades de baixas emissões. A ciência e a tecnologia, com forte participação da bioeconomia, fazem com que o país também tenha uma participação importante no cenário internacional.

Visão de longo prazo construída pelos atores que participaram das reuniões da CT LT, ver Box 1 adiante.

1.1. Introdução

Este documento foi construído no âmbito da Câmara Temática de Visão de Longo Prazo (CT LP) do Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC), baseado em dois elementos principais: i) ser um documento técnico de recomendações para a transição brasileira em torno da descarbonização da economia, portanto, baseado na Ciência; ii) ser um documento construído com o engajamento de atores-chaves, tais como: representantes do setor privado, academia, associações produtivas, setor público em seus diferentes níveis de governo (nacional e subnacional), organizações não-governamentais, sociedade civil organizada, dentre outros, que participaram de reuniões promovidas pela CT LP[1].

O documento tem como um dos seus principais objetivos apresentar recomendações técnicas de opções tecnológicas e de políticas públicas para que o Brasil venha a ser carbono zero no longo prazo. A descarbonização é oportunidade para colocar o país numa trajetória de desenvolvimento moderna, inovadora, competitiva e de ponta, diante de uma realidade socioeconômica e ambiental que se impõe na contemporaneidade, demandando das nações do planeta a promoção de processos de produção e consumo baixo intensivos em carbono. Tais processos oferecem grandes oportunidades de geração de riqueza e de bem-estar social para o Brasil.

O presente documento está organizado em seis capítulos, para além desta introdução. Há cinco capítulos setoriais que se seguem, acrescidos de uma conclusão: (i) Energia; (ii) Resíduos; (iii) Mudança de Uso da Terra, Floresta, Agropecuária e Biodiversidade; (iv) Indústria; (v) Adaptação. Os capítulos setoriais trazem recomendações de opções tecnológicas e de políticas públicas para os setores entrarem em uma rota de descarbonização que, a partir de cada uma, contribui para que o Brasil venha a ter um balanço de carbono neutro no longo prazo. As recomendações destes capítulos setoriais são baseadas em dois documentos principais, os estudos "Brasil Carbono Zero em 2060"[2] produzido pelo Centro Clima da COPPE/UFRJ[3] e "Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil", produzido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Estes dois documentos são detalhados mais adiante, nesta introdução.

A seguir são apresentadas informações sobre o processo de elaboração do presente documento no âmbito da Câmara Temática de Visão de Longo Prazo do FBMC e a Base Científica que embasa este documento: *Ciência da Mudança do Clima* e *Modelagem Climática*.

---

1 A lista de todas as organizações participantes encontra-se na seção *Agradecimentos*.

2 A partir do estudo "IES Brasil 2050" produzido pelo Centro Clima, mais adiante detalhado.

3 O Centro Clima foi criado em 2000 por intermédio de um convênio firmado entre a Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos (SQA) do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ). É um centro de pesquisa que tem participado ativamente no desenvolvimento de políticas públicas e na capacitação, nacional e internacional, de atores sociais diversos quanto a ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas (http://www.centroclima.coppe.ufrj.br/index.php/br/).

1.2. Câmara Temática de Visão de Longo Prazo

O Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC) foi criado em agosto de 2000, com o objetivo de conscientizar e mobilizar a sociedade brasileira para a discussão e tomada de posição sobre os problemas decorrentes da mudança do clima, que é ocasionada pelas emissões de gases causadores de efeito estufa (GEE)[4]. Em 2017 sua estrutura foi revisitada, contemplando a criação de dez Câmaras Temáticas (CTs), incluindo a CT Visão de Longo Prazo, na qual foi elaborado o presente documento[5].

Historicamente, a CT Visão de Longo Prazo teve dois processos sequenciais de atuação e de produção de debates e conteúdos. Em 2017, quando da elaboração de documento com *Proposta Inicial de Implementação da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil* (FBMC, 2018a)[6], a CT LP iniciou reflexão sobre caminho de desenvolvimento que poderia ser traçado pelo Brasil em torno da descarbonização da economia. A reflexão foi assentada em uma agenda positiva de discussão e análise, compartilhada e envolvendo diferentes atores, buscando identificar as oportunidades econômicas e os benefícios sociais que a descarbonização oferece ao Brasil[7]. Em 2018, as reflexões e discussões se aprofundaram, orientadas para a elaboração de um documento que sintetize orientações de políticas públicas e tecnológicas no tema, baseadas em revisão bibliográfica, em dados, diagnóstico e linha de base, e experiências (nacionais e internacionais) concretas existentes, que possam indicar um caminho de descarbonização para o Brasil. Tais recomendações são conteúdo do presente documento e refletem visão de desenvolvimento construída considerando percepção dos atores que participaram das atividades da CT LP (ver **Box 1**).

Em 2018, a CT LP foi promovida por meio de uma coordenação compartilhada entre o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), o Instituto Escolhas e o World Resources Institute (WRI Brasil), que conduziram reuniões presenciais em Brasília (DF), Rio de Janeiro (RJ) e em São Paulo (SP), com a participação de diferentes atores que de maneira cooperativa refletiram e debateram o tema da descarbonização da economia brasileira, considerando trajetória de descarbonização que o Brasil pode vir a assumir.

---

4 Conforme Decreto de 28 de agosto de 2000, da Presidência da República.

5 O Decreto Nº 9.082, de 26 de junho de 2017, revogou o anterior, atualizando o FBMC, como em relação à criação de dez Câmaras Temáticas para discussão de temas pertinentes à medidas de mitigação e adaptação no Brasil. A saber, as dez Câmaras Temáticas são: I - Adaptação, Gestão de Riscos e Resiliência; II - Florestas, Biodiversidade, Agricultura e Pecuária; III - Energia; IV - Transportes; V - Indústria; VI - Cidades e Resíduos; VII - Financiamento; VIII - Defesa e Segurança; IX - Ciência, Tecnologia e Inovação; e X - Visão de Longo Prazo. No novo decreto, o FBMC permaneceu presidido pelo Presidente da República, e integrado por representantes do setor público e da sociedade civil, de forma paritária, e cuja convocação das reuniões é competência do Presidente da República.

6 Este documento apresentou recomendações de política pública para o curto prazo, de forma que o Brasil pudesse atender aos compromissos assumidos em sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), ratificada pelo Congresso Nacional em setembro de 2016, quando o Brasil assume liderança internacional junto ao Acordo de Paris (http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2016/09/brasil-ratifica-acordo-de-paris-nesta-segunda-12).

7 Neste período a CT LP foi coordenada pela especialista Branca Americano, cuja coordenação foi estratégica para construir as bases para as discussões que se seguiram em 2018.

O presente documento complementa e amplia a reflexão iniciada anteriormente pelo FBMC, quando da entrega do estudo "Brasil Carbono Zero em 2060", em resposta à encomenda do então presidente Sr. Michel Temer, que solicitou ao FBMC a "*elaboração de uma proposta que trate do que seria necessário para o atingimento por parte do Brasil de uma meta de emissões líquidas zero* (...)[8]. Este relatório, "Brasil Carbono Zero em 2060," conforme já enunciado, é importante fonte de referência do documento que agora se segue, juntamente com "Opções de Mitigação", produzido pelo MCTIC.

BOX 1 – BALANÇO DA ATUAÇÃO DA CÂMARA TEMÁTICA DE VISÃO DE LONGO PRAZO (CT LP) EM 2018

Em 2018, no âmbito da CT LP do Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC), foram realizadas cinco reuniões presenciais, além de debates ocorridos durante a Conferência das Partes (COP 24) realizada na Polônia. As reuniões ocorreram segundo o seguinte calendário discriminado a seguir:

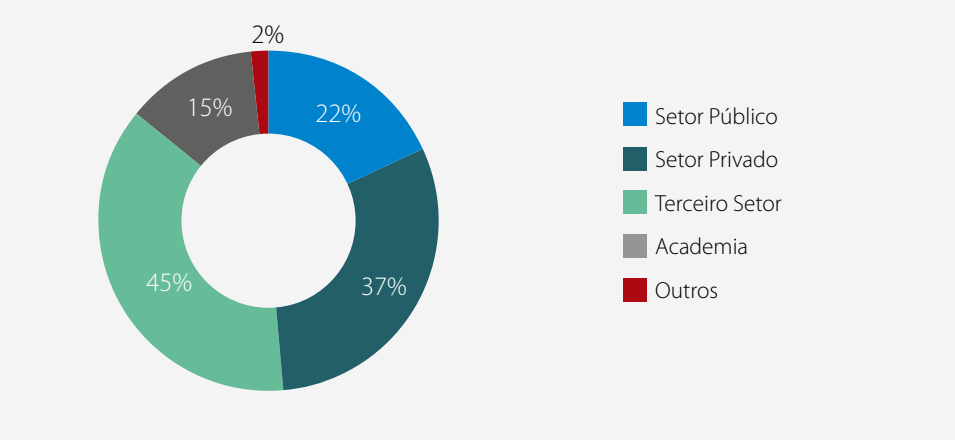
- **27 de fevereiro de 2018**, na cidade do Rio de Janeiro, que aprofundou o debate das questões identificadas no primeiro ano de trabalho (2017) da CT LP e sugeriu direcionamento para os principais desafios da Câmara Temática em 2018;
- **16 de abril de 2018**, na cidade do Rio de Janeiro, que concluiu a discussão sobre o cronograma de 2018 da CT LP e discutiu os temas: emissões de gases de efeito estufa e modelagem climática para o Brasil, conteúdo da estratégia de longo prazo para a descarbonização da economia brasileira, "Visão Brasil Carbono Zero em 2050";
- **21 de maio de 2018**, em Brasília, que coletou recomendações dos presentes para elaboração de estratégia de longo prazo para a descarbonização da economia brasileira;
- **02 de outubro de 2018**, na cidade de São Paulo, iniciando discussão do rascunho inicial de documento da CT LP, com recomendações para estratégia de descarbonização da economia brasileira no longo prazo;
- **22 de novembro de 2018**, na cidade de São Paulo, onde foi apresentada segunda versão do rascunho inicial de documento da CT LP, discutida com os participantes, que por meio de grupos de trabalho elaboraram colaborações ao rascunho do documento;

8 https://www.fbmc.com.br/blog/brasil-carbono-zero-2060

- **Na Conferência das Partes (COP 24)** da Convenção Global do Clima das Nações Unidas (UNFCCC, da sigla em inglês), realizada na cidade de Katowice, na Polônia, ocorreram discussões em torno de versão avançada de rascunho do documento com estratégia para a descarbonização da economia brasileira, durante eventos e painéis de debate (*side events* e *thematic panels*)[9].
- **Em paralelo,** versões preliminares de capítulos setoriais que a seguir se seguem foram discutidas com especialistas em encontros presenciais[10].

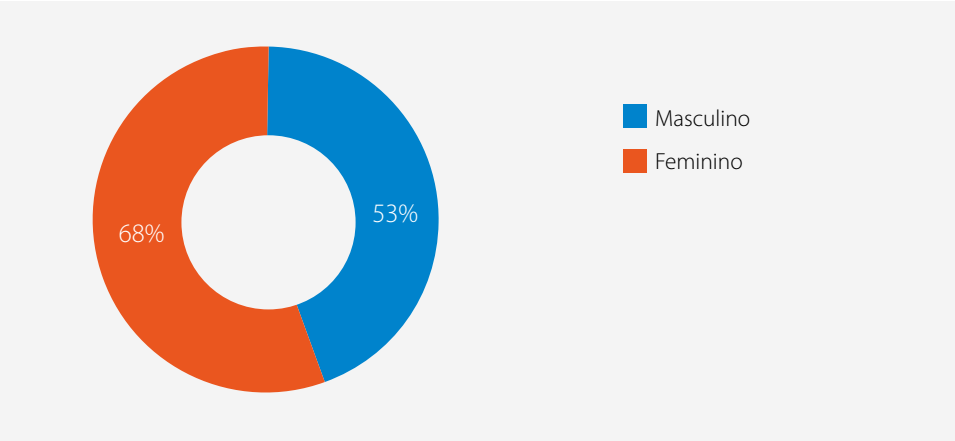
As **Figuras 1.1 e 1.2** a seguir sintetizam o perfil dos participantes destas reuniões.

Figura 1.1 – Participação CT LP (2017-2018) – natureza



Fonte: Elaboração própria do FBMC.

Figura 1.2 – Participação CT LP (2017-2018) – gênero



Fonte: Elaboração própria do FBMC.

9 Para acesso as atas destas reuniões e lista de presença ver: https://www.fbmc.com.br/documentos

10 Agradecimentos a estes especialistas encontram-se na seção *Agradecimentos*.

1.3. Base Científica das Mudanças Climáticas Globais e Estratégia de Longo Prazo para a Descarbonização da Economia Brasileira

> *Os cientistas e os governos reconhecem que a Mudança do Clima é um dos maiores desafios do século XXI. A forma pela qual um país enfrenta esse desafio pode determinar o seu futuro. A mudança do Clima, ao contrário do que muitos pensam, não é apenas um tema ambiental. É um tema estratégico que envolve decisões que impactam a economia, tecnologia, comércio internacional, recursos naturais, modelo energético, segurança alimentar, segurança hídrica, segurança nacional, entre outros. Para o Brasil ela traz riscos mas também oportunidades econômicas. O Brasil precisa conhecê-los para tomar as melhores decisões que garantam um futuro de prosperidade e independência. O Brasil dispõe de recursos naturais abundantes e muito conhecimento acumulado no governo, na academia e no setor produtivo, além de uma longa experiência de cooperação entre os diversos atores envolvidos nesse tema.* (FBMC, 2018b).

O Relatório Especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre o Aquecimento Global de 1,5 °C é o texto científico mais relevante da atualidade sobre as mudanças climáticas globais, reunindo a produção científica de pesquisadores de renome e com produção validada como reconhecidamente de notória qualidade em todo o planeta. Este relatório é importante para orientar a tomada de decisões dos governos no aprimoramento de seus compromissos climáticos nacionais em relação ao Acordo de Paris, mas principalmente na tomada de decisões do mundo dos negócios de maneira a aproveitar as oportunidades econômicas e benefícios sociais que o combate às mudanças climáticas oferece, protegendo suas atividades dos riscos e dos impactos negativos que elas podem gerar, diante de ausência de medidas de mitigação e de adaptação. O Relatório do IPCC (IPCC, 2018) é, portanto, uma importante referência para o planejamento de nova via de desenvolvimento e de crescimento econômico para o Brasil.

É consenso no relatório que limitar a elevação da temperatura global a 1,5°C é mais seguro que a 2°C[11], em termos de impactos climáticos. Permitir que as temperaturas globais subam 2°C acima dos níveis pré-industriais trará impactos ainda mais devastadores para o planeta, incluindo a perda de habitats naturais e de espécies, a diminuição de calotas polares e o aumento do nível do mar, impactando a saúde das populações, meios de reprodução socioeconômica das famílias, a segurança alimentar e humana, e o crescimento econômico das nações.

11 A saber, o Acordo de Paris, aprovado pelos 195 países integrantes da Convenção Global do Clima, incluindo o Brasil, assumiu o compromisso de manter o aumento da temperatura média global em bem menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de envidar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais.

As principais mensagens deste relatório são[12]:

- Limitar o aquecimento a 1,5°C exige transformação imediata;
- A escala da mudança é sem precedentes;
- Um limite de 1,5°C não é seguro para todos;
- Os riscos do aquecimento são substancialmente menores com 1,5°C em vez de 2,0°C;
- Será preciso ter emissões líquidas zero por volta do meio do século;
- Todos os cenários para controlar o aquecimento dependem da remoção de carbono;
- Todo mundo – países, cidades, empresas, indivíduos – precisam se envolver sem demora.

As emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) estavam em cerca de 52 $GtCO_2e$ (gigatolenadas de CO_2 equivalente) em 2016. As projeções indicam que serão entre 52 a 58 $GtCO_2e$ por ano em 2030. Assim, as emissões anuais precisam cair pela metade (25-30 $GtCO_2e$ por ano) em 2030 para limitar o aquecimento global a 1,5°C.

Apesar de ainda ser tecnicamente possível, o comportamento e as tecnologias precisarão mudar imediatamente para as emissões poderem vir a cair na magnitude e velocidade necessárias. Por exemplo, em 2050, as energias renováveis precisarão representar entre 70-85% da eletricidade mundial para que o aquecimento seja limitado. Eficiência energética e medidas de substituição de combustíveis serão cruciais no setor de transportes. Reduzir a demanda por energia e melhorar a eficiência da produção de alimentos também têm potencial significativo de reduzir emissões de GEE (Levin, 2018). O Brasil, por exemplo, tem potencial para tornar-se liderança mundial na produção de energia limpa e renovável, com destaque para a produção de energia solar e eólica. É também reconhecido seu papel e relevância na promoção de segurança alimentar global. Basear a produção de alimentos do Brasil em sistemas agrários sustentáveis e resilientes é um imperativo que se coloca para o agronegócio brasileiro, e que simultaneamente significa gerar ganhos de produtividade, eficiência produtiva e maior acesso a mercados.

O relatório do IPCC afirma que efeitos climáticos significativos já ocorrerão com um aumento de 1,5°C, impactando de forma mais severa os mais pobres e mais vulneráveis por conta da insegurança alimentar, migrações, efeitos na saúde, entre outros. Não obstante, os riscos do aquecimento são substancialmente menores com 1,5°C em vez de 2°C. Por exemplo, segundo o relatório, com um aquecimento de 1,5°C é possível que o planeta tenha um verão completamente sem gelo na superfície do mar uma vez a cada cem anos. Com 2°C, essa frequência aumenta a uma vez por década. Logo, para evitar efeitos severos como este do degelo, além

12 Grande parte deste trecho que se segue sobre evidências do relatório do IPCC é baseado em comunicação de Levin, 2018.

de corte de emissões na próxima década, as emissões precisarão chegar, em média, a zero perto do meio do século. Em outras palavras, as economias mundiais precisam se descarbonizar.

Para atingir emissões líquidas zero, segundo o relatório do IPCC, a remoção de carbono se faz necessária. Em outras palavras, será preciso focar não apenas em redução de emissões, mas também em remover e estocar carbono. O relatório alerta que a remoção de carbono na escala necessária para limitar o aquecimento global a 1,5°C nunca foi testada pela Humanidade, mas a sustentabilidade de técnicas de remoção de carbono, na visão dos especialistas do IPCC, tem grandes chances de ser melhorada. Do ponto de vista de infraestrutura e tecnologia natural, a manutenção das florestas tropicais é um estratégico mecanismo para estocar carbono. O Brasil assumiu importantes compromissos em relação à recuperação florestal e eliminação do desmatamento ilegal, que o colocam em posição de destaque em relação ao tema do combate ao aquecimento global[13]. Ao contrário de plantas de ciclo de vida curto que morrem e se decompõem rapidamente, as árvores possuem ciclo de vida longo que acumulam carbono em sua biomassa. Dessa forma, as florestas em pé oferecem grande potencial, em curto prazo, para remoção de CO_2 da atmosfera. Para os especialistas do IPCC, as florestas são a forma mais eficiente de reduzir emissões de carbono (**Box 2**).

É importante destacar que um país que venha a assumir uma ação climática ambiciosa poderá se beneficiar de muitas oportunidades que ela permite para a sua economia, como a geração de emprego e renda, aumento do acesso à energia e ao transporte sustentável, melhoria da qualidade de vida dos seus cidadãos com a redução dos gastos com saúde pública, somente para citar alguns. Uma análise da iniciativa denominada *New Climate Economy*[14] mostrou que ações climáticas ambiciosas podem gerar US$ 26 trilhões em benefícios econômicos até 2030, criando mais de 65 milhões de postos de trabalho novos e evitando 700 mil mortes prematuras por poluição do ar no mundo (NCE, 2018).

---

13 Em sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), ratificada pelo Congresso Nacional e apresentada no âmbito do Acordo de Paris, o Brasil se comprometeu a restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas (Brasil, 2016). Já em relação ao Desafio de Bonn, o Brasil reforça esse seu compromisso de restaurar, reflorestar e promover a regeneração natural de 12 milhões de hectares de áreas florestais até 2030. O Desafio de Bonn é um esforço global com a finalidade de restaurar 150 milhões de hectares em todo o mundo até 2020, e ampliar esse número para 350 milhões de hectares até 2030. A iniciativa foi lançada em 2011 pela Alemanha em parceria com a União Internacional para a Conservação da Natureza – IUCN (Tolentino, 2018).

14 A Comissão Global sobre Economia e Clima é uma importante iniciativa internacional para examinar como os países podem alcançar o crescimento econômico, ao mesmo tempo em que lidam com os riscos apresentados pelas mudanças climáticas. A Comissão é formada por ex-chefes de governo, ministros de finanças e líderes nas áreas de economia e negócios e foi comissionada por sete países – Colômbia, Etiópia, Indonésia, Noruega, Coréia do Sul, Suécia e Reino Unido – como uma iniciativa independente para relatar para a comunidade internacional. A *New Climate Economy* (NCE) é o principal projeto da Comissão. Ele fornece evidências independentes sobre a relação entre as ações que podem fortalecer o desempenho econômico e aquelas que reduzem o risco de mudanças climáticas perigosas. https://newclimateeconomy.net/

A descarbonização da economia é o caminho viável e necessário para os países entrarem em nova rota de desenvolvimento e crescimento econômico adequada às necessidades impostas pelo combate ao aquecimento global. É dessa maneira necessária que os países poderão se proteger de impactos negativos severos ocasionados pelas mudanças climáticas globais ao mesmo tempo em que aproveitam as oportunidades econômicas e os benefícios sociais que o combate ao aquecimento oferece. Países que saírem na frente desta corrida têm a brecha aberta para se inserirem e consolidarem como lideranças econômicas mundiais, na conjuntura internacional moderna. O Brasil tem vantagens competitivas para sair na frente ao explorar a abundante riqueza natural que o seu território possui. Porém, esta riqueza precisa ser aproveitada e manejada sob bases sustentáveis. A recuperação e preservação dos seus recursos naturais e ecossistêmicos fortalece esta rota e corrida pela liderança brasileira. O pior cenário esperado é aquele no qual o Brasil padeça das consequências das mudanças climáticas globais sem estar devidamente preparado, e sem tomar partido de suas vantagens competitivas e oportunidades.

Não enfrentar, baseado na Ciência e em marcos regulatórios, o reconhecido papel que a conservação e a recuperação dos recursos naturais e ecossistêmicos trazem para o Brasil é risco para o país vir a assumir prejuízos econômicos severos. Artigo publicado por especialistas brasileiros no conceituado periódico *Nature Climate Change* revela que o Brasil pode vir a perder 5 trilhões de dólares até 2050, com o retrocesso ambiental (Rochedo et al, 2018). Os pesquisadores, usando Modelos de Avaliação Integrada (IAMs na sigla em inglês), desenvolvidos domesticamente, dois deles criados na COPPE/UFRJ (Coffee e Blues) e outro na Universidade Federal de Minas Gerais UFMG (Otimizagro), traçaram cenários que estimam o esforço necessário para o Brasil cumprir as suas metas assumidas no âmbito do Acordo de Paris e com isso compensar o enfraquecimento da governança ambiental recente, que já resultou em emissões crescentes decorrentes de mudanças no uso da terra, provocadas pela retomada do desmatamento ilegal.

Conforme o trabalho, a governança ambiental brasileira se divide em três períodos: pré-2005, de governança fraca e altas taxas de desmatamento; 2005 a 2011, período de aprimoramentos na governança e com resultados efetivos na redução do desmatamento; e 2012 a 2017, quando a governança foi gradualmente erodida pela anistia concedida ao desmatamento ilegal, no bojo da revisão do novo Código Florestal. Baseando-se neste histórico, os autores definiram três cenários/tipologia de governança ambiental: fraco, intermediário e forte. O cenário de governança fraca implicaria o abandono do controle do desmatamento e o incentivo à agropecuária predatória. Neste cenário, todos os ganhos obtidos desde 2005 seriam anulados. O cenário intermediário implicaria numa contradição: a manutenção das políticas de controle do desmatamento concomitantemente ao apoio às práticas predatórias. No cenário intermediário há manutenção do cenário atual, cujo ritmo de desmatamento implicaria que a taxa de desmatamento anual alcançaria 15 mil km^2 no Cerrado e 17 mil km^2 na Amazônia, até 2030. Isso resultaria na emissão de 16,3 Gt de CO_2 para o período 2010-2030. As políticas ambientais, embora vigentes,

se degradariam por influência política, pois seriam enviados sinais ao mercado de que o desmatamento é velado, e pode-se desmatar. Neste cenário, as regras são descumpridas, sem a fiscalização e punição adequadas. Por outro lado, o cenário de forte governança ambiental pressupõe a expansão das políticas de preservação ambiental e apoio político total à agenda ambiental assumida pelo Brasil em acordos e compromissos do passado. Este prognóstico levaria à redução anual do desmatamento no Cerrado e na Amazônia de cerca de 8 mil e 9,5 mil km^2 respectivamente, para menos de 4 mil km^2 em cada um dos dois biomas.

Em suma, além do risco reputacional para o Brasil ao ser percebido pelo resto do mundo como uma nação que não preserva os seus recursos naturais e desmata, podendo vir a implicar em fechamento de mercados para os produtos brasileiros, especialmente *commodities* agrícolas e alimentares, os pesquisadores estimaram que os prejuízos econômicos, conforme mencionado, de retrocesso ambiental, do cenário de fraca governança, pode ser de até 5 trilhões de dólares em 2050.

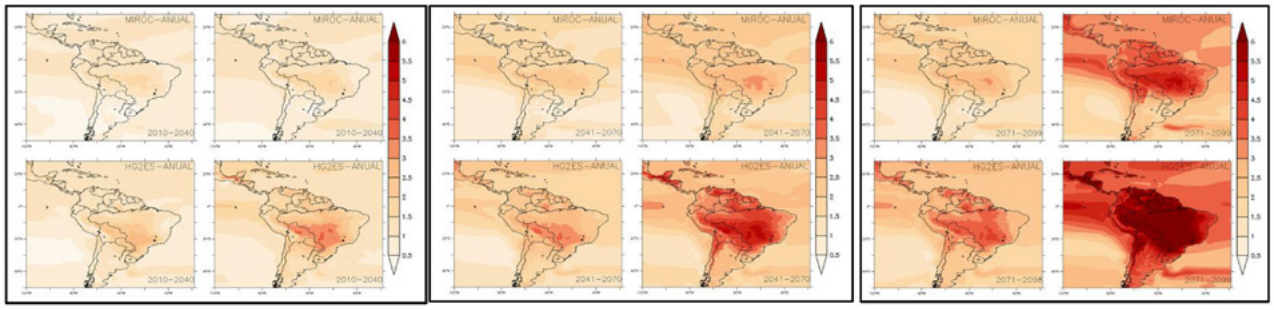
O Brasil, devido à sua ampla extensão territorial e disparidade socioeconômica espacial, deverá ser heterogeneamente afetado pelos impactos negativos das mudanças climáticas globais (ver **Figuras 1.3 e 1.4**). Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), as temperaturas médias deverão subir entre 1 e 6 graus até 2100, em comparação às médias registradas no final do século 20. Haverá alterações no regime de chuvas em todo o país, com precipitações menores no Nordeste, Norte e Centro, regiões onde as secas serão mais fortes e prolongadas, e com cenários de mais chuvas do que o comum no Sul e Sudeste. Eventos climáticos extremos, como chuvas intensas, secas e estiagens prolongadas serão mais frequentes e severos (PBMC, 2013). As populações pobres, crianças, idosos e mulheres, já tradicionalmente vulneráveis, poderão acentuar ainda mais a sua condição de pobreza com as mudanças climáticas, caso políticas públicas focalizadas e adequadas não vierem a ser dedicadas para estes grupos particulares. Em suma, as mudanças climáticas globais são um risco para o Brasil vir a acentuar ainda mais suas desigualdades regional e social na ausência de políticas públicas e intervenção governamental.

Todas as atividades econômicas brasileiras, em geral, quase sem exceção, são altamente dependentes e influenciadas pelos eventos climáticos, pois relacionam-se com o regime de chuvas e a temperatura, que afetam a disponibilidade hídrica para as atividades econômicas e a geração de energia, e especialmente a produção de alimentos. Conforme debatido, uma característica das mudanças climáticas globais é a intensificação da frequência (ocorrência) e magnitude (impacto) dos eventos climáticos extremos, acarretando grandes desafios e prejuízos econômicos para os centros e núcleos urbanos, especialmente nas zonas costeiras, e para a região semiárida do Brasil, frente à ausência de medidas de adaptação e de criação de resiliência local.

Somente para citar algumas referências, relatório produzido pelo projeto Brasil 2040, gerido no passado no âmbito da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), estimou uma série de impactos negativos das mudanças climáticas globais sobre os recursos hídricos, a infraestrutura urbana,

agricultura, transportes, energia e infraestrutura costeira do país[15]. Já a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), há tempos atrás, já havia alertado para os impactos das mudanças climáticas sobre a produção agropecuária brasileira, cujas culturas agrícolas podem ser severamente afetadas pelo aquecimento global, impactando e gerando o fenômeno que a empresa chama de uma *Nova Geografia da Produção Agrícola* do Brasil. É esperado que culturas relevantes como a soja e o café venham a ser afetadas pelo estresse hídrico e a elevação da temperatura, ocasionados pelo aquecimento global, precisando buscar e se realocar em novas áreas aptas para o cultivo com condições climáticas mais favoráveis e amenas, agora condicionadas ao cenário de aquecimento (Assad & Pinto, 2008)[16]

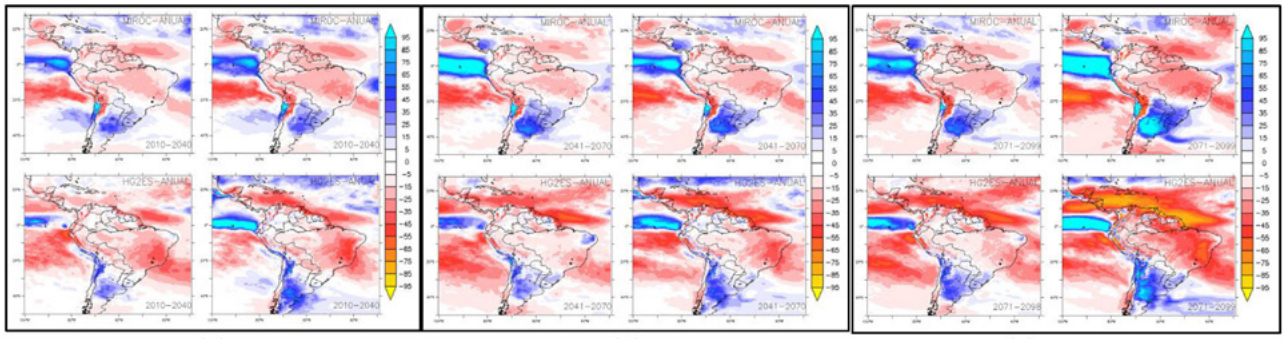
Figura 1.3 – Anomalia de Temperatura Média (em °C) para o Brasil



(a) (b) (c)

(a) Período 2010-2040 (b) Período 2041-2070 e (c) Período 2071-2099. Cenários climáticos RCP4.5 e RCP8.5, da esquerda para direita. Tonalidade de vermelho mais forte representa aquecimento e elevação da temperatura no Brasil. Fonte: INPE com base em modelo ETA/MIROC5 e ETA/HadGEM2-ES. Extraído do documento *Brasil 2040*.

Figura 1.4 – Anomalia de Precipitação Média Anual (em %) para o Brasil



(a) (b) (c)

(a) Período 2010-2040 (b) Período 2041-2070 e (c) Período 2071-2099. Cenários climáticos RCP4.5 e RCP8.5, da esquerda para direita. Fonte: INPE com base em modelo ETA/MIROC5 e ETA/HadGEM2-ES. Extraído do documento *Brasil 2040*.

15 Para uma análise de forma resumida destes impactos ver sumário executivo do projeto, disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80182/BRASIL-2040-Resumo-Executivo.pdf

16 Estudo da Embrapa estima os impactos das mudanças climáticas sobre os cultivos de algodão, arroz, cana, café, feijão, girassol, mandioca, milho e soja. Na ocasião, com os cenários disponíveis à época mais atualizados, estimou-se um impacto de prejuízos econômicos de até 2.5 bilhões de reais para o café e 6.4 bilhões para a soja. A lista completa dos prejuízos financeiros encontra-se em tabela síntese disponibilizada na página 12 do referido estudo.

A elaboração de estratégias de longo prazo para a descarbonização da economia, incentivada pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), é um instrumento de planejamento relevante que apóia a corrida dos países pela liderança mundial em cenário de mudanças climáticas globais. Atualmente, 11 países já apresentaram à UNFCCC estratégias de longo prazo baixo intensivas em carbono e rumo à descarbonização[17]. O Brasil poderia se inspirar e também sair na frente. Este documento elaborado no âmbito do Fórum Brasileiro de Mudança do Clima é uma contribuição para que a nível governamental o Brasil possa iniciar o seu processo de elaboração de uma estratégia de longo prazo rumo à descarbonização da economia brasileira.

BOX 2 – BRASIL, FLORESTAS E ESTOQUE E REMOÇÃO DE CARBONO

As florestas armazenam carbono, refletem calor, ajudam a reter a água da chuva e trazem vários outros benefícios para os seres humanos e o meio ambiente. Por isso, a maioria dos cientistas que estudam o clima do planeta afirma que para evitar o aumento do aquecimento global é fundamental que o desmatamento seja detido. Recentemente, diante da discussão sobre alternativas tecnológicas para estocar e remover carbono, os cientistas foram taxativos em destacar o papel das florestas para frear o aquecimento global em níveis seguros para a sobrevivência humana na Terra.

Um pouco antes do painel de especialistas do IPCC lançar relatório que apresenta a base científica das mudanças climáticas globais e os caminhos tecnológicos necessários para limitar o aquecimento global médio em até 1,5ºC, quarenta cientistas internacionais de destaque assinaram uma declaração reforçando a importância de se preservar as florestas, quando o assunto é o combate à mudança climática. Nesta declaração, os quarenta cientistas argumentam cinco razões pelas quais a limitação do aquecimento global requer proteção e gestão sustentável das florestas, sejam daquelas que ainda existem e também de restauração das que já foram degradadas e destruídas.

1. As florestas do mundo contêm mais carbono que os depósitos exploráveis de petróleo, gás e carvão, portanto, evitar as emissões de carbono florestal é tão urgente quanto interromper o uso de combustível fóssil.
2. As florestas em pé atualmente removem cerca de um quarto de gás carbônico que os humanos emitem para a atmosfera, impedindo que as mudanças climáticas sejam ainda piores.
3. Alcançar a meta de limitar a elevação da temperatura global em até 1,5 °C requer a restauração massiva das florestas para remover o excesso de dióxido de carbono da atmosfera.

17 Os países são: Estados Unidos, Alemanha, França, Reino Unido, Canadá, México, República Checa, Fiji, República das Ilhas Marshall, Ucrânia, Benin. Para conhecer cada estratégia de longo prazo dos países ver: https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/long-term-strategies e Apêndice 1.

4. É bem verdade que a bioenergia não é a solução primária para remover carbono, mas é uma solução conhecida e, para muitas regiões, a mais adequada e custo eficiente.

5. As florestas tropicais resfriam o ar ao seu redor e do planeta, além de criar a chuva essencial para o cultivo de alimentos em suas regiões e adjacências.

Para os quarenta cientistas há uma mensagem clara, o clima futuro do planeta está inexoravelmente ligado ao futuro de suas florestas. No Brasil, sabe-se, por exemplo, da importância da Floresta Amazônica para a manutenção do regime de chuvas, que não somente afeta a região deste bioma, mas de outras do país. O fenômeno dos rios voadores é uma explicação científica para o papel da Floresta Amazônica na regulação do ciclo hidrológico do Brasil, incluindo a disponibilidade de chuva que impacta as regiões Sul e Sudeste[18]. Simultaneamente, a recuperação florestal é uma atividade econômica rentável e promissora para o país. Estima-se que se o Brasil recuperar 12 milhões de hectares de florestas até 2030 vão ser gerados de 138 mil a 215 mil postos de trabalho – a depender do cenário escolhido – e simultaneamente, com promoção de arrecadação de impostos da ordem de R$ 3,9 a R$ 6,5 bilhões com a economia florestal (Kishinami & Watanabe Jr. 2016).

Outro estudo, apresentado recentemente por especialista em fevereiro de 2019, numa conferência da Associação Americana para o Avanço da Ciência, em Washington, DC, revelou que plantar 1,2 trilhão de árvores pode anular até uma década de emissões de CO_2 (Crowther 2019). Portanto, plantar árvores é uma das formas mais eficazes de reduzir os gases de efeito estufa da atmosfera.

JULIANA SPERANZA. PARQUE NACIONAL DE ANAVILHANAS (AM).

18 O atual equilíbrio do clima é modelado pela floresta. O fenômeno dos rios voadores é um dos componentes para a explicação de como as nuvens se formam e há chuva nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Isto porque a Floresta Amazônica funciona como uma bomba d'água. Ela puxa para dentro do continente a umidade evaporada pelo oceano Atlântico e carregada pelos ventos alíseos. Ao seguir terra adentro, a umidade cai como chuva sobre a floresta. Pela ação da evapotranspiração das árvores sob o sol tropical, a floresta devolve a água da chuva para a atmosfera na forma de vapor de água. Dessa forma, o ar é sempre recarregado com mais umidade, que continua sendo transportada rumo ao oeste para cair novamente como chuva mais adiante, vindo a chegar até as regiões Sul e Sudeste do Brasil (https://youtu.be/teeXse6pk7k e http://riosvoadores.com.br/).

1.4. Modelagem Climática e de Cenários e Descarbonização da Economia Brasileira

O aquecimento global é um dos maiores problemas com que a humanidade já se deparou, e seu enfrentamento depende da resolução de questões tecnológicas, mas também ligadas aos sistemas econômico, social, político, financeiro e ecológico. Portanto, reduzir ao máximo as emissões de gases de efeito estufa (GEE), que têm como consequência o aumento de temperatura do planeta, é essencial para manter a vida na Terra como a conhecemos, em condições seguras de sobrevivência humana. Neste sentido, a utilização de modelos é necessária e indicada para vir a possibilitar um melhor entendimento de como estes sistemas reagem a modificações em seus parâmetros (de entrada), para o enfrentamento do aquecimento global da maneira mais adequada possível.

Muitas vezes, devido ao grande número de hipóteses e parâmetros de entrada, e suas possíveis combinações, é necessário traçar uma estratégia para agrupar diversas possibilidades em um número de cenários que seja tratável. A criação de cenários é projetada para permitir uma melhor tomada de decisões, permitindo uma consideração profunda dos resultados e suas implicações. A modelagem de cenários difere da previsão convencional, pois não está tentando prever o futuro provável, mas está olhando para uma gama de futuros possíveis e buscando entender as diferenças entre eles. Cada cenário normalmente combina desenvolvimentos otimistas, pessimistas e mais e menos prováveis de alguns parâmetros. No entanto, todos os aspectos dos cenários devem ser plausíveis.

Modelos diferem entre si quanto à sua capacidade de investigação e à adequação a determinado tipo de análise. Modelos setoriais geralmente fornecem alto nível de detalhamento tecnológico, em contraste, modelos macroeconômicos, em especial os modelos de equilíbrio geral, tratam de todos os setores econômicos, possibilitando uma visão geral, porém menos detalhada em cada setor. Naturalmente, a aplicação de cada modelo deve ser pertinente, voltada para questões que estejam dentro do seu alcance de resposta. Em outras palavras, idealmente deve-se deixar cada modelo investigar o que está dentro de suas competências. Uma opção comumente utilizada em estudos prospectivos de longo prazo é o acoplamento entre modelos setoriais e de equilíbrio geral, de forma a abordar todas as questões relevantes à análise, além de manter a consistência entre os diversos setores e agentes que interagem entre si. Este foi o caso dos estudos IES Brasil 2050, e do Opções de Mitigação, que, por utilizarem uma metodologia de modelagem integrada, são considerados dois dos mais completos estudos já conduzidos sobre o tema no Brasil. Estes estudos foram as principais fontes de informação para o levantamento de medidas de mitigação e políticas climáticas apresentadas aqui.

O estudo 'Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2050' (IES-Brasil 2050) foi uma atualização do anterior IES-Brasil 2030. O horizonte de tempo foi ampliado para 2050 e houve revisão de algumas premissas relacionadas ao crescimento da economia, disponibilidade de

tecnologias e medidas de mitigação, entre outras. O projeto também contou com um arcabouço de modelagem diferente, tendo sido utilizada a versão mais recente e desenvolvida do modelo IMACLIM. Nesta nova versão, é possível detalhar o comportamento da economia em anos intermediários do horizonte de tempo estudado. Tal avanço permitiu a simulação de subperíodos com diferentes taxas médias de crescimento econômico (ex: a crise econômica iniciada em 2015) e inovação tecnológica (ex: penetração significativa de veículos elétricos a partir de 2030). Para o setor de oferta de energia foi utilizado o modelo MATRIZ, resultado de uma parceria entre o Centro Clima/COPPE/UFRJ e o CEPEL/Eletrobrás. Módulos setoriais *ad-hoc* foram desenvolvidos pela equipe do PPE/COPPE/UFRJ para os setores de mudança do uso da terra, agricultura e floresta (AFOLU), indústria e resíduos e pelo PET/COPPE/UFRJ para o setor de transportes.

Neste estudo, dois cenários foram simulados. No novo *Cenário de Referência* (REF), a economia brasileira cresce a taxas modestas no curto prazo (2,5% a.a. entre 2018 e 2020), quando se recupera da crise econômica. A partir de 2020, o Produto Interno Bruto (PIB) evolui cerca de 3,2% a.a. até 2030, 3,1% a.a. entre 2030 e 2040 e 3% a.a. entre 2040 e 2050. Considera-se que as metas para 2025 e 2030 da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil (NDC brasileira) são atendidas, porém não há aumento de ambição nos esforços de mitigação entre 2030 e 2050. No *Cenário 1,5º C*, a trajetória de emissões de GEE é compatível com objetivo global de evitar um aumento de temperatura superior a 1,5º C com relação aos níveis pré-industriais até o fim do século. Uma taxa de carbono é implementada a partir de 2020, evoluindo linearmente até chegar a 100 US$/t$CO_2$e em 2030 e mantida constante nesse valor até o ano 2050.

Dentre os principais resultados do estudo, há pequena redução do PIB em 2030 (-1.2%, de 8,99 para 8,88 trilhões de reais de 2015), e em 2050 (-1,0%, de 14,71 para 14,56 trilhões de reais de 2015) no Cenário 1,5 °C em comparação com o Cenário de Referência. Entretanto, a queda na taxa média anual de crescimento do PIB seria apenas de 2,79% a.a. para 2,74% a.a. entre 2021 e 2030 e de 2,66% a.a. para 2,64% a.a. para o período de 2031 a 2050. A política de utilização de receitas da taxa de carbono para diminuir os encargos sociais e trabalhistas, sem aumento da carga total de impostos, permitiria promover a criação de novos empregos, ajudando a manter o mercado de trabalho aquecido. Dessa forma, haveria apenas um pequeno aumento da taxa de desemprego no Cenário 1,5°C com relação ao Cenário REF, atingindo 9,5% contra 9,1% em 2030 e 7,9% contra 7,5% em 2050. Não obstante, a economia teria contribuído para reduzir as emissões de GEE, causadores do aquecimento global, que poderia ser ainda maior, podendo vir a gerar prejuízos econômicos ainda mais relevantes para o Brasil.

O foco do IES-Brasil 2050 foi a modelagem macroeconômica e a integração apropriada entre os diferentes modelos. Neste sentido, a utilização de um modelo de equilíbrio geral dinâmico possibilitou avançar sobre uma das limitações mais importantes do IES-Brasil 2030, e foi possível se descrever uma trajetória de emissões e se entender os impactos macroeconômicos e sociais em anos intermediários. As medidas

de mitigação foram atualizadas em relação ao IES-Brasil 2030 através da consulta às medidas de mitigação levantadas no âmbito do projeto "Opções de Mitigação", cujo foco foi justamente este, através de uma ampla equipe, e contando com a participação de diversos ministérios e associações industriais, foi realizado um levantamento de custos e potenciais de abatimento em diversos setores da economia brasileira. Essas medidas foram discutidas pelos *stakeholders* que participaram do IES-Brasil 2050 (cerca de 80 *stakeholders* participaram de duas reuniões para discussão dos cenários simulados, no âmbito do FBMC) e, quando necessário, estas medidas foram revisadas em termos de custos e/ou potenciais de abatimento.

Em Brasil Carbono Zero 2060, o cenário econômico é baseado no descrito em IES-Brasil 2050, entretanto as taxas de crescimento econômico foram novamente atualizadas de acordo com dados mais recentes. Assim, o cenário macroeconômico de base adotou premissas bem semelhantes às do estudo IES-Brasil 2050 quanto à estrutura econômica, mas considerou taxas de crescimento menores após 2030. Em 2060, o PIB é equivalente nos dois estudos. Neste documento, toma-se como base o estudo Brasil Carbono Zero 2060, considerando ser versão mais atualizada.

O projeto 'Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil' (MCTIC BRASIL, 2018) foi coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações em parceria com a ONU Meio Ambiente. Foram construídos cenários de emissões de GEE para a economia brasileira até 2050 com e sem a aplicação de mecanismos de precificação de emissões, para os quais identificou-se opções de mitigação em diversos setores.

O cenário de referência (REF) considera constantes as metas de políticas públicas governamentais, assim como planos oficiais de expansão setorial. Os cenários de baixo carbono (BC) abrangem a aplicação de melhores tecnologias disponíveis (MTD) para redução de emissões de GEE, considerando diferentes níveis de valores de emissões de carbono até 2050. O cenário de baixo carbono com valor de carbono nulo (BC0) contém as medidas de abatimento do tipo "*no regret*", isto é, que são economicamente viáveis, mas não são implementadas devido a barreiras tecnológicas, regulatórias, comportamentais, entre outras. São simulados ainda outros cenários com valor de emissões de GEE positivos, sendo 10, 25, 50 e 100 dólares por tonelada de dióxido de carbono equivalente (US$/t$CO_2$e). Foram testadas três possibilidades de reciclagem do tributo de carbono nos cenários valor de carbono de 25 e 100 US$/t$CO_2$: i) sem reciclagem da receita do tributo; ii) com reciclagem da receita para o governo; iii) com reciclagem da receita para as famílias.

Neste projeto, quatro modelos diferentes foram integrados para projetar cenários futuros de emissões de carbono e desempenho econômico, utilizando dados dos estudos setoriais que analisam todos os setores que demandam e ofertam energia (indústria, energia, transportes, edificações, agricultura, florestas e outros usos do solo, gestão de resíduos).

Inicialmente, o modelo de equilíbrio geral dinâmico estocástico (*Dynamic Stochastic General Equilibrium* - DSGE) da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) projetou cenários macroeconômicos até 2050, que foram então utilizados no modelo de equilíbrio geral dinâmico recursivo EFES, que nivela as projeções de crescimento da produção dos setores. Estes modelos foram integrados, ainda, a um modelo energético, o Message, que fornece dados de consumo energético por fonte e tecnologia, bem como os investimentos necessários para a utilização de cada tecnologia, e OTIMIZAGRO, que aloca a demanda por diferentes produtos agropecuários e fornece estimativas de emissões do uso da terra.

No *Cenário de Referência (REF)*, as emissões chegam a 1.704 $MtCO_2e$ em 2030 e 2.070 $MtCO_2e$ em 2050. Nos *cenários de baixo carbono*, as emissões seriam significativamente reduzidas. Para o valor de carbono de 10 US$/$tCO_2e$, haveria redução de 7% em 2030 e 18% em 2050, com relação ao cenário REF. Para o valor mais alto de carbono, 100 US$/$tCO_2e$, a redução seria de 28% em 2030 e 42% em 2050. O valor do carbono a 10 US$/$tCO_2e$ garantiria o cumprimento da NDC brasileira.

A implementação dos cenários de baixo carbono teria impacto pouco significativo sobre o PIB, emprego e renda em 2050. O PIB se reduz 0,01%, 0,10% e 0,82% ao ano nos cenários de valor de carbono 10, 25 e 100 US$/$tCO_2e$, respectivamente. No caso em que a receita da taxa de carbono é reciclada, é possível verificar um leve aumento no PIB em 2050 em alguns casos.

O atual desafio para a modelagem integrada, tanto no Brasil quanto no resto do mundo, consiste em encontrar a forma mais adequada de combinação das melhores práticas identificadas nos modelos *Bottom-Up* (setoriais) e *Top-Down* (macroeconômicos). No Brasil, a modelagem integrada (conectando modelos de equilíbrio geral (CGE) e setoriais) começou a ser desenvolvida basicamente nos últimos 10 anos. Tivemos um avanço rápido, principalmente devido à integração com centros de pesquisa no exterior, e os estudos já podem ser considerados como de nível internacional. Entretanto, o número de estudos e de cenários simulados no Brasil ainda é muito pequeno se comparado a outros países. É preciso um maior volume de investimentos em estudos que se utilizem da modelagem integrada a fim de possibilitar a simulação de uma maior gama de cenários, sob diferentes hipóteses/premissas, e que complementem o conhecimento e o ponto de vista de diferentes instituições e especialistas, assim como de *stakeholders* e tomadores de decisão. Todavia, esta necessidade não inviabiliza a importância e a utilidade que a modelagem climática assume para o apoio no planejamento de políticas públicas no Brasil.

Sob um cenário esperado de aquecimento global com riscos, e oportunidades oferecidas pelo combate às mudanças climáticas, é que os resultados de modelagem oferecidos pelos dois estudos "Brasil Carbono Zero 2060" e "Opções de Mitigação" são explorados neste documento. É com base neles que recomendações de políticas públicas e cardápio de tecnologias baixo intensivas em carbono são apresentados, otimizando inserir o Brasil no rol das economias desenvolvidas diante de cenário contemporâneo de enfrentamento das mudanças climáticas globais.

Apêndice

Experiências Europeias de Elaboração de Estratégias de Longo Prazo para a Descarbonização da Economia

Os países que ratificaram o Acordo de Paris, incluindo o Brasil, deverão até 2020 apresentar uma Estratégia de Longo Prazo (LTS, da sigla em inglês) para 2050 no âmbito da Convenção Global do Clima (UNFCCC)[1]. Este apêndice sistematiza conteúdos e metodologias de elaboração de duas estratégias de longo prazo de países europeus – Alemanha e França – que já submeteram suas estratégias junto à UNFCCC. Tem por objetivo inspirar e apoiar a elaboração de uma Estratégia de Longo Prazo brasileira. A elaboração de uma Estratégia de Longo Prazo pelo Brasil é oportunidade para o país vir a orientar uma nova via de desenvolvimento baixo intensiva em carbono, com oportunidades para geração de trabalho e riqueza para a economia nacional.

Os dados que se seguem foram extraídos de investigação realizada pelo pesquisador português Pedro Barata, contrato pelo FBMC, para mapear experiências de LTS dos países europeus e da relação da União Europeia com o tema[2]. Com isso buscou-se o intercâmbio de conhecimento entre organizações europeias e brasileiras. Esta consultoria integrou as atividades da Câmara Temática de Visão de Longo Prazo (CT LP) criada pelo FBMC, durante o período de 2017 à 2019.

I. União Europeia e a relação com LTS

Na União Europeia, o balanço neutro de carbono tem sido discutido como um potencial objetivo para a política climática a nível regional. No anterior pacote legislativo de energia e clima, a União Europeia estabeleceu como objetivo de longo-prazo a redução de suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) de 80% à 95% até 2050, considerando o ano de 1990 como ano-base. Mais recentemente, a União Europeia apresentou como proposta para uma contribuição futura ao Acordo de Paris o estabelecimento de uma meta de neutralidade de carbono, ou seja, o alcance de emissões líquidas zero, no nível europeu.

Assim, cada Estado-membro da União Europeia segue um calendário próprio, perante a UNFCCC, para apresentar a sua LTS até 2020. Adicionalmente a este esforço de cada Estado-Membro, também a Comissão Europeia, enquanto parte de direito próprio da Convenção Global do Clima, está preparando a sua LTS, tendo apresentado uma versão preliminar em outubro de 2018.

---

1 O Acordo de Paris, aprovado pelos 195 países integrantes da UNFCCC, assumiu o compromisso de manter o aumento da temperatura média global em bem menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de envidar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Como o próprio Acordo estipula, tal objetivo implica, baseando-se em estudos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a obtenção de um balanço neutro de emissões e remoções de gases de efeito de estufa até o final do século, por vezes denominado como "neutralidade de carbono"

2 Da empresa de serviços ambientais Get2C. Esta consultoria investigou também as experiências de elaboração de LTS de Portugal e Espanha, em curso, ainda não submetidas à UNFCCC. A investigação na íntegra do trabalho será disponibilizada no site do FBMC.

Importante também destacar que, em paralelo à obrigação internacional de produção da LTS decorrente do Acordo de Paris, a recém-aprovada Regulação Europeia sobre o Governo da Energia obrigou os Estados-membros a produzirem Planos Integrados de Energia e Clima (PNEC) – planos que sustentam a política energética e de clima no horizonte 2030 – e apresentá-los à Comissão Europeia até o final do ano passado (2018). Consequentemente, estando os dois processos a decorrer em simultâneo, houve casos em que o PNEC teve prioridade sobre a LTS, casos em que a LTS já tinha sido avançada antes do PNEC (caso francês) e finalmente casos em que os dois processos de elaboração dos documentos foram integrados (caso português).

II. Processo de elaboração, implementação e monitoramento da LTS alemã

Antes da publicação de um plano oficial, a estratégia de longo prazo alemã refletia-se no *Energiewende ("mudança energética")*, um processo de transição energética definido por um conjunto de leis que foram publicadas ao longo dos anos para tornar o sistema energético gradualmente mais eficiente e sustentável e que serviram de base estratégica para o seu Plano de Ação Climática 2050.

O desenvolvimento do Plano de Ação Climática 2050 foi precedido por um extenso processo de consulta pública em 2015/16 que envolveu estados federais (*Länder*), municípios, associações e cidadãos. A elaboração do plano foi responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente (BMU), sendo oficialmente adotado pelo governo alemão em novembro de 2016[3]. Deste processo resultaram 97 medidas que foram apresentadas ao Ministério do Meio Ambiente. Durante a elaboração do Plano de Ação Climática 2050 relatórios científicos e cenários foram também considerados.

A revisão do plano irá ocorrer em ciclos de cinco anos de acordo com o ciclo de revisão das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) dos países estabelecido pelo Acordo de Paris, ocorrendo a primeira revisão até o início de 2020. As metas intermediárias, opções estratégicas e recomendações serão revistas de forma contínua para averiguar a sua compatibilidade com as metas de longo prazo estabelecidas, sendo adaptadas a possíveis desenvolvimentos tecnológicos, científicos, socioeconômicos e políticos, se necessário.

De modo a assegurar a operacionalização e o cumprimento das suas metas, o Plano de Ação Climática 2050 será acompanhado de um programa de medidas, a ser

3 A consulta aos cidadãos envolveu uma conferência de lançamento, eventos públicos em cinco cidades e a criação de uma plataforma *online* para incentivar o envolvimento de público geral. Milhares de cidadãos foram aleatoriamente convidados a participar, dos quais 472 participaram de debates públicos. Foram nomeados delegados para consolidar as medidas propostas. Este processo foi coordenado por uma empresa de consultoria de diálogo e comunicação, com apoio da Universidade de Mainz. A consulta aos Länder, municípios e associações empresariais envolveu: a participação em fóruns organizados separadamente por cada grupo de *stakeholders*, a nomeação de um comitê de delegados para consolidar as medidas propostas e a formação de cinco grupos de trabalho para elaborar medidas para setores específicos. Também este processo foi coordenado por uma consultoria de diálogo e comunicação, com o apoio científico dos Institutos Wuppertal e o Instituto de Pesquisas Energéticas e Ambientais de Heidelberg.

desenvolvido com o apoio da câmara baixa do parlamento *(Bundestag)* e a participação de grupos da sociedade civil. Este programa incluirá medidas específicas para atingir as metas definidas, cujo impacto sobre as emissões deverá ser quantificável. A sua revisão ocorrerá após cada atualização do plano de ação.

Para análise dos resultados, custos, riscos e oportunidades socioeconômicas associados às diferentes opções estratégicas foi nomeada uma plataforma científica composta por institutos de pesquisa nas áreas de ciências naturais e sociais. Os institutos são responsáveis pela prestação de apoio ao processo de revisão do plano de ação e ao programa de medidas, elaborando relatórios científicos para informar as decisões políticas.

A revisão de ambos os documentos incluirá também um processo de consulta pública que dará continuidade ao processo originalmente estabelecido em 2015/2016, sujeito a avaliações e melhorias regulares, contribuindo para a implementação das medidas previstas no plano e na identificação de possíveis ações adicionais.

A implementação do plano será monitorada através da realização de relatórios anuais sobre o progresso do programa de medidas em vigor, tendências correntes das emissões em vários setores e uma estimativa das reduções de emissões previstas. Estes relatórios seguem a estrutura previamente definida para o monitoramento do Programa de Ação Climática 2020, que é a atual estratégia de curto prazo alemã. Os relatórios serão associados à revisão do programa de medidas.

O Plano de Ação Climática 2050 não é um instrumento vinculativo, oferecendo apenas orientação para as medidas e investimentos necessários a uma economia neutra em carbono. A criação de medidas legislativas será de responsabilidade do *Bundestag*.

III. Processo de elaboração, implementação e monitoramento da LTS francesa

O enquadramento administrativo da LTS francesa começou a ser definido em 2012 com o debate nacional sobre transição energética (DNTE) que precedeu a preparação da Lei da Transição Energética para o Crescimento Verde. Durante este processo foi estabelecido um conselho nacional para acompanhar a transição energética (CNTE), que integrou representantes do setor empresarial, sindicatos, organizações não-governamentais (ONGs) ambientais, membros do governo e autoridades locais. Foram realizadas reuniões mensais, sendo a preparação da lei liderada pelo Ministério do Meio Ambiente, com participação significativa dos ministérios da agricultura e finanças.

Foram criados grupos de trabalho *ad hoc* para a preparação de relatórios sobre temas específicos, cada um co-presidido por um membro do setor empresarial e de uma ONG. Por sua vez, cada grupo de trabalho foi assistido por um grupo de especialistas majoritariamente acadêmicos. Quando os relatórios foram submetidos, foi necessário analisar e discutir as discordâncias que surgiram, cabendo a decisão final ao Ministério do Meio Ambiente.

O processo de consulta pública envolveu mais de mil sessões de debate organizadas por diversos *stakeholders*, tendo sido criado um site dedicado, documentos de referência e ferramentas de comunicação para envolver todos os membros da sociedade. Apesar da dificuldade para se analisar o volume de informações gerado, este processo permitiu reavaliar fatores e temas socioeconômicos que estavam sendo subestimados e reforçar o papel das autoridades locais. O processo foi conduzido por um comitê independente nomeado pelo ministério e um secretariado *ad hoc,* com funcionários e orçamento designados para este fim. Também contou com apoio de um grupo de cidadãos na produção de conteúdo e estruturação dos documentos públicos. O resultado foi um conjunto de potenciais opções estratégicas para a mitigação e uma análise dos benefícios, desafios e disparidades das mesmas.

A Lei da Transição Energética para o Crescimento Verde foi adotada em 2015, estabelecendo objetivos de médio e longo-prazo e os procedimentos para a sua transposição em políticas através de dois documentos principais: (i) a Estratégia Nacional de Baixo Carbono (SNBC) define as orientações estratégicas para o cumprimento das metas estabelecidas, e o seu orçamento e políticas são estruturados para os seguintes períodos: 2015-2018, 2019-2023 e 2024-2028, (ii) o instrumento de planejamento energético (PPE) define objetivos quantificáveis para a evolução do sistema energético nos períodos de 2015-2018 e 2019-2023.

Tanto a SNBC como o PPE devem ser revistos a cada cinco anos, atualizando os cenários estratégicos. Para este fim, foi estabelecido um sistema de monitoramento que utiliza estatísticas nacionais para avaliar todas as metas, recomendações e políticas. Os resultados são públicos e informam o processo de revisão, que é acompanhado de um relatório de avaliação sobre a implementação das recomendações. É também apresentado anualmente um relatório à Assembléia Nacional sobre o impacto orçamentário da estratégia.

A produção e revisão dos documentos são de responsabilidade dos Ministérios do Meio Ambiente e da Agricultura, assumindo o CNTE o papel de comitê permanente para o seu desenvolvimento e revisão, incluindo um processo de consulta pública que envolve os mesmos *stakeholders* de processos anteriores. O CNTE é também responsável pelo monitoramento e acompanhamento da lei e da estratégia. Adicionalmente, foi nomeado um comitê de especialistas que é responsável pela avaliação da SNBC e do PPE, submetendo um relatório ao Ministério do Meio Ambiente a cada cinco anos antes da revisão dos documentos. Estes relatórios são divulgados *online* e sujeitos a consulta pública.

Estes documentos são vinculados a entidades públicas. Futura regulamentação, investimentos e políticas têm de ser consistentes ou não afetar negativamente a SNBC, cujas recomendações especificam por vezes metas quantitativas ou o tipo de ação que deve ser tomada. O PPE é a base legal para o comissionamento de novos projetos junto ao setor energético francês. Para as entidades privadas, é apenas indicativo da direção estratégica do país, de forma que elas possam tomar decisões informadas e embasadas em referências do governo.

IV. Estabelecimento de políticas setoriais e metas de longo prazo para a descarbonização da economia

No âmbito dos trabalhos concluídos e em preparação pelos diferentes Estados--Membros e a União Europeia, alguns temas relacionados à definição de políticas foram observados como comuns, ressaltando:

Disrupção tecnológica: todos os cenários e estudos incluem um enorme componente de inovação tecnológica, com maior ou menor incorporação de tecnologias ainda em exploração. Entre as tendências tecnológicas prevalecentes há: i) forte incremento da produção de eletricidade a partir de fonte renovável, com muitos países propondo metas muito próximas à 100% de produção renovável em 2030-2050; ii) forte eletrificação do consumo, para o qual se espera reduções devido ao incremento da mobilidade elétrica e partilhada. Dessa forma, espera-se um incremento elevado da eficiência de conversão energética por um lado e, por outro, uma melhoria global da eficiência do sistema de mobilidade.

Disrupção social: através de tendências globais assentadas no tele-trabalho, na concentração urbana, na alimentação e na dieta (com o crescimento de dietas alternativas e de baixo-carbono).

A Alemanha e a França estabeleceram medidas de mitigação rumo à descarbonização junto aos setores de: energia, edifícios, transportes, indústria, agricultura, floresta e resíduos. Foram estabelecidas metas setoriais e total, apresentadas adiante na Tabela 1.

Na Alemanha, o sistema europeu de comércio de emissões é descrito como uma ferramenta essencial para se ter o preço de carbono como um incentivo estratégico para a redução das emissões, especialmente nos setores energético e industrial, criando uma base de informação para o planejamento de médio e longo prazo e as decisões de investimento. O componente instrumentos financeiros complementa o universo de elementos identificados como estratégicos para a descarbonização.

Na França, um dos principais focos da Estratégia Nacional de Baixo Carbono (SNBC) foi a determinação de orçamentos de carbono de 442, 399, e 358 $MtCO_2eq$ para os respectivos períodos de 2015–2018, 2019–2023 e 2024–2028. Refletindo a análise setorial realizada com base no desenvolvimento dos cenários empregados foi também apresentada uma estimativa dos limites de carbono por setor.

Outro ponto de destaque foram as ferramentas de financiamento identificadas para assegurar a transição energética, que incluem fundos nacionais e europeus, empréstimos específicos e regimes de garantias. Em particular, a SNBC prevê um aumento do preço de carbono de 22€/tCO_2 em 2016 para 56€/tCO_2 em 2020 e 100€/tCO_2 em 2030 (em € 2015). Este aumento deverá ser compensado por uma redução de impostos em outros produtos, trabalho ou rendimento, apoiados por tarifas sociais e financiamentos que podem vir a ser estabelecidos.

Nas LTS dos dois países reforça-se o reconhecimento para como os diferentes setores podem interagir entre si visando contribuir para a descarbonização da economia e o papel da bioeconomia como referencial para as políticas.

V. Monitoramento, Relato e Verificação

No tocante ao tema do MRV, tal como na definição das suas metas, a maioria dos países europeus analisados optou por estabelecer uma estrutura de monitoramento, relato e verificação de suas LTS semelhante ao ciclo de cinco anos estabelecido pelo Acordo de Paris para revisão das NDCs. Em termos operacionais, isto poderá facilitar a alocação de recursos ao tirar proveito da estrutura de governança já existente.

Tanto a Alemanha como a França apresentam estruturas de MVR bem definidas, com publicação de relatórios de acompanhamento, apoio de um comitê de especialistas e um processo de revisão sujeito a consulta pública, conforme originalmente estruturado para o desenvolvimento das suas respectivas LTS. Em ambos os casos os ciclos de revisão de cinco anos serão acompanhados por relatórios de progresso anuais, mas enquanto na Alemanha estes relatórios irão reportar o progresso das metas e medidas estabelecidas, na França será apenas reportado o impacto orçamentário da LTS.

Relativamente aos indicadores utilizados, o monitoramento do plano alemão será feito com base na análise e estimativa das tendências de redução de emissões em cada setor, e algumas variáveis econômicas como emprego, investimentos e redução de custos de importação energética associados à ação climática do país. Para a estratégia francesa foi estabelecido um sistema de monitoramento que utiliza estatísticas nacionais para avaliar todas as metas, recomendações e políticas.

Tabela 1: Metas de LTS europeias rumo a descarbonização da economia

Metas	Alemanha	França
Geral	Redução das emissões de 55% até 2030 e 70% até 2040, relativamente a 1990 e alcance da neutralidade de carbono em 2050	Redução de 30% das emissões até 2030 e de 75% até 2050, relativamente a 1990*
Energia	Redução das emissões de 62% até 2030 relativamente a 1990	Redução de fator 20 relativamente a 1990 até 2050
Edifícios	Redução das emissões de 67% até 2030 relativamente a 1990	Redução de 54% até período de 2024–2028 e 87% até 2050, relativamente a 2013
Transporte	Redução das emissões de 42% até 2030 relativamente a 1990	Redução de 29% até período de 2024–2028 e 70% até 2050, relativamente a 2013
Industrial	Redução das emissões de 50% até 2030 relativamente a 1990	Redução de 24% até período de 2024–2028 e 75% até 2050, relativamente a 2013
Agrícola	Redução das emissões de 31-34% até 2030 relativamente a 1990	Redução de 12% até período de 2024–2028 e 24% até 2050, relativamente a 2013
Florestas	Não é definida uma meta, apenas medidas que visam o aumento do sequestro de carbono	De 15% a 20% de compensação das emissões atingida através de sequestro de carbono da floresta, substituição de materiais energeticamente intensivos por produtos de base biológica e uso de biomassa como fonte de energia
Resíduos	--	Redução das emissões de 75% até 2050 relativamente a 2013

Notas: 1) *Em 2017, o governo francês declarou que uma nova meta mais ambiciosa será integrada no processo de revisão da SNBC, que se encontra atualmente em curso, e deverá ser publicada no segundo semestre de 2019. 2) Documento na íntegra produzido pelo pesquisador Pedro Barata disponibilizado no site do FBMC documenta medidas de mitigação sugeridas para o alcance das metas.
Fonte: elaboração própria a partir de Barata (2019).

Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira

Setor de Mudança do Uso da Terra, Florestas, Agropecuária e Biodiversidade

PARQUE NATURAL MUNICIPAL DA CATACUMBA (RJ). PEDRO ESTARQUE.

02

2.1. Introdução

Metodologicamente, os setores de (i) **Mudança do Uso da Terra e Florestas** e (ii) **Agropecuário** são duas categorias distintas, com suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) sendo monitoradas através do Inventário Nacional e das Estimativas Anuais de Emissões, documentos produzidos pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Juntos, eles **respondem por 55% das emissões totais brasileiras, sendo grandes emissores dentre os setores computados pelo inventário (Figura 2.1)**.

A razão para apresentá-los num mesmo capítulo decorre de três fatores principais. Primeiramente, pelo lado do determinante, há uma correlação já observada na literatura entre o desmatamento e a expansão da fronteira agrícola, detalhada mais adiante. Em segundo lugar, pelo lado da busca de soluções, estratégias como integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) e de sistemas agroflorestais (SAFs), têm sido defendidas como opções de mitigação para o setor agropecuário brasileiro e, que, portanto, valorizam a manutenção da floresta em pé. Ademais, a conservação e recuperação da agrobiodiversidade, incluindo as florestas e seus serviços ecossistêmicos, permitem o desenvolvimento de sistemas agrários mais resilientes às mudanças climáticas globais, protegendo a manutenção da produtividade agrícola brasileira sob o cenário de aquecimento global. Em terceiro lugar, marcos regulatórios como o Código Florestal (CF) e o Cadastro Ambiental Rural (CAR), condicionam regras de uso e ocupação do solo e apóiam o monitoramento da adequação das propriedades rurais, que impactam em maiores ou menores taxas de desmatamento ilegal no país. Assim, faz sentido uma análise integrada das emissões de GEE destes dois setores, bem como do potencial de mitigação destes, que contribuem rumo à direção da descarbonização da economia brasileira. A opção metodológica que é realizada neste capítulo.

Destaca-se que **estes dois setores possuem alto potencial de mitigação e representam papel estratégico no alcance de balanço líquido de carbono zero em 2060 pelo Brasil.** A seção 2.4 a seguir aprofunda esta análise com uma discussão de opções tecnológicas para os setores e que reduzam as suas emissões. Particularmente o **setor florestal** é reconhecido como elemento chave na discussão sobre descarbonização, em decorrência do seu **papel para o sequestro de carbono**, que, conforme visto em discussão realizada no capítulo introdutório deste trabalho (rever **Box 2** do capítulo), é tecnologia indispensável para a Humanidade poder vir a obter balanço líquido zero de carbono no longo prazo.

O Brasil assumiu importantes compromissos em relação a redução de emissões do setor agropecuário e florestal já na sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) ratificada pelo Congresso Nacional em 2016, contribuindo assim com a definição de uma base e ponto de partida de trajetória rumo à descarbonização no longo prazo. Alguns destes compromissos são:

- Fortalecer o cumprimento do Código Florestal (CF), em âmbito federal, estadual e municipal;
- Fortalecer políticas e medidas com vistas a alcançar, na Amazônia brasileira, o desmatamento ilegal zero até 2030 e a compensação das emissões de GEE provenientes da supressão legal da vegetação até 2030;
- Restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas até 2030, para múltiplos usos;
- Ampliar a escala de sistemas de manejo sustentável de florestas nativas, por meio de sistemas de georeferenciamento e rastreabilidade aplicáveis ao manejo de florestas nativas, com vistas a desestimular práticas ilegais e insustentáveis;
- Fortalecer o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) como a principal estratégia para o desenvolvimento sustentável na agricultura, inclusive por meio da restauração adicional de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030 e pelo incremento de 5 milhões de hectares de sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas até 2030 (Brasil, 2016).

Estas medidas apóiam a redução das emissões, mas são igualmente oportunidades para desenvolvimento da bioeconomia que é promissora para o Brasil, dada a sua riqueza natural e de biodiversidade, com destaque para a economia florestal. Esta tem potencial de gerar 215 mil novos postos de trabalho, somente se o Brasil vier a atender o seu compromisso de restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares (Instituto Escolhas, 2015). É uma das razões que contribuem para o fato da economia florestal ser atualmente reconhecida como uma potencial cadeia produtiva do agronegócio (Rodrigues, 2017).

O setor agropecuário, por sua vez, ao conciliar ganhos de produtividade com conservação e recuperação ambiental, por meio de tecnologias produtivas já disponíveis hoje em dia, poderá fortalecer ainda mais a sua liderança global junto à manutenção da segurança alimentar planetária, condicionada a um contexto onde os mercados (nacional e internacional) valorizam compromissos de sustentabilidade em suas cadeias de valor. Consumidores, apoiados em cadeias de varejo multinacionais, exigem uma produção desassociada do desmatamento ilegal. Portanto, manter o nível de exportação das *commodities* agrícolas e também procurar acessar novos mercados requer a promoção de modelos de produção e consumo sustentáveis e baixo intensivos em carbono para o meio rural brasileiro.

No passado, no âmbito da Convenção Global do Clima (UNFCCC, da sigla em inglês) o Brasil mostrou seu papel inovador ao propor soluções tecnológicas e de financiamento que permitam alavancar o setor florestal, como o mecanismo do REDD+ – Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal – hoje implementado[1]. Em março deste ano, o Brasil recebeu a notícia que receberá do Fundo Verde para o Clima (GCF, da sigla em inglês), recursos da ordem de US$ 96 milhões de dólares pelo reconhecimento dos seus esforços de redução do desmatamento alcançados no período de 2014 a 2015[2] (MMA, 2019). Portanto, conservar a natureza é um bom negócio e o Brasil tem oportunidades para sair na frente na corrida sob esta nova economia.

Em relação ao setor agrícola, diferentemente do que se propagou por um bom tempo no meio rural brasileiro, conservação ambiental e aumento da produção não são objetivos incompatíveis. Isto porque, o que se busca na prática é aumento de ganhos de eficiência que elevem a produtividade com valorização dos recursos naturais e seus serviços ecossistêmicos. A saber, estudo do Observatório do ABC, do Centro de Estudos do Agronegócio da Fundação Getúlio Vargas, revela ganhos ambientais, econômicos e sociais potenciais da adoção de uma agropecuária de baixo carbono. Tomam-se somente dois exemplos aqui deste trabalho, e que será comentado no corpo do capítulo: i) com a adoção da recuperação de pastagens e da adoção de iLPF é possível aumentar em 5% a quantidade do rebanho bovino sem a necessidade de abertura de novas áreas, passando de 205 milhões de cabeças, em 2009, para 216 milhões após as boas práticas agrícolas serem adotadas; ii) a implementação do Plano ABC, instrumento da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e previsto na NDC brasileira, permite um aumento de R$ 8 bilhões no consumo total brasileiro, o que dá um impacto de ganhos de R$ 41,19 por habitante (Gurgel, 2017).

Em síntese, o Brasil tem boas condições e oportunidades para sair na frente do desenvolvimento de uma bioeconomia, que é compatível com a redução das emissões de GEE, a agenda de descarbonização e de compromissos e parâmetros ambientais assumidos pelos mercados e as nações, como nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)[3]. Não obstante para tal precisa fortalecer e ala-

1 A primeira versão do que viria ser o REDD+ resultou de uma parceria entre pesquisadores brasileiros e americanos, numa proposta conhecida como "Redução Compensada de Emissões", que foi apresentada durante a 9ª Conferência das Partes (COP) da Convenção Global do Clima, realizada em Milão, na Itália, em 2003. Esta versão foi aprimorada e discutida em sucessivas reuniões da COP, até ser reconhecida na 15ª COP, realizada em Copenhague, na Dinamarca, em 2009, por meio do Acordo de Copenhague, estabelecido entre os países. Este capítulo irá debater os potenciais e as oportunidades deste instrumento financeiro.

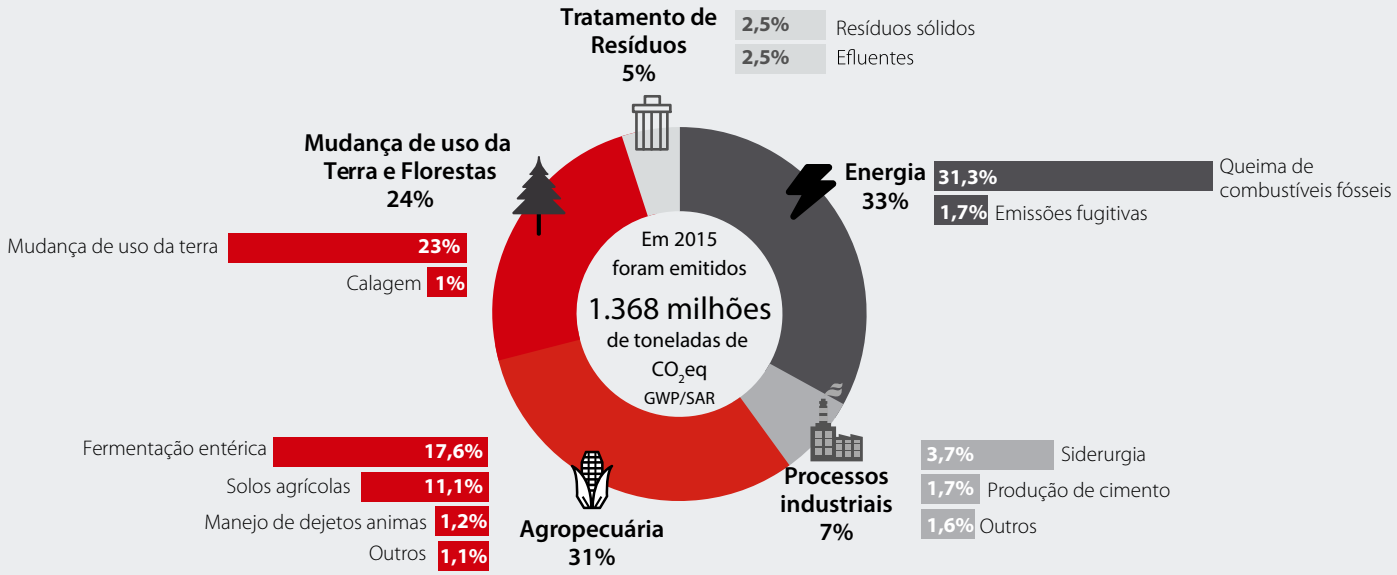
2 A proposta do Brasil para recebimento de pagamentos por resultados de redução de emissões provenientes do desmatamento nos anos de 2014 e 2015 foi aprovada pelo Conselho do GCF durante a sua 22ª reunião em Songdo, Coréia do Sul. A proposta do Brasil foi a primeira proposta aprovada no âmbito do programa Piloto de Pagamentos por Resultados de REDD+ do GCF, lançado em outubro de 2017.

3 O Brasil junto com outras nações desenvolvidas é signatário dos ODS e o Objetivo 15, que visa proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de

vancar a implementação de marcos regulatórios e de instrumentos econômicos e financeiros que apóiem a adoção de boas práticas agrícolas de baixo carbono, e ponham fim ao desmatamento ilegal.

Conforme revela a **Tabela 2.1** abaixo, há desafios porque as emissões de GEE destes dois setores são crescentes ao longo do tempo. Especificamente no caso do setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas, houve resultados históricos positivos no combate ao desmatamento, que responderam por uma redução de 64% nas emissões de gás carbônico (CO_2) no período 2005-2010, mas a tendência de queda foi eliminada no período recente. A partir de 2013 a taxa de desmatamento ilegal na Amazônia voltou a crescer, lançando riscos para os compromissos assumidos pelo Brasil e pelos ganhos econômicos e de mercado que a agenda da agropecuária sustentável e da bioeconomia têm a oferecer ao nosso país.

Figura 2.1 – Contribuição do Setor de Mudança do Uso da Terra e Floresta e Agropecuário para as Emissões Totais de GEE do Brasil



Fonte: SIRENE, 2019

biodiversidade tem como meta: promover a implementação da gestão sustentável de todos os tipos de florestas, deter o desmatamento, restaurar florestas degradadas e aumentar substancialmente o florestamento e o reflorestamento globalmente até 2020.

Tabela 2.1 – Evolução Histórica das Emissões de GEE do Setor de Mudança do Uso da Terra e Floresta e Agropecuário

SETOR	Ano	Unidade	CO_2	CH_4	N_2O	HFC – 23	HFC – 32	HFC – 125	HFC – 134a	HFC – 143a	HFC – 152a	CF_4	C_2F_6	SF_6	NO_x	CO	NMVOC
Agropecuária	1990	Gg		9.185,6	303,5										98,6	3.627,6	NE
	1995			10.058,2	340,2										109,9	4.045,8	NE
	2000			10.382,3	355,9										97,2	3.576,4	NE
	2005			12.357,7	429,0										126,2	4.644,4	NE
	2010			12.415,6	472,1										171,6	6.313,5	NE
	Var. 90/05	%		35	41										28	28	NA
	Var. 05/10			0	10										36	36	NA
Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas	1990	Gg	756.970	1.041,5	42,56										526,7	18.429,4	NE
	1995		1.837.508	2.895,7	106,98										1.196,0	48.855,6	NE
	2000		1.197.175	2.048,8	81,96										993,8	35.879,9	NE
	2005		1.797.842	3.237,9	125,25										1.470,3	55.810,0	NE
	2010		310.736	1.135,5	47,08										589,9	20.231,4	NE
	Var. 90/05	%	138	211	194										179	203	NA
	Var. 05/10		-83	-65	-62										-60	-64	NA

Fonte: MCTIC, 2016. *Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*.

O que se pretende com este capítulo é convidar a sociedade brasileira, especialistas, atores do setor privado, representantes do setor público, organizações não-governamentais e Academia, para uma reflexão, discussão e tomada de decisão em torno de caminho de descarbonização da economia e que deve ser trilhado pelo Brasil. Uma primeira reflexão em torno dos setores de Mudança do Uso da Terra e Florestas e da Agropecuária é feita a seguir, baseada na Ciência e em dados amplamente reconhecidos como de qualidade técnica, referência e confiabilidade, a fim de promover uma discussão pública sobre a descarbonização dos dois setores.

A seguir são apresentadas informações sobre: o Estado da Arte e linha de base de cada setor, oportunidades e benefícios econômicos de medidas de mitigação orientadas para eles, e uma descrição de opções tecnológicas recomendadas para os dois setores que contribuam para a descarbonização da economia brasileira. As opções são extraídas das referências bibliográficas que apóiam esta discussão neste documento, o estudo "Brasil Carbono Zero 2060" produzido pelo Centro Clima da COPPE/UFRJ (2018) e o estudo "Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil", produzido pelo MCTIC (2017), além de contribuições recebidas nas reuniões da Câmara Temática de Visão de Longo Prazo (CT LT) do FBMC e outras complementares.

2.2. Panorama das Emissões dos Setores de Mudança do Uso da Terra e Florestas e Agropecuário do Brasil

Esta seção apresenta breve diagnóstico da situação em termos de perfil das emissões de GEE dos dois setores em análise, bem como dos principais determinantes que explicam este diagnóstico. Tais informações apóiam a construção de uma referência a cerca da situação atual dos dois setores e sobre quais, a partir desta linha de base, podem ser definidas metas e recomendações de opções tecnológicas para a mitigação, uma discussão que será realizada em próxima seção deste capítulo.

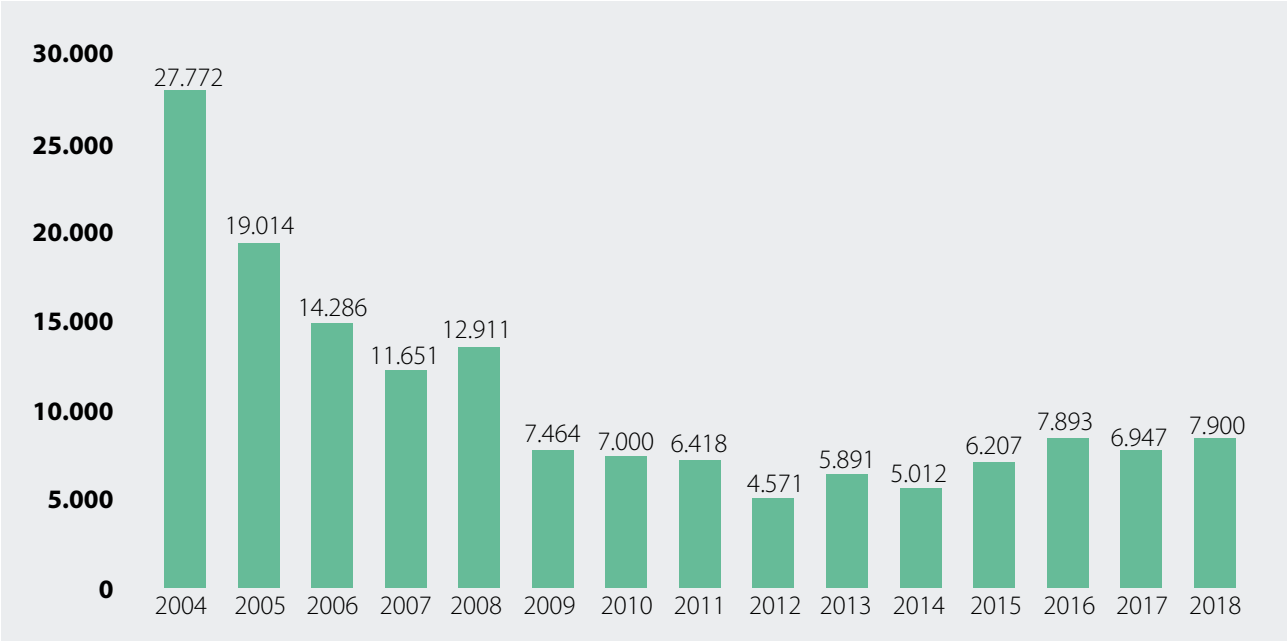
2.2.1. Estado da Arte: Desmatamento e Emissões de Gases de Efeito Estufa do Setor Florestal

O Setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas (MUTF) emitiu 1,17 bilhão de toneladas brutas de CO_2 equivalente (tCO2e) em 2016, segundo dados do SEEG[4]. Em outras palavras, quer dizer que ele é responsável sozinho por 51% do total de emissões de GEE do Brasil. Chama atenção o fato de que este valor é 23% acima do que foi verificado em 2015. Isto porque, a taxa de desmatamento, principal determinante das emissões deste setor, tem voltado a crescer a partir de 2013 (**ver Box 1**), retomando para patamar superior ao que foi constatado em 2009 (**Figura 2.2**). Somente o bioma Amazônia contribuiu com 52% (602 milhões de tCO_2e) das emissões do setor em 2016, com aumento de 27% em relação a 2015. As emissões no Cerrado representaram 21% (248 milhões de tCO_2e) do total do setor em 2016 (SEEG, 2018). Destaca-se que a taxa de desmatamento no Cerrado caiu no período recente, mas ainda assim os dados preocupam, pois, segundo dados do PRODES Cerrado[5], foram desmatados no período de agosto de 2017 a julho de 2018 um total de 6.657 km^2. Em 2016, o Pará foi o estado que mais emitiu GEE no setor de MUTF, no Brasil (SEEG, 2018), principalmente devido ao desmatamento da Floresta Amazônica que cobre este território. É forte a pressão da pecuária neste estado, que desmata a floresta para transformá-la em pasto.

4 Neste trabalho optou-se por abrir todos os capítulos com dados de emissões setoriais produzidos pelo MCTIC, por serem dados oficiais governamentais. Mas, para dados mais atualizados, recorre-se aos dados do SEEG (http://seeg.eco.br/), reconhecidamente como de qualidade e cuja metodologia é transparente, referenciada cientificamente e pública. Particularmente em relação ao setor de MUTF recomenda-se atenção as pequenas diferenças de metodologia no que se refere ao cálculo das emissões líquidas. Não obstante, tal diferença não significa diferenças significativas na direção e/ou magnitude dos valores absolutos.

5 http://www.obt.inpe.br/cerrado/

Figura 2.2 – Evolução da Taxa de Desmatamento na Amazônia Legal (em Km²)



Fonte: PRODES

BOX 1 – DESMATAMENTO ILEGAL NO BRASIL: UM BALANÇO-SÍNTESE DOS AVANÇOS, RETROCESSOS E DESAFIOS

Historicamente o desmatamento brasileiro, especialmente na Amazônia e no Cerrado, está associado à expansão da fronteira agrícola, com a derrubada da floresta para a entrada da lavoura e da pastagem. Esta é uma das principais causas do desmatamento, mas não a única. Completa a lista de fatores (*drivers*) a construção de grandes obras como rodovias e hidroelétricas, a grilagem de terras públicas e especulação fundiária, e o desmatamento observado em menor grau em assentamentos de Reforma Agrária e Unidades de Conservação[1] (Zalles et. al, 2019, Andersen et. al, 2002).

No passado o país construiu dois importantes instrumentos de política pública que foram os planos de combate ao desmatamento: Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento no Cerrado (PPCerrado), hoje em sua 4ª e 3ª versão, respectivamente, previstos para compreender o período 2016–2020.

Desde a sua criação, estes dois planos passaram por processos de evolução e aperfeiçoamento, resultando num escopo de atividades e medidas que agrega quatro elementos principais: (i) monitoramento e controle ambiental, ii) ordenamento fundiário e territorial, (iii) fomento às atividades produtivas sustentáveis, (iv) instrumentos econômicos e normativos. Particularmente o primeiro componente, que se traduz no monitoramento por

imagens de satélite das áreas desmatadas, com subsequente fiscalização e aplicação de multas aos infratores por órgão ambiental, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA), levou o Brasil à condição de país com uma das maiores quedas históricas do desmatamento ilegal do planeta. Entre o período de 2004 a 2012, o Brasil reduziu em 82,8% a taxa de desmatamento na Amazônia, passando de 27.772 Km^2 desmatados por ano para 4.571 Km^2 (PRODES, 2019). Este reconhecimento veio acompanhado de investimentos captados, como os recursos obtidos por meio do Fundo Amazônia e do Fundo Verde para o Clima, para acelerar ainda mais a queda e garantir a sua perpetuação no tempo[2].

Infelizmente, a partir de 2013, observa-se reversão da tendência histórica de queda (rever **Figura 2.2**), que é explicada naquela ocasião, por alguns fatores, um deles, o esgotamento do instrumento de comando e controle para a manutenção do declínio na taxa de desmatamento, parecendo ter alcançado uma espécie de teto-limite e, sendo assim, passando a ser necessário acionar com maior efetividade os demais componentes que integram o PPCDAm e o PPCerrado. Todavia, é importante destacar que a retomada do desmatamento ocorre com bastante intensidade a partir do governo do presidente Michel Temer, ganhando ainda mais força no governo de Jair Bolsonaro. Neste caso, a retomada de taxas bem elevadas tem sido compreendida por especialistas como resultantes de sinais que têm sido dados aos agentes econômicos de que não vale a pena preservar a floresta. Apesar da existência de alertas há uma redução observada na fiscalização e na aplicação de multas aos infratores, além de disputas em torno do Código Florestal (CF) e CAR, através de projetos de lei que tramitam no Congresso, colocando em risco a valorização da floresta em pé[3]. Como balanço geral tem-se que, ainda que possa ser uma minoria os infratores criminosos, é todo o setor agropecuário que sai prejudicado, gerando uma situação de insegurança em torno da propagação de uma imagem do agronegócio brasileiro associada ao desmatamento. Temem-se prejuízos econômicos, pela queda nas vendas, decorrente de sanções e embargos comerciais que podem ser promovidos pelo mercados nacional e internacional.

Conforme aponta Abramovay (2004), diferentemente do que se propagou por meio da Economia de tradição neoclássica, a Nova Sociologia Econômica nos revela que o mercado é uma construção social composta por preceitos éticos e morais, que afetam as escolhas de consumo. O mecanismo de formação de preços do mercado é percebido como resultante da interação social concreta, localizada e específica entre os atores. Logo, a ação econômica possui um significado que não é dado de antemão, mas sim construído na relação entre os atores. Isto explica, por exemplo, a reação

das cadeias da soja e da pecuária no Brasil, como resposta à campanhas promovidas por organizações não-governamentais[4]. Para este caso o saldo foi positivo: avançou-se na criação da Moratória da Soja para a Amazônia, em sistemas de rastreabilidade da carne pelo setor do varejo, e na aplicação de Termos de Ajustamento de Conduta (TACs) da pecuária pelo Ministério Público Federal[5]. Todos estes contribuíram para o anúncio de estabelecimento de compromissos de sustentabilidade nestas duas cadeias, lançando desafios sociotécnicos que serão mais adiante discutidos neste capítulo, porém para os quais a realidade do meio rural brasileiro já demonstra ser tecnicamente e economicamente factível vir a melhorar o desempenho do setor agropecuário do país. Portanto, pelo lado da produção, os ganhos de produtividade determinam o aumento da produção agrícola sem precisar colocar nenhuma árvore abaixo. Isto é especialmente verificado no caso da pecuária, que ainda possui bastante ineficiência na produção, dessa forma, com amplo espaço para melhorar a sua produtividade. Pelo lado da demanda, o mercado consumidor, seja ele doméstico e principalmente internacional, refuta a ideia de adquirir *commodities* agrícolas e produtos alimentares que estejam associados ao desmatamento. Há compromissos públicos do setor alimentício para livrar cadeias de alimentos da derrubada da floresta[6].

Apesar do avanço em torno da criação de um consenso pela maior parte do setor agropecuário brasileiro de que desmatar não se justifica economicamente, pois há um valor intrínseco da conservação dos recursos naturais e serviços ecossistêmicos que rebatem na produtividade da fazenda, faz-se importante reconhecer que falta uma aplicação mais restritiva e em maior escala de instrumentos que podem contribuir para a geração de resultados positivos no combate ao desmatamento ilegal. Tomam-se como referência os TACs e a Moratória da Soja. No caso do primeiro, o fato do Ministério Público Federal não ter aplicado punição para quem desmata cria uma concorrência desleal dentre os produtores que desmatam e aqueles que adéquam a sua produção para ser livre do desmatamento. Ademais, o controle dos indiretos e a "lavagem do gado" continuam sendo desafios para o monitoramento, a repressão e a punição[7]. Já a Moratória da Soja, com resultados positivos na Amazônia, deveria ser estendida para o Cerrado, onde localizam-se regiões com altas taxas de desmatamento, como a Região de Matopiba, considerada hoje território central da expansão da nova fronteira agrícola brasileira[8].

O que a experiência passada exitosa no combate ao desmatamento revelou é que é necessário compromisso e atuação colaborativa de agentes do setor público e privado. Também sabe-se que dá certo quando a punição pega no bolso do produtor, mas para isso é essencial que haja transparência junto à produção e divulgação dos dados, de forma que a sociedade civil e o governo possam monitorar as áreas desmatadas, aplicando multas e san-

ções econômicas. A saber, quando o Banco Central do Brasil (BACEN) instituiu a Resolução Nº 3.545/2008 e que impedia a concessão de crédito agrícola para produtores localizados em municípios integrantes da lista negra do desmatamento do IBAMA, aproximadamente R$ 2,9 bilhões deixaram de ser contraídos no período compreendido entre os anos de 2008 e 2011. Esta retração no crédito respondeu por uma redução de 15% do desmatamento para o período (Assunção e Gandour, 2016). O estudo de Assunção também concluiu que o impacto da resolução sobre o desmatamento foi significante nos municípios cuja principal atividade econômica era a produção pecuária, sugerindo que os pecuaristas são restritos a crédito e respondem mais a mudanças na disponibilidade de crédito subsidiado.

Hoje o Brasil conta com duas redes de atores dessas duas cadeias – Grupo de Trabalho da Pecuária Sustentável (GTPS) e Mesa Redonda da Soja Sustentável (RTRS, da sigla em inglês) – que assumiram compromissos de sustentabilidade e buscam de forma cooperativa implementar novos padrões de produção, distribuição e consumo sustentável e baixo intensivos em carbono, livre do desmatamento. Estas redes atuam nacionalmente, quando da construção de padrões e guias para nortear a atuação dos variados agentes (produtores, processadores, frigoríficos, setor de varejo, agentes financeiros, dentre outros) que estão envolvidos com a produção de carne e soja brasileiras. Simultaneamente agentes que compõem estas redes também atuam em territórios específicos, onde as fazendas e propriedades estão localizadas, vindo a relacionar-se e contribuir com compromissos e metas de políticas públicas estaduais, como a exemplo do Programa Produzir, Conservar e Incluir (PCI) do Mato Grosso. O PCI é um esforço jurisdicional para lançar o estado como modelo de produção sustentável que conserva e recupera a natureza, promovendo a inclusão social de agricultores familiares, sem comprometer ganhos de produtividade agrícola. O PCI tem como meta o fim do desmatamento ilegal no Mato Grosso até 2020, como uma série de outras voltadas para a recuperação vegetal, aumento da eficiência da produção agropecuária e florestal, etc.[9]

Notas:

[1.] Segundo monitoramento realizado pelo Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), em abril de 2019, a maioria (71%) do desmatamento do bioma Amazônia ocorreu em áreas privadas ou sob diversos estágios de posse. O restante do desmatamento foi registrado em assentamentos (18%), Unidades de Conservação (10%) e Terras Indígenas (1%), Fonseca et. al, 2019.

[2.] O Fundo Amazônia capta doações para investimentos não reembolsáveis em ações de prevenção, monitoramento e combate ao desmatamento, e de promoção da conservação e do uso sustentável da Amazônia Legal, nos termos do Decreto Nº 6.527/2008. Já recebeu doações do governo da Noruega, Alemanha (KFW) e Petrobrás, totalizando R$ 3,39 bilhões. O montante das doações é condicionado ao reconhecimento da redução da taxa de desmatamento ilegal na Amazônia. A gestão do fundo é submetida a auditores independentes com *Relatórios de Auditoria de Cumprimento* periodicamente publicados no site do fundo.

São vários os resultados dos projetos apoiados pelo Fundo Amazônia nos campos de: Monitoramento e Controle Ambiental, Atividades Produtivas Sustentáveis, Gestão Territorial e, Ciência, Inovação e Instrumentos Econômicos. Segue alguns números somente para ilustrar os benefícios gerados até os dias de hoje: 746 mil imóveis rurais inscritos no Cadastro Ambiental Rural (CAR), 687 missões de fiscalização ambiental efetuadas, 338 instituições apoiadas diretamente e por meio de parceiros para fomento à atividades produtivas sustentáveis, R$ 142 milhões em receitas obtidas com a comercialização de produtos, 162 mil pessoas beneficiadas com atividades produtivas sustentáveis, 190 Unidades de Conservação apoiadas, 368 pesquisadores e técnicos envolvidos em atividades de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) com foco na Amazônia (http://www.fundoamazonia.gov.br/pt/home/). Em relação ao Fundo Verde para o Clima, o Brasil recebeu recursos da ordem de US$ 96 milhões de dólares pelo reconhecimento dos seus esforços de redução do desmatamento alcançados no período de 2014 a 2015.

3. O Observatório do Clima alerta, com base em dados do Instituto Chico Mendes, sobre a existência do que ele considera um apagão da gestão ambiental do atual governo. O número de multas aplicadas pelo Ibama por desmatamento em 2019 é o mais baixo para esse período em pelo menos 11 anos. Já o Instituto Chico Mendes realizou zero operação de fiscalização na Amazônia no mês de abril de 2019. Esta realidade levou o Tribunal de Contas da União a lançar um pedido de investigação da atual gestão ambiental do país, considerando o seu baixo desempenho em relação ao combate ao desmatamento ilegal (OC, 2019).

4. Por exemplo, como em *Carne ao Molho Madeira*, do Greenpeace, que avaliou e denunciou como as sete maiores redes de varejo do Brasil lidavam com o problema de fornecimento de carne proveniente de áreas com desmatamento. A reação do setor foi assumir compromissos de sustentabilidade em suas cadeias de valor, criando sistemas de ratreabilidade da carne que é disponibilizada na prateleira dos supermercados, de forma a garantir que são livres do desmatamento ilegal e não provém de áreas de Unidades de Conservação e Terras Indígenas e/ou que promovem trabalho escravo nas propriedades rurais.

5. Os Termos de Ajustamento de Conduta, conhecidos por TACs da Pecuária, foram assinados entre o Ministério Público Federal e os frigoríficos. Com isso, frigoríficos passaram a exigir dos pecuaristas que lhe vendem o gado (fornecedores diretos) uma série de critérios socioambientais, como que a sua produção esteja livre do desmatamento. A Moratória da Soja na Amazônia é resultado de uma pactuação conjunta entre a sociedade civil, governo, setor privado e produtores de soja, provando que é possível desenvolver sem precisar desmatar. Desde o início da moratória, a área cultivada com soja no bioma Amazônia aumentou quatro vezes, passando de 1,14 milhão de hectares, na safra 2006/07, para 4,48 milhões de hectares na safra 2016/17, o que corresponde a 13% do plantio nacional de soja. Por outro lado, menos de 2% da expansão dos plantios de soja se deu em áreas desmatadas na região após julho de 2008. De um total de 4,5 milhões de hectares plantados na safra 2016/2017, apenas 47.365 hectares não estão em conformidade com a moratória (ABIOVE, 2018).

6. A saber, importantes agentes econômicos do setor do agronegócio a nível mundial assumiram compromissos internacionais para livrar suas cadeias do desmatamento até 2020, incluindo as cadeias da soja e pecuária. Ver em Declaração de Florestas de Nova York e os assumidos pela rede *Consumers Good Forum,* em: https://forestdeclaration.org/ e https://www.theconsumergoodsforum.com/. Este último é uma rede formada por 400 membros de 70 países que juntos respondem por 3.5 trilhões de euros em vendas anuais.

7. A cria e engorda do bezerro é bastante capilarizada entre pequenos produtores rurais, o que impõe desafios para o monitoramento e controle do desmatamento pela atividade da pecuária. Ademais, os produtores desenvolvem sistemas de triangulação para "lavagem de gado", ou seja, o repasse do animal advindo de uma fazenda desmatada para uma fazenda regular.

8. MATOPIBA é considera a última fronteira agrícola do país e a produção de grãos e algodão avança em áreas do bioma Cerrado nesta localidade. A região engloba aproximadamente 730 mil Km^2, composta por 337 municípios dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Taxas oficiais de desmatamento publicadas pelo Ministério do Meio Ambiente foram altas em diversos municípios da região. Entre o período de 2013-2015, as dez maiores taxas de desmatamento em todo o Cerrado foram encontradas em MATOPIBA (Barbirato e Inakake de Souza, 2018).

9. http://pci.mt.gov.br/

2.2.2. Estado da Arte: Desmatamento e Emissões de Gases de Efeito Estufa do Setor Agropecuário

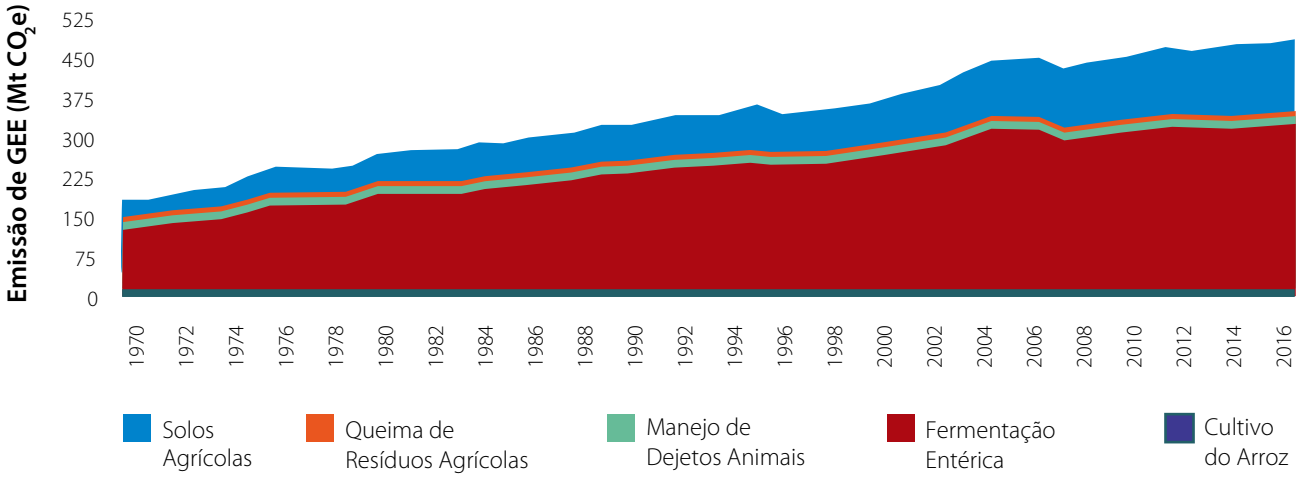
Conforme estimativas do SEEG (2018), as emissões diretas do setor agropecuário brasileiro cresceram cerca de 165% desde 1970 e 1,7% em relação a 2015, alcançando 499,3 $MtCO_2e$ em 2016. O relatório do SEEG destaca duas informações importantes que dão a dimensão do papel do setor agropecuário brasileiro para as emissões totais do país, e sobre o seu desempenho ambiental ao longo do tempo. Primeiramente, tem-se que a taxa média de crescimento da produtividade agropecuária no Brasil foi de 3,6% ao ano entre 1975-2015 e 4,3% entre 2006-2010, levando a um aumento total de 4,1% na década de 2000, portanto, níveis bem inferiores ao que é observado em termos de crescimento das emissões de GEE do setor, revelando que o crescimento da produção agropecuária tem se baseado em práticas muito intensivas em carbono. Em segundo lugar, considerando que há outras emissões indiretas relacionadas ao setor[6], a produção agropecuária chega a ser responsável por quase 70% das emissões totais de GEE brasileiras. O Brasil ocupa o 3° lugar no ranking global das emissões decorrentes de atividades agropecuárias (WRI citado por SEEG, 2018).

Dentre os subsetores da agropecuária, a fermentação entérica do rebanho de ruminantes (predominantemente bovinos de corte) tem sido a maior causa das emissões de GEE do setor agropecuário brasileiro ao longo do tempo (**Figura 2.3**). Nota-se também que 86% das emissões do setor agropecuário são provenientes da produção animal e, deste valor, 79% são provenientes da bovinocultura de corte e leite (**Figura 2.4**). Portanto, é forte a contribuição do rebanho bovino para as emissões de GEE do setor agropecuário do Brasil. Graficamente este papel é observado na **Figura 2.5** a seguir, onde há uma correlação evidente entre as linhas verde e vermelha da figura.

Avanços tecnológicos em termos de intensificação da pecuária, que permitam aumento gradual da taxa média de lotação do gado, a redução paulatina da idade média de abate, a recuperação de pastagens e a expansão de sistemas de integração lavoura, pecuária e florestas (ILPF), do plantio direto na palha e de utilização de dejetos animais para a produção de biogás, junto as propriedades rurais, podem levar a pecuária brasileira a outro patamar de eficiência produtiva e competitividade, desassociando a produção de carne da derrubada da floresta e de elevados patamares de emissões de GEE. O setor agropecuário tem também o desafio de reduzir o consumo de fertilizantes nitrogenados sintéticos utilizados nas lavouras. Há oportunidades econômicas destes avanços, exploradas na próxima subseção deste capítulo, a seguir.

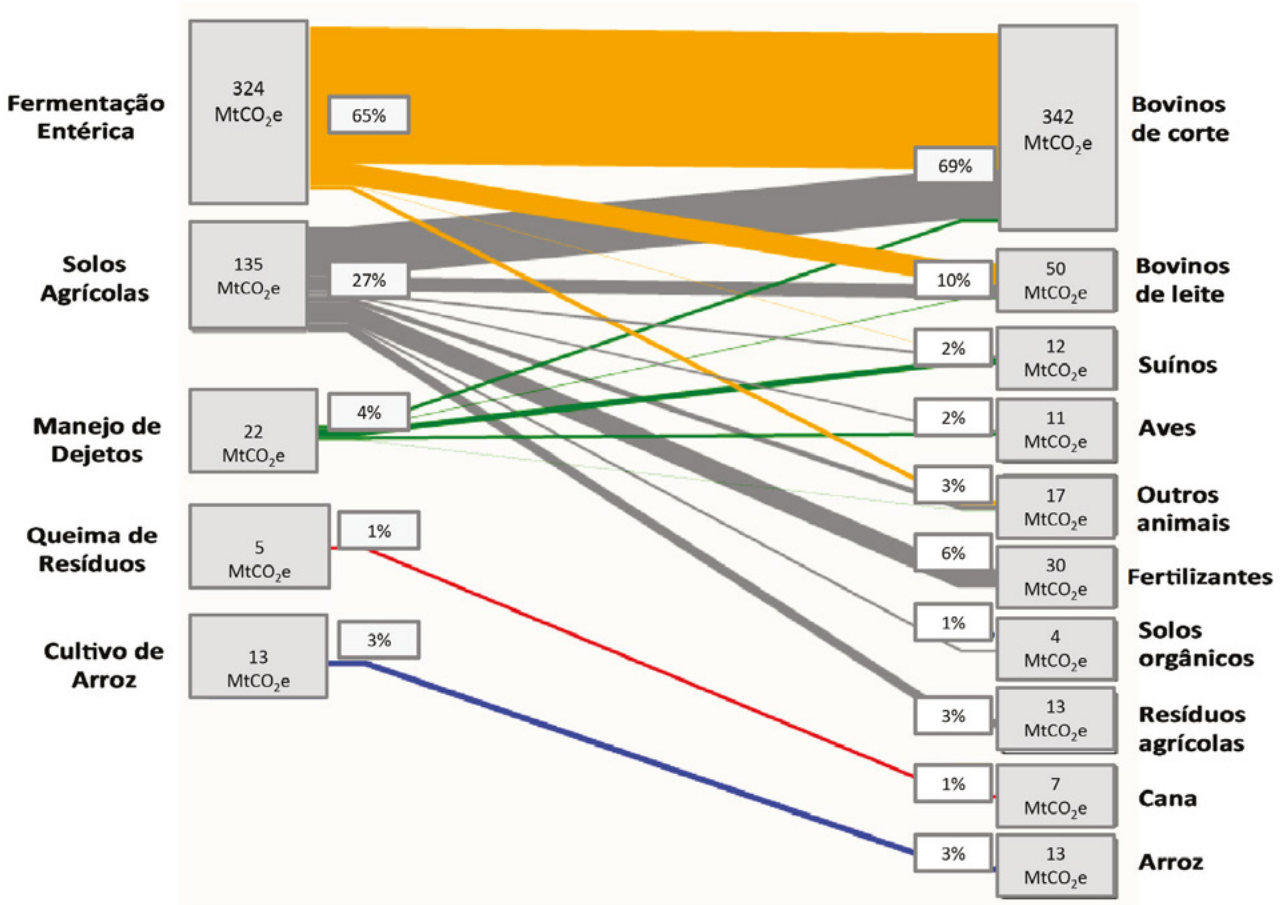
6 Há emissões que são relacionadas indiretamente com a produção agropecuária e que estão contabilizadas em outros setores devido à metodologia de contabilização das emissões do IPCC, sendo elas: emissões por desmatamento dos ecossistemas naturais para expansão agrícola e pecuária (setor de Mudança do Uso da Terra), emissões provenientes do uso de combustíveis fósseis na agropecuária (setor de Energia) e emissões resultantes do tratamento de efluentes industriais (setor de Resíduos).

Figura 2.3 – Emissões de CO_2e por Subsetores da Agropecuária Brasileira



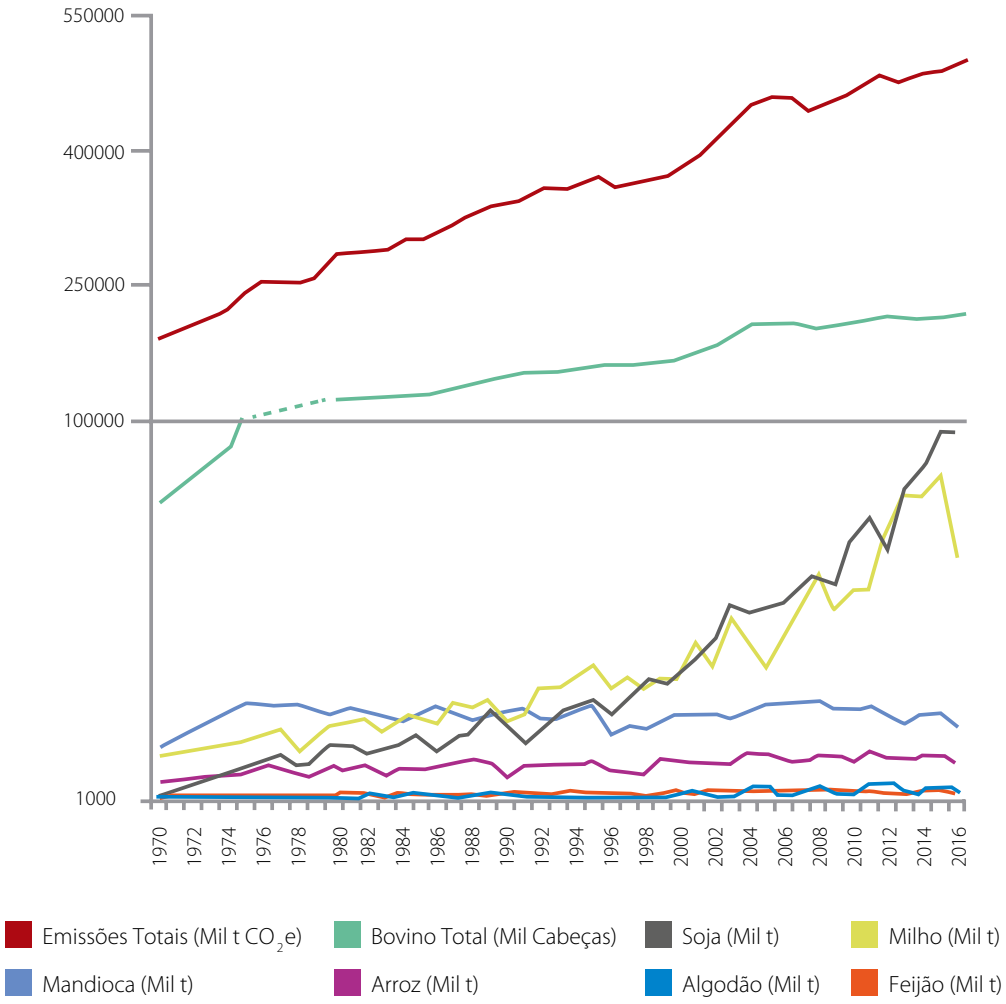
Fonte: SEEG (2018).

Figura 2.4 – Emissões da Agropecuária Brasileira por Subsetores e Fontes Emissoras em 2016



Fonte: SEEG (2018).

Figura 2.5 – Emissões Totais na Agropecuária e Evolução do Rebanho Bovino e das Principais Culturas Agrícolas entre 1970 e 2016 no Brasil



Fonte: SEEG (2018).

2.3. Descarbonização da Economia, Bem-Estar Social e Promoção de Benefícios Econômicos no Setor Florestal e Agrícola

O Brasil possui as maiores reservas de biodiversidade do planeta. No maior bioma do país, a Amazônia, crescem 2.500 espécies de árvores, ou um terço de toda a madeira tropical do mundo. Lá também estão presentes 30 mil espécies de plantas, dentre as 100 mil existentes da América do Sul. A Bacia Amazônica é a maior bacia hidrográfica do mundo. Sozinha ela cobre cerca de 6 milhões de km^2 e tem 1.100 afluentes. Os outros biomas brasileiros são igualmente ricos em termos de flora, fauna, recursos hídricos e outros naturais. O Cerrado, somente para citar mais alguns dados, é reconhecido como a savana mais rica do mundo, abrigando 11.627 espécies de plantas nativas já catalogadas e 13% das borboletas, 35% das abelhas e 23% dos cupins dos trópicos (MMA, 2019). Esta abundância natural, que precisa ser preservada, é estratégica para o desempenho produtivo do setor agropecuário brasileiro. Para tal é essencial a manutenção da floresta em pé, ecossistema de muitos seres vivos.

Em outras palavras, o meio ambiente natural tem o papel de prestar serviços naturais e ecossistêmicos que contribuem para a regulação das chuvas, a polinização das plantas, o controle biológico de pragas, dentre outros benefícios, que juntos afetam a quantidade e a qualidade da produção de alimentos brasileira. Ademais, serviços naturais e ecossistêmicos ajudam a construir sistemas agrários mais resilientes às mudanças climáticas globais, junto às fazendas, que precisam se adaptar à elevação da temperatura média, variações de pluviosidade e ao aumento da recorrência de eventos climáticos extremos, como secas e estiagens prolongadas, que elevam o risco de quebra das safras agrícolas no país.

Parte das emissões provenientes do setor florestal e agropecuário guarda relação com o desmatamento, associado à expansão (desnecessária) da fronteira agrícola para dar início à entrada da lavoura e do pasto sobre a mata derrubada. A boa notícia, considerando uma trajetória para redução das emissões do setor rumo à descarbonização da economia, é que há um universo significativo de opções tecnológicas atualmente mapeadas e que apóiam a promoção de boas práticas agrícolas de baixo carbono com valorização da floresta em pé – discutido na subseção 2.4 a seguir. Importante destacar que o Brasil tem oportunidade para vir a ser liderança na promoção de boas práticas agrícolas baixo intensivas em carbono.

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é uma criação brasileira que produz inúmeros benefícios ambientais e produtivos, incluindo a redução de GEE, e na qual o Brasil já tornou-se liderança mundial[7]. Os sistemas de Integração Lavoura, Pecuária

7 Uma cartilha produzida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) destaca uma lista de 21 benefícios do SPD, como a economia de combustíveis, a economia de tempo e mão-de-obra e a maior possibilidade de semeadura na época certa, dentre outros. Ver em:http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/sistema-plantio-direto.pdf

e Floresta (iLPF), tecnologia baixo intensiva em carbono disponível para o setor agropecuário, é outra oportunidade promissora para o Brasil.

Em 2012, foi criada a rede ILPF, uma parceria público-privada formada pela Embrapa, a cooperativa Cocamar e empresas do ramo agrícola[8]. A rede promove a manutenção de 107 Unidades de Referência Tecnológica distribuídas em todos os biomas brasileiros e que envolve a participação de 22 Unidades de Pesquisa da Embrapa. Dados mais atualizados para a Safra 2015/2016 estimaram que o Brasil já possui 11.4 milhões de hectares com presença de sistemas integrados de produção agropecuária. Destes, 18% e 13% estão concentrados nos estados do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, respectivamente, os mais representativos dentre o conjunto das Unidades da Federação e com marcantes taxas de desmatamento verificadas. A Embrapa Gado de Corte, localizada no Mato Grosso do Sul, aposta na expansão da tecnologia por meio do projeto Carne Carbono Neutro. O foco é garantir que os animais que deram origem a carne tiveram as emissões de metano compensadas durante o processo de produção, via crescimento de árvores no sistema. Além disso, as árvores, pela presença de sombra, geram ambientes termicamente mais confortáveis, promovendo o bem-estar animal, com ganhos de produtividade e diversificação produtiva[9]. A Empresa desenvolve sistema de certificação para este tipo de produção, que permita comunicar ao mercado os parâmetros de sustentabilidade, premiando quem preserva e recupera a natureza.

Apesar de ser um dos maiores produtores de carne do mundo, o setor pecuário brasileiro ainda atua com baixa eficiência produtiva. Portanto, há muito espaço para melhorar no desenvolvimento de uma produção aliada à valorização da floresta em pé, via ganhos de produtividade, sem comprometer a produção agrícola. O Anuário da Pecuária Brasileira 2018 revelou que a taxa de lotação em 2017 foi de 1,34 cabeça de gado por hectare (dos Santos, 2018). Também, dados da consultoria Athenagro e do Rally da Pecuária, em 2018, citados por Lima e Harfuch (2019), revelam que a degradação de pastagens gerou perdas equivalentes a R$ 7,23/arroba produzida, em função de gastos com reforma de pastagens em estágio avançado de degradação. Adicionalmente, R$ 5,74/arroba são perdidos pela perda de patrimônio decorrente da produção em áreas degradadas. Do total de 162,5 milhões de hectares de pastagens estimados pela consultoria, apenas 18,3 milhões de hectares são pastagens de alta qualidade e 38,3 milhões são pastagens que demandam pouco investimento para se tornar de alta qualidade. Mas, estima-se que 49,5 milhões de hectares necessitarão de recuperação nos próximos 12 a 36 meses e 8,4 milhões nos próximos 12 meses.

8 Para saber sobre as associadas da rede ver: https://www.embrapa.br/web/rede-ilpf/rede-ilpf

9 Para saber sobre um conjunto ampliado de benefícios e conhecer mais o projeto Carne Carbono Neutro ver: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1093170/50-perguntas--50-respostas-sobre-a-carne-carbono-neutro-ccn

Estudo do Observatório do ABC, do Centro de Estudos do Agronegócio da Fundação Getúlio Vargas, identificou que a reestruturação da produção agropecuária e do uso do solo, por meio de recuperação de pastagem, mais a adoção de iLPF, levam à maior produção. Mais especificamente, a adoção destas boas práticas agrícolas permite o aumento de 5% do rebanho bovino sem a necessidade de abertura de novas áreas. O alcance das metas do Plano ABC também proporcionaria o aumento da oferta de grãos (soja e milho), pela promoção de sistemas integrados em áreas degradadas, e com expansão da área florestal e de vegetação natural nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (Gurgel, 2017).

O mesmo estudo do Observatório do ABC constatou, por meio de modelagem econômico-ambiental, que a conversão de pastagens degradadas em pastagens de boa qualidade é capaz de reverter as emissões do sistema de produção de bovinos, de uma condição de positivas para negativas. Assim, o setor agropecuário tem o potencial para vir a ser um sumidouro de carbono, capaz de remover 20,5 milhões de tCO_2eq ao ano conforme for implementando o Plano ABC (Gurgel, 2017). Para uma discussão sobre incentivos econômicos e quanto custa esta transição, faz-se importante avançar numa avaliação para a eliminação de barreiras que levem a uma maior expansão e adesão do crédito ABC, que é voltado para financiar boas práticas agrícolas de baixo carbono. Soma-se ainda a necessidade de aprofundar discussões, avaliações e métodos para valoração dos serviços naturais e ecossistêmicos, que apóiem a criação de sistemas de pagamento por serviços ambientais. Estes podem vir a oferecer novas fontes de renda a serem exploradas por cadeias de produção do agronegócio (Gurgel e Laurenzana, 2016).

Outro benefício positivo da implementação da recuperação de pastagens e da iLPF é o aumento de eficiência no uso da terra, pois gera maior quantidade de produto por área (efeito poupa-terra). O modelo prevê em nível nacional, a recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens (Mha), combinada com 4 Mha em sistema iLPF, permitindo uma redução que varia de 2 mil ha a 1,4 Mha de áreas de cultivos vegetais. A área de pastagens de boa qualidade aumentaria entre 9,6 Mha e 10,9 Mha, o que significa que cerca de 4 Mha a 5 Mha de pastagens poderiam ser retirados da produção pecuária. Logo, esse "efeito poupa-terra" permitiria um aumento de no mínimo 4,8 Mha nas áreas de florestas e vegetação secundária não florestal, seja em área pública ou privada. A área de florestas plantadas e manejadas poderia crescer entre 410 mil ha e 550 mil ha (Gurgel, 2017).

Parcerias entre organizações não-governamentais e os produtores rurais também levaram à inovação produtiva, com melhorias para a qualidade ambiental da carne brasileira, somadas a ganhos de produtividade. A intensificação da pecuária via aumento do confinamento do gado, com a reforma e o manejo adequado das pastagens, explorados em projetos pilotos de sucesso inseridos nos municípios de Alta Floresta (MT) e São Félix do Xingu (PA), revelaram ser economicamente viável implementar novo modelo de produção pecuária na Amazônia baseado em boas práticas agrícolas. Programas como o *Novo Campo*, promovido pela organização

denominada Instituto Centro de Vida (ICV), e *"Carne Sustentável: do Campo à Mesa"*, promovido pela organização *The Nature Conservancy* (TNC) e parceiros, reuniram conhecimentos, técnicas e processos acumulados neste sentido[10]. O desafio agora é replicar e dar ganho de escala a estas experiências, abarcando toda a cadeia de carne no Brasil, especialmente na Amazônia. É importante para isso o apoio governamental de políticas de crédito rural que financiem a transição para práticas mais sustentáveis e de baixo carbono e, das políticas focadas na extensão rural, buscando reduzir a aversão ao risco e à novidade, característica muito comum ao produtor rural e que precisará se familiarizar com novas tecnologias de produção.

A saber, após dois anos de melhorias em práticas agropecuárias de propriedades beneficiadas pelo Programa Novo Campo e com elevada taxa de degradação de pastagens, o Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (Imaflora) avaliou que esse programa proporcionou um aumento da produção de carne em quase 2,5 vezes e reduziu as emissões de GEE em 20% por hectare de pastagem e em 60% por kg de carcaça produzida nas fazendas do programa (SEEG, 2018)[11].

No tocante ao setor agropecuário, outro desafio ambiental e produtivo, mas também uma oportunidade para empreender melhorias, é reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, responsáveis por 6% das emissões de GEE do setor (SEEG, 2018). Estes fertilizantes são prejudiciais ao meio ambiente, intensificando problemas como a degradação da qualidade do solo, a poluição das fontes de água e da atmosfera, e o aumento da resistência das lavouras à pragas e doenças. Em 1990, o consumo brasileiro era de 780 mil toneladas de adubo nitrogenado. Em 2016, o Brasil alcançou o patamar de 4,4 milhões de toneladas de consumo. O Brasil está em quarto lugar no ranking dos maiores consumidores de fertilizantes sintéticos do mundo (ANDA, 1991; 2001; 2016 e FAO-Stat citados por SEEG, 2018).

No âmbito florestal o Brasil também possui muitas vantagens e oportunidades que lhe permitem alavancar a bioeconomia. É neste sentido que começam a ser mapeadas experiências pilotos, e são construídas bases de dados em economia florestal, além de realizadas análises para identificar as barreiras que precisam ser superadas para que a economia florestal ganhe escala e importância no país.

A empresa de consultoria Agroicone, por exemplo, em parceria com o banco KfW e o Ministério Federal Alemão de Cooperação Econômica e do Desenvolvimento (BMZ) realizou estudo que teve como objetivo oferecer orientações aos interessados em financiar atividades de recuperação da vegetação nativa e para a adequação ambiental no Brasil. Assim, o estudo aponta planos de investimento e modelos de negócio para a recuperação florestal. É uma importante contribuição técnico-científica que permite entender quais são os investimentos e o montante neces-

10 Ver mais em: https://www.icv.org.br/programa-novo-campo-2/ e https://www.walmartbrasil.com.br/responsabilidade-corporativa/sustentabilidade/pecuaria-responsavel/projeto-sao-felix-do-xingu-por-uma-pecuaria-mais-sustentavel/

11 Uma discussão completa dos resultados positivos do programa sobre a produção de carne é encontrada em: https://www.icv.org.br/wp-content/uploads/2015/09/infografico-novo_campo-port.pdf

sários, e quais as melhores condições de oferta de crédito adequada, para promover a regularização ambiental exigida pelo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012)[12].

O projeto Verena, de Valorização Econômica do Reflorestamento com Espécies Nativas, é uma iniciativa do World Resources Institute (WRI Brasil) e parceiros. Faz parte do projeto o desenvolvimento de uma ferramenta de investimento, já existente, que ajuda a responder sobre a viabilidade econômica e financeira de modelos de negócios de reflorestamento com espécies arbóreas nativas e de sistemas agroflorestais. Em outras palavras, a ferramenta permite transformar investimentos com retornos ajustados ao risco em projetos comerciais de restauração e reflorestamento. Um modelo econômico avalia os retornos de qualquer tipo de ativos biológicos, tais como o reflorestamento com uma ou múltiplas espécies nativas, e/ou sistemas agroflorestais (SAFs), com diferentes combinações de espécies arbóreas e plantações permanentes e/ou anuais. Por meio desta ferramenta, doze modelos de negócios localizados na Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica já foram analisados[13].

Recentemente, o Brasil aprovou a Política Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa (PROVEG, Decreto Nº 8.972/2017). O principal instrumento de implementação da Proveg é o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg), que para ser efetivo precisa sair do papel com ações de: sensibilização e promoção da cadeia produtiva de recuperação florestal, desenvolvimento de mercados em todos os elos da cadeia, desenvolvimento de mecanismos financeiros, ações de extensão rural, de inovação e pesquisa, com foco espacial.

A redução das incertezas em torno da implementação concreta do Código Florestal é um elemento importante para alavancar a PROVEG. Esta redução dá suporte para o compromisso brasileiro de recuperação da vegetação nativa de pelo menos 12 milhões de hectares até 2030, principalmente em áreas de preservação permanente (APP) e reserva legal (RL). A recuperação pode também ser implementada em áreas agrícolas degradadas com baixa produtividade.

Portanto, a restauração florestal nesta magnitude tem o potencial de promover no Brasil importantes impactos para a conservação da biodiversidade e dos recursos hídricos, e para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas, podendo representar a formação de estoques de carbono estimados que chegam até 4,5 bilhões de toneladas de CO_2eq. Madeiras e diversos produtos não madeireiros podem ser aproveitados nas áreas de Reserva Legal, seguindo técnicas de manejo sustentável. Assim, as florestas podem virar oportunidades de negócios, com geração de emprego e renda.

12 http://www.agroicone.com.br/$res/arquivos/pdf/180316123813_Agroicone-12%20em%2012-KfW-2017.pdf

13 http://www.projetoverena.org/index.php/pt-br/

Inovação e pesquisa são elementos que precisam caminhar juntos para um melhor aproveitamento da enorme biodiversidade e riqueza natural presentes na Amazônia e em outros biomas. Faz-se necessário fixar mentes e pesquisadores nesta região, com conhecimento aplicado à realidade de cada ecossistema, e intensificar o aporte de altas tecnologias sobre os ativos biológicos e biomiméticos da rica biodiversidade brasileira. O alcance que se obteve recentemente na Amazônia com a economia do açaí é um caso clássico que ilustra esta necessidade e realidade. Após o aporte de investimentos e tecnologia, hoje a economia do açaí movimenta mais de 1,5 bilhão de dólares anuais na região, beneficiando mais de 250 mil produtores extrativistas locais (Fachin, 2018).

A indústria de cosméticos baseada em recursos da Amazônia é outra via econômica em expansão, mas que ainda pode ser melhor aproveitada. Todos, são exemplos de oportunidades de geração de trabalho e renda a partir de ativos florestais que promovem a melhoria da qualidade de vida de indígenas, povos e comunidades tradicionais da região[14].

14 O mercado brasileiro de cosméticos ocupa a terceira posição no ranking mundial. Pesquisa realizada em vinte empresas deste segmento localizadas em Manaus identificou que duas dezenas de espécies regionais representadas principalmente por subprodutos como óleos, extratos, resinas, essências e gorduras vegetais, estavam sendo aproveitadas como ingredientes na composição de cosméticos. As mais destacadas são: castanha-da-Amazônia, andiroba, açaí, cupuaçu, buriti, mulateiro e copaíba. Entre o período de 2002 a 2012, enquanto o número de empresas produtoras de cosméticos no estado de São Paulo passou de 460 para 978, no Amazonas, o crescimento foi de 6 para 15 (Herculano, 2013).

2.4. Opções Tecnológicas para a Descarbonização do Setor Agrícola e Florestal

Esta seção oferece insumos para a elaboração de uma estratégia brasileira de desenvolvimento de baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) no longo prazo, contribuindo para a sua definição, prevista para 2020, no âmbito da Convenção Global do Clima (UNFCCC, da sigla em inglês).

São apresentadas opções tecnológicas de mitigação para o setor Agrícola e Florestal extraídas de múltiplas referencias. Primeiramente, dois documentos-chaves, "Brasil Carbono Zero em 2060" e "Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil". O primeiro é de autoria de equipe técnica do Centro Clima da COPPE/UFRJ, sob coordenação geral de Emilio La Rovere e o segundo é uma produção do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Estes dois documentos baseiam-se em modelagem de cenários, cujas premissas básicas e características gerais dos modelos foram discutidas no primeiro capítulo (Seção 1.4). De maneira didática é apresentado em sequência o cardápio de opções tecnológicas recomendado por cada estudo[15]. Este cardápio apóia a transição do Brasil rumo à descarbonização da economia no longo prazo, por tanto, em direção a um balanço de emissões líquidas zero. As recomendações são acompanhadas de breve detalhamento das premissas adotadas específicas ao setor Agrícola e Florestal. Recomenda-se que os documentos sejam consultados na íntegra, visto a seguir ser apresentada apenas uma síntese dos trabalhos.

Completa a análise as recomendações de políticas de mitigação para o setor agrícola e florestal debatidas no âmbito das reuniões promovidas pela Câmara Temática de Visão de Longo Prazo (CT LT) do FBMC[16]. Também o documento da Coalizão Brasil, Clima, Florestas e Agricultura, com visão 2030-2050 para o futuro das florestas e da agricultura no Brasil (Coalizão, 2018) foi consultado por se tratar de importante referência do setor[17]. Ainda, considerando que a descarbonização da economia brasileira envolve uma trajetória na implementação de políticas de mitigação para o seu alcance, começando já no curto prazo, as recomendações da

15 Os textos a seguir são um fichamento praticamente na íntegra de passagens dos referidos trabalhos. Há apenas edições marginais para tornar a leitura mais amigável, todavia, orientada para não comprometer o conteúdo das recomendações.

16 Conforme atas das reuniões disponíveis em: https://forumbrasilclima.org/documentos/

17 A Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura é um movimento multisetorial, composto por entidades que lideram o agronegócio no Brasil, as principais organizações civis da área de meio ambiente e clima, representantes do meio acadêmico, associações setoriais e companhias líderes nas áreas de madeira, cosméticos, siderurgia, papel e celulose, entre outras. Atualmente é composta por 194 membros. Ver lista em : http://www.coalizaobr.com.br/home/index.php/sobre-a-coalizao/quem-somos/participantes.
O referido documento é resultado de Fóruns de Diálogos promovidos pelos membros da Coalizão envolvendo a participação de mais de 130 organizações e 200 pessoas mobilizadas para a construção de uma visão de futuro para o setor.

Câmara Temática de Florestas, Biodiversidade, Agricultura e Pecuária do FBMC, que elaborou no passado recomendações para a implementação da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil foram consultadas[18].

2.4.1. Brasil Carbono Zero em 2060

As recomendações para o Setor Agrícola e Florestal deste documento são extraídas da subseção: Setor de Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (AFOLU).

A modelagem deste estudo nesta parte específica optou pela adoção em maior grau de medidas de mitigação contidas nas políticas climáticas brasileiras (Decreto 7.390/2010 e Plano de Agricultura de Baixo Carbono – Plano ABC) e nos compromissos governamentais previstos até 2030 (NAMAs[19] e NDC). Algumas medidas foram adotadas com flexibilização dos prazos para o seu cumprimento, em função do atraso já observado. Medidas adicionais como conservação florestal em áreas privadas desmatáveis legalmente e aumento de áreas protegidas foram também consideradas. Esta opção revela o papel estratégico que o setor agrícola e florestal possui para o alcance de balanço líquido zero de emissões de GEE no longo prazo. Este setor é o que possui maior potencial de mitigação de suas emissões brutas e sequestro de carbono, portanto, podendo vir a compensar as emissões de outros setores econômicos que ainda apresentarão tendência de crescimento, no longo prazo (resíduos, indústria, transportes, entre outros).

As principais hipóteses consideradas na modelagem para o setor conduziram às seguintes metas quantitativas e qualitativas:

- **Floresta Econômica:** plantio homogêneo de espécies de crescimento rápido (Eucalipto e Pinus) para fins comerciais. A área modelada é função da demanda por madeira para fins energéticos, para papel e celulose, e de taxas de crescimento dos segmentos de madeira industrializada (serrados e compensados), painéis de madeira e pellets. Além disso, incluiu-se uma área adicional para a produção destinada à exportação;

- **Sistema Silvipastoril:** sistema integrado de pecuária bovina e eucalipto. O sistema de integração simulado adota uma hipótese conservadora, não incluindo a lavoura (Plano ABC para 2020 em 2030 com taxa de crescimento anual estendida até 2060);

- **Restauração de Floresta Nativa:** objetivo de recompor o passivo florestal nos biomas Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pampas e Pantanal a partir de 2020: 21 milhões de hectares alcançados em 2060 (potencial estimado por Soares Filho, 2013);

18 Ver em: https://drive.google.com/file/d/1puFdkXpY3Ms8yyMPB7z2mIen7dDcFiha/view

19 Do inglês *Nattionaly Apropriated Mitigation Action*; ou seja, conjunto de medidas e ações para o setor visando o alcance de meta de redução voluntária de emissões de GEE assumida pelo Brasil conforme sua Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei Nº 12.187/2009).

- **Conservação Florestal em Áreas Privadas Desmatáveis:** considerou-se que, em 2060, toda a área demandada para a constituição de Cotas de Reserva Legal – CRA (4,7 Mha) seria atendida, conforme estimativa do estudo de Soares Filho et al., (2016) e Rajão et al., (2015);

- **Redução do Desmatamento:** na Amazônia, desmatamento (inclusive legal) chegaria a zero em 2060. No Cerrado a redução da taxa anual de desmatamento é de 97,5%, em relação ao período 1996-2005, ou seja a área anual desmatada seria de 39,2 mil ha, em 2060;

- **Incremento de Carbono em Unidade de Conservação e Terras Indígenas com incorporação de novas áreas a partir de 2030:** em 2060 chega-se a 72% da área de florestas públicas não destinadas no Brasil (51,8 Mha);

- **Sistema de Plantio Direto (SPD):** após 2020, considera-se que o SPD estará implantado em 100% da área adicional de soja, milho e arroz;

- **Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN):** adotada em 100% da área de soja e 30% das áreas de milho, arroz, feijão, trigo e cana de açúcar já a partir de 2020, mantendo-se assim até 2060;

- **Melhoria das Práticas Agropecuárias:**
  - Aumento paulatino da taxa média de lotação: de 1,22 para 2,5 cabeças/ha, em 2060 (em áreas recuperadas que atingem 60 Mha);
  - Redução paulatina da idade média de abate: de 37 para 27 meses, em 2060;

- **Tratamento de Dejetos de Suínos**: meta do Plano ABC para 2020 tem alcance dobrado em 2060.

Especificamente para o setor, a modelagem leva em consideração demandas futuras esperadas por produtos agropecuários (matéria-prima para biocombustíveis) e florestais (biomassa para fins industriais e energéticos), estimadas para os setores de oferta e demanda de energia (transporte, indústria, comercial/residencial e do próprio setor agropecuário)[20].

A partir destas hipóteses, o trabalho desenvolve níveis de aplicação ao longo do tempo das medidas de mitigação acima descritas e que foram incorporadas pelo modelo. São estimados os impactos das medidas sobre a redução das emissões e remoções de GEE do setor Agrícola e Florestal (**Tabela 2.2**). No período 2010-2060, as áreas ocupadas pela agricultura reduzem de 229,4 Mha para 188,4 Mha e as pelas pastagens de 171,7 Mha para 94,39 Mh. Estes resultados da modelagem refletem a situação esperada do modelo que é manter o crescimento da produção agropecuária no Brasil, através de ganhos de produtividade agrícola por hectare,

20 A saber, as medidas de mitigação adotadas nos setores de transporte, indústria e energia implicam em um aumento na demanda de biomassa florestal e de biodiesel e na redução do uso de etanol (pelo aumento da frota elétrica), sendo a essas hipóteses incorporadas as projeções do setor AFOLU, refletindo-se diretamente na ocupação das áreas com agricultura e florestas.

simultaneamente reduzindo a pressão sobre a fronteira agrícola e com valorização da manutenção da floresta em pé. Este cenário particularmente é mais forte na pecuária, capturado pelas estimativas do modelo, visto que o setor ainda possui bastante espaço para melhorar o seu desempenho. Tal situação contribui para a redução e a manutenção de desmatamento zero assumidas. Em suma, evidenciam que sem prejudicar a produção é possível desenvolver o setor agrícola brasileiro com taxas de crescimento permanentes, através do aumento de desempenho do setor, conforme foi discutido nas seções 2.2. e 2.3 deste capítulo.

Tabela 2.2 – Emissões Totais e dos Subsetores Agrícola e Florestal no Período 2010-2060 (Mt CO_2e)

AFOLU	2010*	2020	2030	2040	2050	2060
Emissões totais (Mt CO2e)	**828**	**598**	**342**	**92**	**-198**	**-516**
Agricultura	**139**	**124**	**122**	**135**	**142**	**144**
Pecuária	**333**	**371**	**379**	**379**	**370**	**356**
Uso da terra (Emissões líquidas)	**355**	**103**	**-158**	**-422**	**-711**	**-1.016**
Emissões brutas de MUT	**1.102**	**526**	**377**	**222**	**109**	**37**
Emissões brutas do desmatamento		**484**	**339**	**190**	**78**	**8**
Outras emissões brutas de MUT e uso de calcário		**42**	**38**	**33**	**30**	**29**
Remoções de MUT	**-747**	**-423**	**-535**	**-645**	**-819**	**-1.053**
Florestas econômicas não consorciadas (pellets não incluídos)			-33	-39	-49	-60
Florestas plantadas para pellets			-30	-23	-23	-30
Sistemas silvipastoris (IPF)		-13	-20	-29	-33	-32
Restauração de floresta nativa		-8	-32	-76	-171	-284
Conservação florestal em áreas privadas desmatáveis			-7	-17	-45	-115
Incremento de carbono em Unidades de Conservação e Terras Indígenas		-382	-382	-415	-448	-481
Recuperação de pastagem		-20	-31	-45	-51	-51

* Dados da III Comunicação Nacional. Devido às diferenças entre as fontes de emissões e remoções adotadas na Comunicação Nacional e neste estudo, as emissões brutas e as remoções de MUT não são detalhadas no ano de 2010. Fonte: Brasil Carbono Zero em 2060 (La Rovere, 2018). MUT = Mudança do Uso da Terra

A evolução das emissões guarda relação com o nível de aplicação das medidas de mitigação assumidas pelas hipóteses do trabalho para o setor. Observa-se que a partir de 2050, as emissões totais líquidas de AFOLU passam a ser negativas, sobretudo graças à redução das taxas de desmatamento e às medidas de mitigação voltadas para o aumento da remoção de carbono.

2.4.2. Opções de Mitigação de Emissões de GEE em Setores-Chave do Brasil

Este estudo, conforme detalhado na última seção do capítulo introdutório deste documento (rever seção 1.4), trabalha com três cenários: i) cenário de referência (REF) que considera constantes as metas de políticas públicas governamentais, assim como planos oficiais de expansão setorial; ii) cenários de baixo carbono que abrangem a aplicação das melhores tecnologias disponíveis para a redução das emissões de GEE do setor, considerando diferentes níveis de emissões de carbono até 2050, porém sem taxação de carbono (BC0); iii) cenários considerando a aplicação de taxação de carbono da ordem de 10, 25, 50 e 100 dólares por tonelada de dióxido de carbono equivalente (US$/t$CO_2$e), identificados por BC10, BC25, BC50, BC100[21].

Para o setor de AFOLU, entre 2020 e 2050, foi projetado um crescimento de aproximadamente 10% das emissões de GEE no cenário REF. Destaca-se que este aumento esperado já é menos acentuado em razão de ser assumida a continuidade da implementação de ações de redução de emissões decorrentes do Plano ABC e dos planos de combate ao desmatamento para a Amazônia e o Cerrado (PPCDAm e PPCerrado). Todavia, aumentando-se o nível de ambição das políticas e das medidas para a redução das emissões do setor, os resultados podem ser ainda melhores, conforme discutido a seguir.

No cenário BC0, seria possível reduzir as emissões, em relação ao cenário REF, para o ano de 2050, em 13%. Com relação aos cenários com tributação de carbono, o potencial de mitigação nos cenários BC25 e BC100 é idêntico, qual seja de 20% no mesmo ano. Isso ocorre porque todas as atividades de baixo carbono do setor são viabilizadas ao patamar de tributação de carbono de 25 US$/t$CO_2$e, ou seja, o potencial máximo de mitigação do setor seria atingido em patamar inferior de precificação de carbono vis-à-vis ao que é verificado para o setor energético. Assim, a discriminação de emissões e potenciais de mitigação das medidas adiante apresentada abrangerá exclusivamente os cenários REF, BC0 e BC25.

---

21 O estudo também trabalha com que ele chama de uma Rodada de Sensibilidade, na qual avalia-se o impacto de medidas específicas de mitigação que visam antecipar a transição para uma economia de baixo carbono no Brasil. Por razões de espaço e didática optou-se por não apresentar discussão das medidas e resultados desta rodada. Para quem possa interessar, sugere-se a consulta ao documento "Modelagem Integrada e Impactos Econômicos de Opções Setoriais de Baixo Carbono" – páginas 71 e 72 – produzido pelo MCTIC (2017), para uma discussão com foco no setor de mudança do uso da terra, florestas e agricultura.

O diferencial de emissões entre os cenários BC0 e BC25 é explicado por duas medidas-chave que demandam a precificação de 25 US$/t$CO_2$e, a intensificação da pecuária e a redução do desmatamento.

No cenário BC0, o setor reduz emissões de 3% a 13% entre 2020 e 2050. O potencial de mitigação máximo é atingido em 2050, de 117 MtCO_2e. A pecuária, medida em termos de fermentação entérica e manejo de dejetos, é o subsetor que mais contribui para reduzir as emissões, provocada pela expansão da estratégia de confinamento do rebanho.

Por sua vez, no cenário BC25, o segmento que apresenta maior redução potencial de abatimento de emissões é o de uso do solo, com 95 MtCO_2e em 2050 (38% a menos em relação ao cenário REF). Para a redução do desmatamento, duas medidas têm destaque, contribuindo para os resultados deste cenário: i) redução do desmatamento na Amazônia (90% em relação à média de 2002 a 2010); ii) aplicação de meta de redução de 40% no desmatamento dos biomas Caatinga e Pantanal e 58% no bioma Pampa. A maior fonte de remoção de CO_2 pela biomassa é a recomposição da vegetação nativa, que, no cenário BC25, proporciona 99 MtCO_2e em 2050. Quanto às emissões por mudanças no estoque de carbono no solo, destacam-se as remoções provocadas pela reforma de pastagens (solteira e em sistemas integrados), que, em média, tem potencial para vir a sequestrar 40 MtCO_2e no cenário.

Há emissões esperadas superiores nos cenários BC0 e BC25, com relação ao cenário REF, no caso de uso de fertilizantes sintéticos e vinhaça e para queima e decomposição de resíduos agrícolas, que são explicadas pelo aumento da produção de biocombustíveis, intensificação da recuperação de pastagens degradadas, expansão de florestas plantadas, e maior aproveitamento energético de resíduos agrícolas.

A **Tabela 2.3** a seguir resume o potencial de abatimento das principais medidas para a redução das emissões do setor, assumidas nos cenários de baixo carbono do modelo desenvolvido pelo estudo do MCTIC (2017).

Tabela 2.3 – Potencial de Abatimento das Principais Atividades para Redução das Emissões de GEE para o Setor Florestal e Agrícola nos Cenários de Baixo Carbono

Setor	Opções de Mitigação	Potencial de mitigação ($MtCO_2e$)[1]			
		2030		2050	
		BC0	BC25	BC0	BC25
Agricultura	Expansão do plantio direto para 90% da área de cultivo de soja, milho, arroz, algodão, feijão e trigo até 2050[2].	2,1	2,1	0,5	0,5
Agricultura	Incremento de 200 mil hectares/ano, no período de 2021 a 2050, nos sistemas integrados[3].	0,5	0,5	1,2	1,2
Agricultura	Expansão do uso de inoculantes para promover a fertilização biológica do nitrogênio (FBN), atingindo cerca de 47 milhões de hectares em 2050[4].	0,4	0,4	0,7	0,7
Pecuária	Intensificação da pecuária, por meio da expansão do confinamento da pecuária bovina de corte, que atingiria 19 milhões de cabeças em 2050[5].	NA[9]	47,6	100,4	100,4
Pecuária	Intensificação da pecuária, por aumento da recuperação da pastagem degradada, que totalizaria 74 milhões de hectares em 2050[6].	NA[9]	7,4	NA[9]	12,3
Mudança do Uso do Solo	Redução do desmatamento na Amazônia (90% em relação à média histórica) e aplicação de meta de redução de 40% no desmatamento dos biomas Caatinga e Pantanal e 58% no bioma Pampa.	NA[9]	47,7	NA[9]	29,4
Mudança do Uso do Solo	Expansão do cultivo de florestas comerciais, que totalizariam 14 milhões de hectares em 2050[7].	23,6	23,6	8,7[11]	8,7[11]
Mudança do Uso do Solo	Ampliação da recomposição de vegetação nativa para 21 milhões de hectares até 2050[8].	NA[9]	9,5	NA[9]	25,5
Emissões/remoções indiretas provenientes de atividades de baixo carbono de outros setores[10].		-1,7	7,0	5,7	4,8
Total		**24,9**	**145,8**	**117,2**	**183,5**

[1] O potencial e as opções de mitigação referem-se aos cenários BC0 e BC25 para os anos de 2030 e 2050, respectivamente.

[2] A área estimada com plantio direto em 2030 é de 34,1 milhões de hectares.

[3] A área agrícola dos sistemas integrados faz uso de plantio direto, e a área de pastagens é considerada bem manejada.

[4] A área estimada com FBN em 2030 é de 40 milhões de hectares.

[5] Confinamento de 10,5 milhões de cabeças em 2030.

[6] Recuperação de 33,2 milhões de hectares de pastagens degradadas em 2030.

[7] Cultivo de 10 milhões de hectares de florestas comerciais em 2030.

[8] Recomposição de 9,3 milhões de hectares de vegetação nativa em 2030.

[9] Medidas não aplicáveis ao cenário BC0 em função do custo de abatimento. A intensificação de pecuária pelo confinamento, dada a adoção em 2030, se viabiliza sem internalização de valor de carbono em 2050.

[10] Emissões e remoções indiretas de carbono advindas de atividades de baixo carbono de outros setores. É o caso do aproveitamento energético de resíduos agrícolas pelo setor de gestão de resíduos, reduzindo a sua queima, e da mudança no uso do solo de pastagens para cana-de-açúcar, tendo em vista a maior produção de etanol pelo setor energético, ambos nos cenários BC0 e BC25.

[11] A redução do potencial de mitigação nos cenários BC0 e BC25 em 2030, com relação a 2030, deriva da diferença da área plantada no ano (área a ser colhida em 7 anos) e da área colhida no ano. No caso, a floresta plantada colhida como medida de mitigação para substituição de biomassa nativa por renovável é menor em 2050.

As opções tecnológicas para o setor agrícola e florestal brasileiro recomendadas pelos estudos Brasil Carbono Zero e Opções de Mitigação em Setores-Chaves do Brasil vão de encontro e se complementam às recomendações propostas em documento sobre implementação da NDC brasileira no curto prazo, produzido pelo FBMC (2018), e com visão de longo prazo 2030-2050 para o setor, este último produzido pela Coalizão Brasil, Clima, Florestas e Agricultura (2018).

De forma sintética buscam o desenvolvimento de uma agropecuária e economia florestal moderna e competitiva, que promova o uso sustentável da terra no Brasil, pondo fim ao desmatamento, ao mesmo tempo que gera renda, riqueza e empregos para a economia brasileira. Para isso todos os documentos referidos prevêem a ampliação de ações de comando e controle no combate ao desmatamento, com preservação de áreas protegidas, promoção de políticas de estado à favor do desenvolvimento rural de baixo carbono, e oferta integrada de instrumentos econômicos e financeiros que favoreçam este tipo de desenvolvimento baixo intensivo. Neste sentido, a reorientação do Plano Safra para constituir-se em portfólio de crédito agrícola para financiar as tecnologias discutidas neste capítulo é condição mandatória referenciada nos documentos citados, fortalecendo a implementação do Plano ABC em todo o Brasil.

Apêndice

Sustentabilidade Ambiental e Dietas Alimentares

A preocupação com a sustentabilidade ambiental do planeta sob cenário esperado de cerca de 10 bilhões de bocas para alimentar em 2050, segundo projeções das Nações Unidas, tem suscitado discussões sobre padrões e dietas alimentares. A quantidade e qualidade de alimentos que as pessoas consomem contribuem para a sustentabilidade do planeta. Há preocupação com fato de que à medida que as nações se urbanizam e os cidadãos tornam-se mais ricos, as pessoas geralmente aumentam seu consumo calórico, com crescimento da participação em suas dietas de alimentos intensivos em recursos naturais, como carnes e laticínios. Como reflexo, o meio ambiente está sendo degradado para além da capacidade de carga e de renovação dos ecossistemas naturais do planeta, o que comprometerá a possibilidade de alimentar de forma sustentável e saudável a população mundial até 2050. A questão alimentar é assim importante desafio ambiental e de saúde na era do Antropoceno.

Em 2018, comissão internacional EAT-Lancet[1], lançou relatório intitulado *"A Alimentação no Antropoceno: dietas saudáveis de sistemas alimentares sustentáveis"*, no qual afirma que, tal qual configurados atualmente, os sistemas alimentares estão entre as principais causas das mudanças climáticas, do uso intensivo de água doce, da perda da biodiversidade, do aumento da erosão do solo e da acelerada extinção das espécies (Willett et all., 2019). Grave ameaça é aumento exponencial da produção global de carnes, que cresceu de 71 milhões de toneladas em 1961 para 318 milhões em 2014, e que para acompanhar tendência de aumento do consumo pode chegar a 455 milhões em 2050 (Swinburn et all., 2019).

Segundo este relatório, na prática há uma *sindemia global*, composta pela sinergia de três pandemias: obesidade, desnutrição e mudanças climáticas. Este contexto suscita a busca de soluções e mudanças no nosso padrão alimentar. Um estudo promovido no âmbito do World Resources Institute (WRI) segue esta linha, investigando alterações nos padrões de consumo e os impactos ambientais, sugerindo novas dietas alimentares.

O estudo do WRI calcula os impactos positivos esperados para o meio ambiente e usos da terra – redução de GEE emitidos pela agropecuária e preservação de pastagens e terras agrícolas – em decorrência de dietas alimentares que: i) reduzam consumo excessivo de calorias; ii) reduzam consumo excessivo de proteína, reduzindo consumo de alimentos de origem animal; iii) reduzam consumo de carne bovina especificamente. Em termos práticos são analisados impactos positivos de três grupos de dietas, totalizando combinação de oito opções, sugeridas para diminuir efeito negativo da produção de alimentos sobre recursos naturais e ecossis-

1 https://eatforum.org/eat-lancet-commission/

têmicos do planeta[2]. Estes cenários de mudança de dietas têm potencial mundial para afetar de 400 milhões até 2 bilhões de pessoas, dependendo da escolha de dieta realizada, com redução de 15% à 35% de gases de efeito estufa (GEE) e usos da terra por pessoa, quando se escolhe neste último caso combinação de redução ambiciosa de proteína animal com dieta vegetariana (Ranganathan et al, 2016).

O estudo do WRI recomenda que empresas e governos devam definir metas para consumo de proteína animal, principalmente carne bovina. Ademais, governos devem assegurar coerência entre políticas agrícolas, para gestão da água e ambientais com as relacionadas à promoção de dietas saudáveis.

Promover mudanças nas dietas alimentares é uma mudança disruptiva, especialmente para o Brasil que é grande produtor e consumidor de carne, mas é importante destacar que cresce no nível mundial, em meios acadêmicos e científicos, o seu reconhecimento enquanto orientação de política pública.

Considerando que o setor de mudança do uso da terra, florestas e agricultura possui grande potencial de redução de emissões para o Brasil, esperando-se dele contribuição significativa para o alcance de balanço líquido de emissões zero no longo prazo, discussões sobre alterações nas dietas alimentares precisam ser problematizadas por aqui também.

2 Grupo 1 de Mudança de Dieta sugerido: reduzir consumo total de calorias para 1.1) eliminar obesidade e reduzir pela metade quantidade de pessoas com sobrepeso e 1.2) reduzir pela metade quantidade de pessoas com obesidade e sobrepeso. Grupo 2 de Mudança de Dieta: reduzir consumo excessivo de proteína, reduzindo consumo de alimentos de origem animal para 2.1) redução ambiciosa do consumo de proteína animal em 17%, 2.2) aplicação da dieta Mediterrânea, 2.3) aplicação da dieta Vegetariana. Grupo 3 de Mudança de Dieta: reduzir consumo de carne para 3.1) redução ambiciosa do consumo de carne, 3.2) substituição da carne bovina pelo consumo de carne de porco e aves, 3.3) substituição da carne bovina por legumes.

Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira

Setor de Energia

ELETRIFICAÇÃO DE CARRO. PARIS (2017). FOTO DE JULIANA SPERANZA.

03

3.1. Introdução

O setor de Energia compreende principalmente as emissões de gases de efeito estufa (GEE) relativas às atividades de exploração e produção de energia primária e à transformação de energia, no transporte e distribuição dos energéticos, na queima de combustíveis ou como emissões fugitivas. **Este setor respondeu por 33% das emissões totais de GEE do Brasil em 2015, com emissões históricas crescentes ao longo do tempo,** observadas principalmente durante o período de 1990 à 2005, no qual a taxa de crescimento das emissões de gás carbônico (CO_2) foi de 71% no período **(Figura 3.1 e Tabela 3.1)**. **A principal fonte de emissão é a produção e consumo de petróleo e seus derivados, contribuindo com 70% do total das emissões brasileiras do setor de Energia** (**Figura 3.2**), segundo dados para 2016, do SEEG[1]. Dentro do setor de Energia, **o consumo de combustíveis em atividades de transportes de carga e de passageiros foi a principal fonte de emissão no setor em 2017**, correspondendo a 48% do total, seguido do consumo de combustíveis fósseis em atividades industriais, com 17%, das emissões oriundas da produção de combustíveis com 14%, e da geração de eletricidade, com 11% (Luis Ferreira et. al., 2018).

Assim, a análise deste capítulo foca nas emissões provenientes da geração de energia elétrica, queima oriunda do setor de transporte (de cargas e de passageiros), e na demanda final de energia pelos demais setores, considerando, primeiramente, a magnitude e o perfil de emissões, dentre outras características, destas atividades. Estas informações são discutidas na próxima subseção denominada *Estado da Arte*. A *posteriori,* é apresentada uma análise de opções tecnológicas para o setor de Energia, que sejam compatíveis com trajetória de desenvolvimento que leve à descarbonização da economia brasileira. Esta segunda análise está contida na subseção denominada *Cardápio de Opções Tecnológicas e de Políticas Públicas para a Descarbonização do Setor de Energia*. Todavia, há uma subseção anterior e intermediária e que discute para o Brasil os benefícios econômicos e de promoção de bem-estar social da descarbonização do setor de Energia.

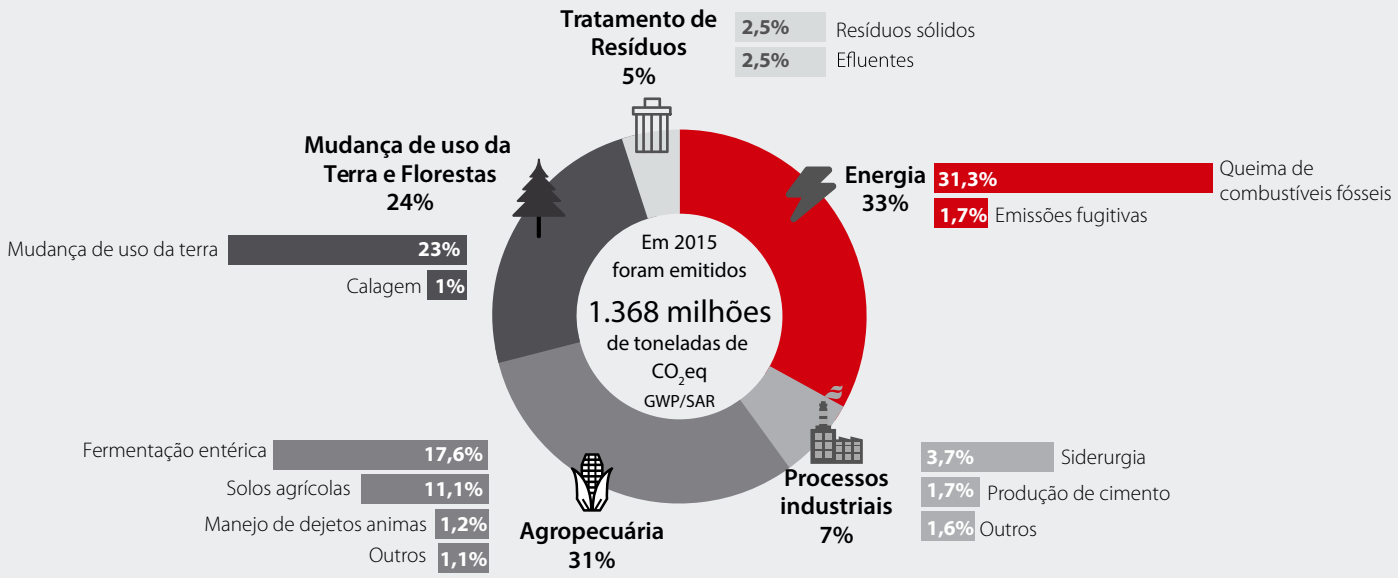
Para fins didáticos, considera-se que este capítulo é composto por análises relacionadas a três grandes categorias: i) Energia / Produção de Eletricidade; ii) Energia / Emissões do Transporte; iii) Energia / Consumo de Energia.

Segundo estudos recentes produzidos no Brasil, adiante referenciados, **o setor de Energia tem grande potencial de redução de emissões de GEE. Grande parte desse potencial se concentra no segmento de transportes, através de medidas de aumento da eficiência energética, e na substituição de combustíveis fósseis por combustíveis renováveis ou de baixo conteúdo de carbono**. Neste último caso, instrumentos como a precificação de carbono, conforme será debatido neste capítulo, tem sido um elemento já utilizado por vários países do globo para auxiliar a por fim ao uso de combustíveis fosseis nas suas

1 http://seeg.eco.br/

matrizes energéticas, especialmente no tocante ao setor de transportes. Os países associam à precificação o anúncio de compromissos e metas assumidos conectados à produção de veículos baseados em fonte limpa, por exemplo, eletrificação, abandonando o uso de combustíveis fósseis. A preocupação com a qualidade do ar e a saúde da população fortalece os argumentos a favor de banir o uso de combustíveis fósseis no transporte público e coletivo, e principalmente no transporte individual[2].

Figura 3.1 – Contribuição do Setor de Energia para as Emissões Totais de GEE do Brasil



Fonte: SIRENE, 2019

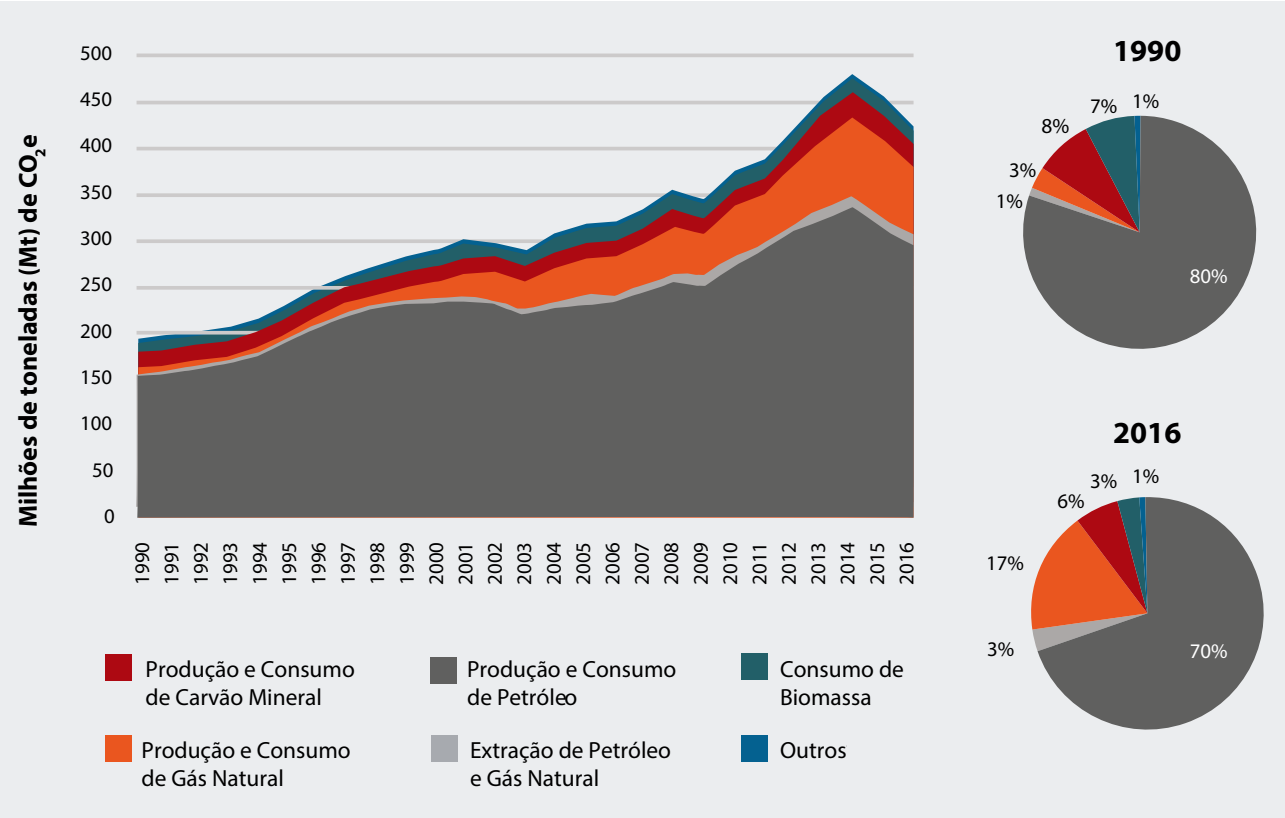
2 A saber, o Reino Unido anunciou, em 2017, que irá banir a venda de carros movidos a diesel e a gasolina até 2040. O Bundesrat, conselho federal alemão, votou pela proibição dos motores de combustão interna até 2030. Em 2020, a Alemanha quer que um milhão de carros elétricos já estejam circulando no país. Hamburgo, cidade alemã, está desenvolvendo uma "rede verde", ou seja, uma área sem carros, para que mais pessoas andem a pé ou de bicicletas. Em Berlim, capital alemã, houve o anúncio de plano de construção de doze estradas exclusivas para os ciclistas. Na Noruega, na capital Oslo, planeja-se tirar os carros até 2019 de sua região central. Copenhague, a capital da Dinamarca, é também conhecida como a capital verde, por ter se comprometido a tornar-se neutra em carbono até 2025. Madrid, na Espanha, planeja banir carros do seu centro até 2020, e o planejamento urbano inclui o redesenho das ruas mais ocupadas por carros para transformá-las em vias mais lentas, nas quais os pedestres e os ciclistas tenham prioridade. Na França, o governo demonstrou intenção de acabar com a venda de carros movidos a diesel e a gasolina no país em 2040, além de neutralizar as emissões de carbono dez anos depois (Pro Coletivo, 2017).

Tabela 3.1 – Evolução Histórica das Emissões de GEE do Setor de Energia

SETOR	Ano	Unidade	CO_2	CH_4	N_2O	HFC – 23	HFC – 32	HFC – 125	HFC – 134a	HFC – 143a	HFC – 152a	CF_4	C_2F_6	SF_6	NO_x	CO	NMVOC
Energia	1990	Gg	169.985	545,8	14,08										1.639,8	9.592,6	1.167,5
	1995		209.124	473,6	15,03										1.977,5	9.636,3	1.104,8
	2000		267.646	511,8	18,99										2.273,3	8.181,0	987,4
	2005		290.621	684,8	24,96										2.346,4	8.194,7	1.061,5
	2010		347.974	629,1	31,97										2.567,1	7.695,9	900,5
	Var. 90/05	%	71	25	77										43	-15	-9
	Var. 05/10		20	-8	28										9	-6	-15

Fonte: MCTIC, 2016. *Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.*

Figura 3.2 – Evolução Histórica das Emissões de GEE do Setor de Energia por Fontes Primárias



Fonte: Luis Ferreira et.al., 2018.

O que se pretende com este capítulo é convidar a sociedade brasileira, especialistas, atores do setor privado, representantes do setor público, organizações não-governamentais e Academia, para uma reflexão, discussão e tomada de decisão em torno de caminho de descarbonização da economia e que deve ser trilhado pelo Brasil. Uma primeira reflexão em torno do Setor de Energia é feita a seguir, baseada na Ciência e em dados amplamente reconhecidos como de qualidade técnica, referência e confiabilidade, a fim de promover uma discussão pública sobre a descarbonização do setor.

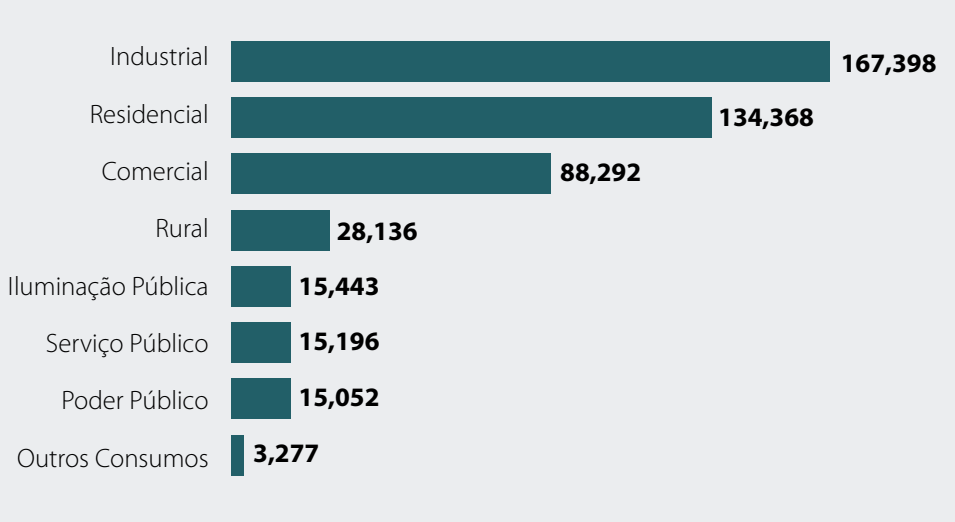
3.2. Panorama da Situação da Produção e Consumo de Eletricidade e dos Transportes

Um diagnóstico acerca de características básicas do subsetor de transporte e em relação à produção e consumo de energia, ajuda a explicar o padrão de emissões de GEE do setor Energia como um todo. Em outras palavras, comparar, por exemplo, a intensidade no uso de transporte individual vis-à-vis o uso de transporte público (ônibus, trem ou metrô) e/ou entender o quão limpa ou não é a produção de eletricidade no Brasil, são informações que justificam a magnitude e o perfil de emissões do setor de Energia, já anteriormente apresentados. Também, nos remete à discussão do cenário de base que deverá ser modificado, em direção à redução das emissões do setor de Energia, rumo à descarbonização da economia.

3.2.1. Estado da Arte: Produção e Consumo de Eletricidade

Conforme mostram as **Figuras 3.3 à 3.5** do painel a seguir, o consumo de energia elétrica hoje é caracterizado por uma maior demanda do setor industrial, seguido pelos setores residencial e comercial, com um consumo de energia de respectivamente: 167.398 Gigawatt-hora (GWh); 134.368 GWh; 88.292 GWh. A região Sudeste, que concentra cerca de 34% da população brasileira e é grande centro produtor e empresarial do país, acaba sendo a maior consumidora de energia elétrica do Brasil. Considerando as Unidades da Federação, o estado de São Paulo se destaca no consumo de energia elétrica conforme revela o mapa representado na **Figura 3.5**, com consumo estadual de 129.607 GWh.

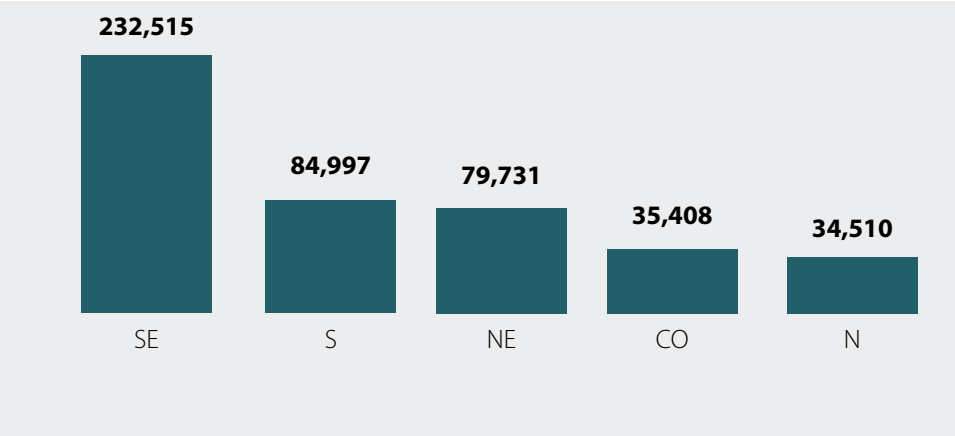
Figura 3.3 – Consumo de Energia Elétrica no Brasil por Classes de Consumo



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2019).

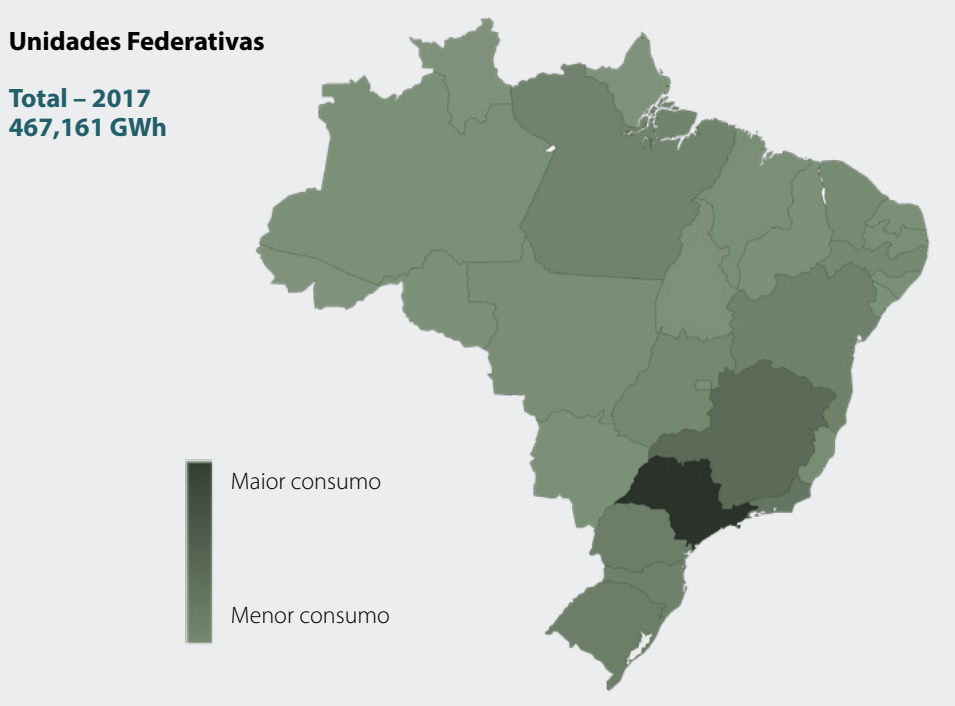
Nota: Medido em GWh.

Figura 3.4 – Consumo de Energia Elétrica no Brasil por Regiões Demográficas



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2019). Nota: Medido em GWh.

Figura 3.5 – Intensidade do Consumo de Energia Elétrica por Estados



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2019).

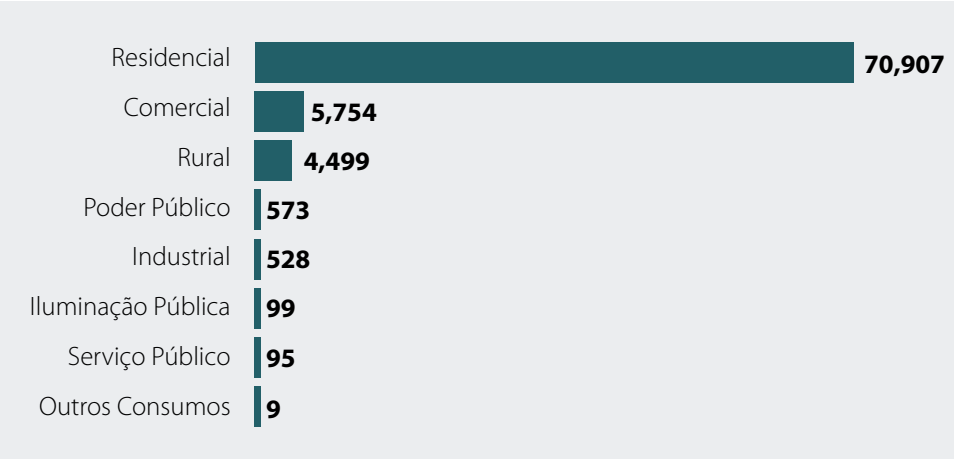
São Paulo é o estado que também concentra o maior número de consumidores de energia elétrica, 18,6 milhões de consumidores (**Figura 3.6**), em sua maior parte de origem residencial, que neste caso são 16,9 milhões (**Figura 3.7**). Com esta participação de São Paulo em termos de consumidores, por consequência, a região Sudeste é onde há o maior número de consumidores, 36,5 milhões, ou, cerca de 44% do total do país (**Figura 3.8**). Portanto, medidas de eficiência energética com foco nesta região podem ter grande impacto para a mitigação das emissões de GEE do setor de Energia no Brasil. No caso de São Paulo, o foco deve ser fundamentalmente na classe residencial. Podem ser incentivadas desde medidas sim-

ples de mudanças nos hábitos de consumo para ligar e desligar equipamentos eletrônicos, a outras mais complexas, como alterar o sistema de aquecimento da casa ou instalar isolamento térmico na cobertura e paredes das habitações. O tema de eficiência energética é uma das opções de mitigação para a descarbonização debatidas mais adiante, neste capítulo.

Figura 3.6 – Distribuição dos Consumidores de Energia Elétrica por Estados

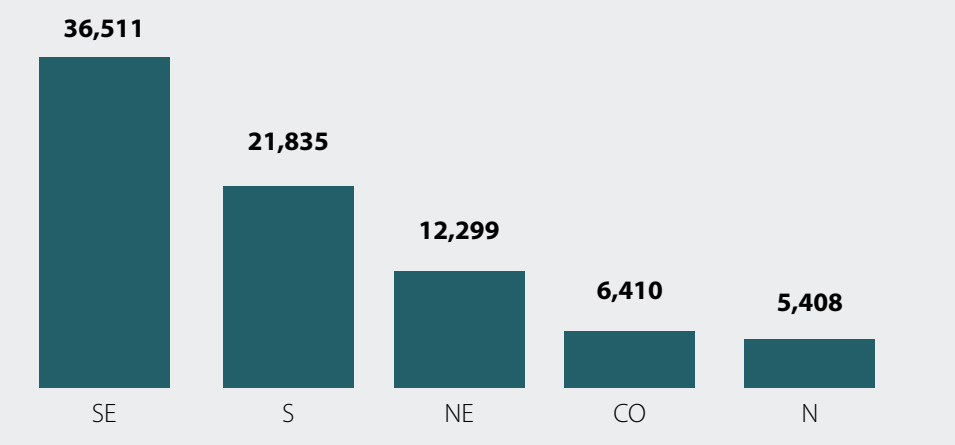
Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2019). Nota: Medido em milhares de consumidores

Figura 3.7 – Número de Consumidores no Brasil de Energia Elétrica por Classes de Consumo



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2019). Nota: Medido em milhares de consumidores

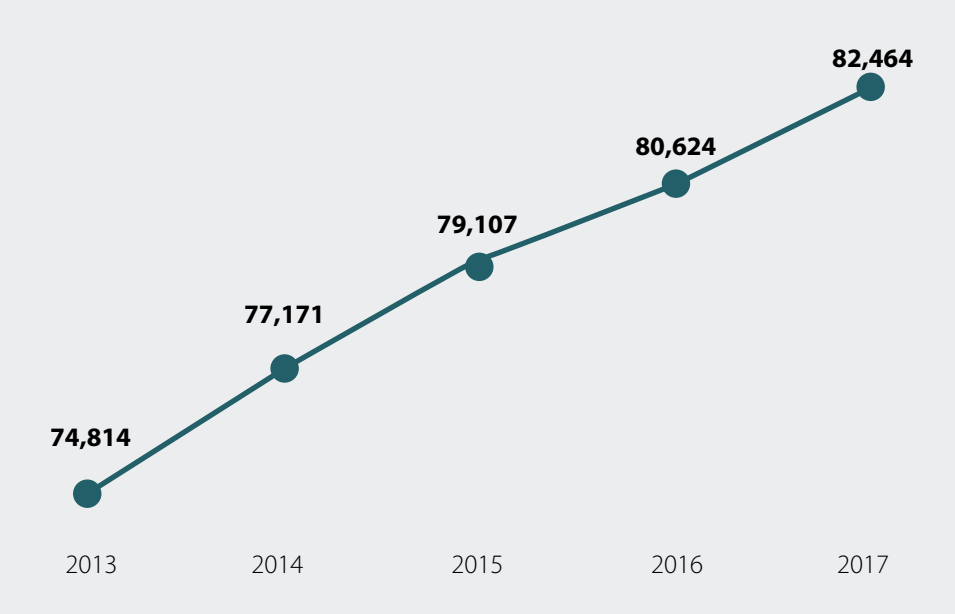
Figura 3.8 – Distribuição do Número de Consumidores de Energia Elétrica no Brasil por Regiões Demográficas



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2019). Nota: Medido em milhares de consumidores

Verifica-se que ao longo do tempo, o número de consumidores tem crescido, refletindo em parte o desenvolvimento econômico e a melhoria da qualidade de vida da população, com maior acesso à energia, o que requer mais uma vez discussões em torno de processos e mecanismos para aprimorar e intensificar medidas de eficiência energética no Brasil, em geral com alta relação custo-efetividade, ou seja, são baratas e com bons resultados para redução das emissões do setor (**Figura 3.9**).

Figura 3.9 – Evolução do Número de Consumidores de Energia Elétrica



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2019). Nota: Medido em milhares de consumidores

Completando a análise de indicadores chaves do setor de Energia, a **Tabela 3.2**, com foco na eletricidade, faz um balanço do consumo e produção de GWh, considerando categorias de atividades econômicas principais. Observa-se que o Brasil produz 587.962 GWh, dos quais 491.148 GWh, ou seja, 83,5% são produzidos em centrais elétricas de serviço público. Há perdas no sistema da ordem de 16,7% do total de energia elétrica que é produzida no Brasil. Os maiores consumos provêm do setor industrial e residencial, este último em menor importância relativa. No setor industrial, importantes consumidores são as atividades dos ramos de: alimentos e bebidas, não-ferrosos e outros da metalurgia, papel e celulose, química, em ordem de importância.

Tabela 3.2 – Balanço do Consumo e Produção de Eletricidade do Brasil

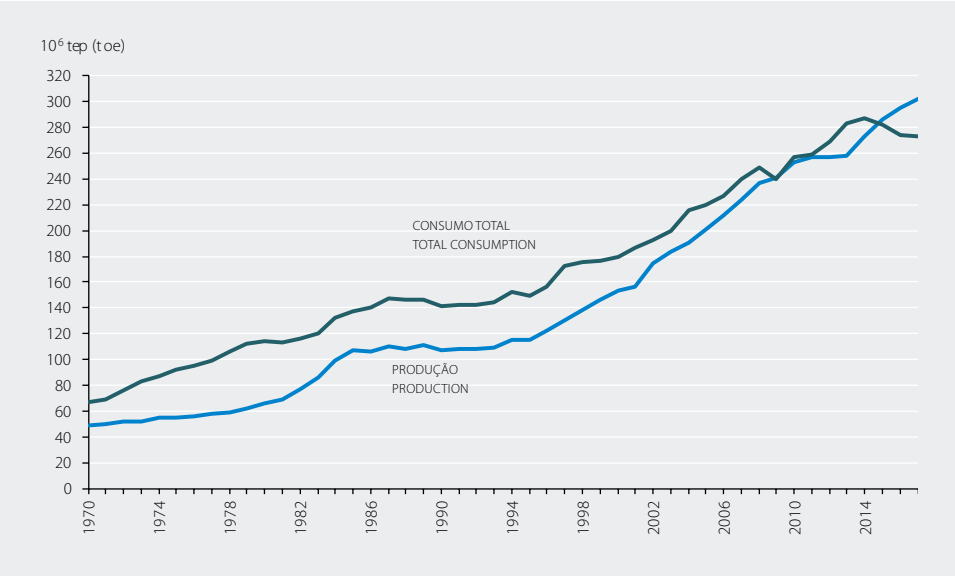
GWh

FLUXO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	*FLOW*
PRODUÇÃO	463.120	466.158	515.799	531.758	552.498	570.835	590.542	581.228	578.898	587.962	*PRODUCTION*
CENTRAIS ELÉTRICAS DE SERVIÇO PÚBLICO	412.012	409.150	442.803	454.726	474.470	484.673	496.510	484.922	480.361	491.148	*PUBLIC SERVICE POWER PLANTS*
AUTOPRODUTORES	51.107	57.008	72.995	77.033	78.028	86.162	94.032	96.306	98.538	96.815	*SELF PRODUCERS*
IMPORTAÇÃO	42.901	40.746	35.906	38.430	40.722	40.334	33.778	34.642	41.313	36.511	*IMPORT*
EXPORTAÇÃO	-689	-1.080	-1.257	-2.544	-467	0	-3	-219	-518	-156	*EXPORT*
PERDAS	-77.082	-79.795	-85.748	-86.676	-94.367	-94.995	-91.759	-91.067	-98.317	-98.083	*LOSSES*
CONSUMO TOTAL	428.250	426.029	464.699	480.968	498.386	516.174	532.559	524.583	521.376	526.234	*TOTAL CONSUMPTION*
CONSUMO FINAL	428.250	426.029	464.699	480.968	498.386	516.174	532.559	524.583	521.376	526.234	*FINAL CONSUMPTION*
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO	428.250	426.029	464.699	480.968	498.386	516.174	532.559	524.583	521.376	526.234	*FINAL ENERGY CONSUMPTION*
SETOR ENERGÉTICO	18.395	18.149	26.837	24.220	26.350	29.719	31.160	31.888	29.772	29.642	*ENERGY SECTOR*
RESIDENCIAL	95.585	100.638	107.215	111.971	117.646	124.896	132.302	131.032	132.895	133.976	*RESIDENTIAL*
COMERCIAL	62.495	65.981	69.718	74.056	79.797	84.397	90.640	91.444	88.906	90.198	*COMMERCIAL*
PÚBLICO	34.553	35.245	36.979	38.171	39.818	41.332	42.851	43.443	43.342	43.308	*PUBLIC*
AGROPECUÁRIO	18.397	17.684	18.938	21.460	23.268	23.786	26.581	26.790	28.242	28.736	*AGRICULTURE AND LIVESTOCK*
TRANSPORTES	1.607	1.591	1.662	1.700	1.885	1.884	1.979	2.055	2.007	2.055	*TRANSPORTATION*
FERROVIÁRIO	1.607	1.591	1.662	1.700	1.885	1.884	1.979	2.055	2.007	2.055	*RAILROADS*
INDUSTRIAL	197.218	186.740	203.350	209.390	209.622	210.159	207.046	197.931	196.213	198.319	*INDUSTRIAL*
CIMENTO	5.785	5.816	6.435	6.949	7.495	7.826	7.920	7.111	6.372	6.005	*CEMENT*
FERRO-GUSA E AÇO	18.622	14.898	18.755	19.933	19.717	19.671	19.441	18.714	17.264	18.652	*PIG-IRON AND STEEL*
FERRO-LIGAS	8.737	6.749	8.461	7.883	7.741	7.277	6.768	6.091	6.030	6.626	*IRON-ALLOYS*
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	11.274	8.230	11.300	11.946	11.753	11.842	12.292	12.742	11.821	12.497	*MINING/ PELLETIZATION*
NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	39.144	36.208	37.191	38.466	37.844	36.107	32.553	26.929	27.112	27.292	*NON-FERROUS/OTHER METALLURGICAL*
QUÍMICA	22.109	23.215	23.898	23.420	23.523	22.817	22.361	22.562	22.102	21.585	*CHEMICAL*
ALIMENTOS E BEBIDAS	23.080	23.542	26.964	27.234	28.177	27.400	27.035	26.081	26.913	27.483	*FOODS AND BEVERAGES*
TÊXTIL	7.813	7.735	8.308	8.225	7.496	7.384	7.236	6.512	6.250	6.514	*TEXTILES*
PAPEL E CELULOSE	17.764	18.297	19.020	19.077	19.023	19.594	20.711	21.684	22.708	23.243	*PAPER AND PULP*
CERÂMICA	3.469	3.504	3.714	3.973	4.172	4.422	4.378	3.940	3.743	3.743	*CERAMICS*
OUTROS	39.421	38.547	39.304	42.284	42.681	45.820	46.352	45.563	45.898	44.678	*OTHERS*

Fonte: Balanço Energético Nacional (EPE, 2018).

A **Figura 3.10** a seguir, completa a análise e apresenta um balanço entre o consumo e a produção de energia primária para o Brasil, ao longo do tempo.

Figura 3.10 – Balanço entre Produção e Consumo de Energia Primária



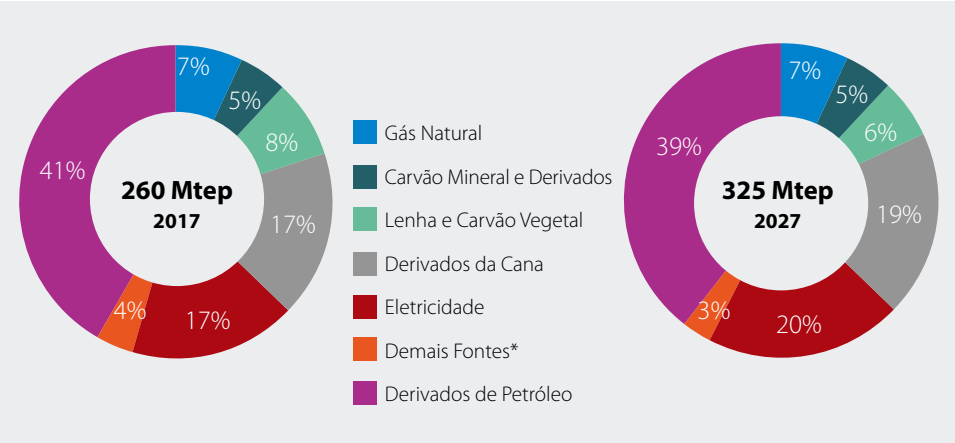
Fonte: Balanço Energético Nacional (EPE, 2018).

A geração de energia elétrica no Brasil é reconhecida pela grande utilização de fontes renováveis em sua matriz, especialmente a energia hidroelétrica, todavia, outras fontes limpas vêm ganhando espaço. Na última década verificou-se um rápido avanço da energia eólica no país, que é, atualmente, a segunda fonte com maior potência instalada (9%), tendo ultrapassado recentemente as usinas térmicas movidas a gás natural (8%). A capacidade instalada de energia solar fotovoltaica ainda é pequena no país (menos de 2%), mas vem crescendo rapidamente, tendo atualmente cerca de 2GW já autorizados pela ANEEL (ANEEL, 2019). É importante ressaltar também a potência instalada em usinas térmicas a biomassa, que representam, aproximadamente 8,5% do potencial instalado do país quando somadas as diferentes fontes, sendo as principais o bagaço de cana e o licor negro.

Em termos de capacidade instalada e de consumo final de energia por fonte, as **Figuras 3.11 e 3.12**, de maneira gráfica, ilustram e sintetizam parte do diagnóstico já anteriormente apresentado: a maior parte do consumo final de energia no Brasil provém dos derivados de petróleo, uma fonte suja, logo, emissora de gás carbônico (CO_2), e em relação à oferta de energia elétrica, nossa capacidade instalada é de 158 Gigawatts (GW), com importante participação da hidroeletricidade (60%). Não obstante, é importante destacar que esta fonte vem perdendo participação relativa no total da oferta de energia.

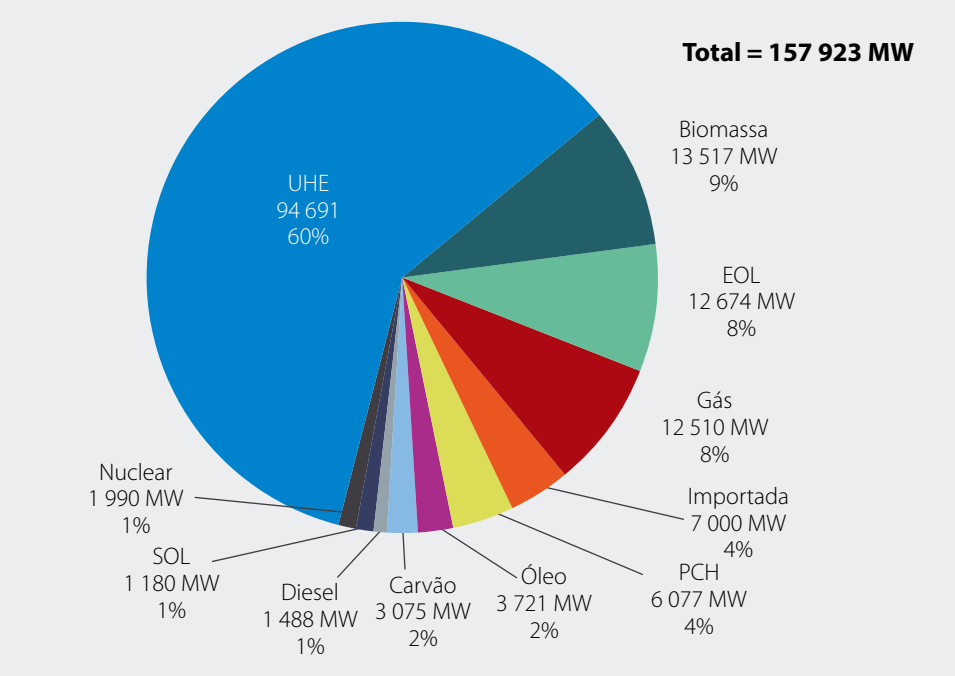
No Plano Decenal de Expansão de Energia (2020), somente para recorrer a plano publicado há tempos atrás, em 2011, a participação da hidroeletricidade no total da oferta de energia elétrica era de 71,7%. É bem verdade que esta perda de participação relativa tem a ver com a entrada de outras fontes limpas na matriz energética brasileira, porém, esta perda também é reflexo do fato de no período recente o Brasil, por razões diversas, ter restringido a construção de novas hidroelétricas com grandes reservatórios principalmente na Amazônia, associada, em menor grau, ao crescimento do uso de termoelétricas movidas a gás natural e carvão.

Figura 3.11 – Evolução do Consumo Final de Energia por Fonte



Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2027), MME/EPE, 2018.
*Inclui biodiesel, lixívia, outras renováveis e outras não renováveis.

Figura 3.12 – Capacidade Instalada em Maio de 2018



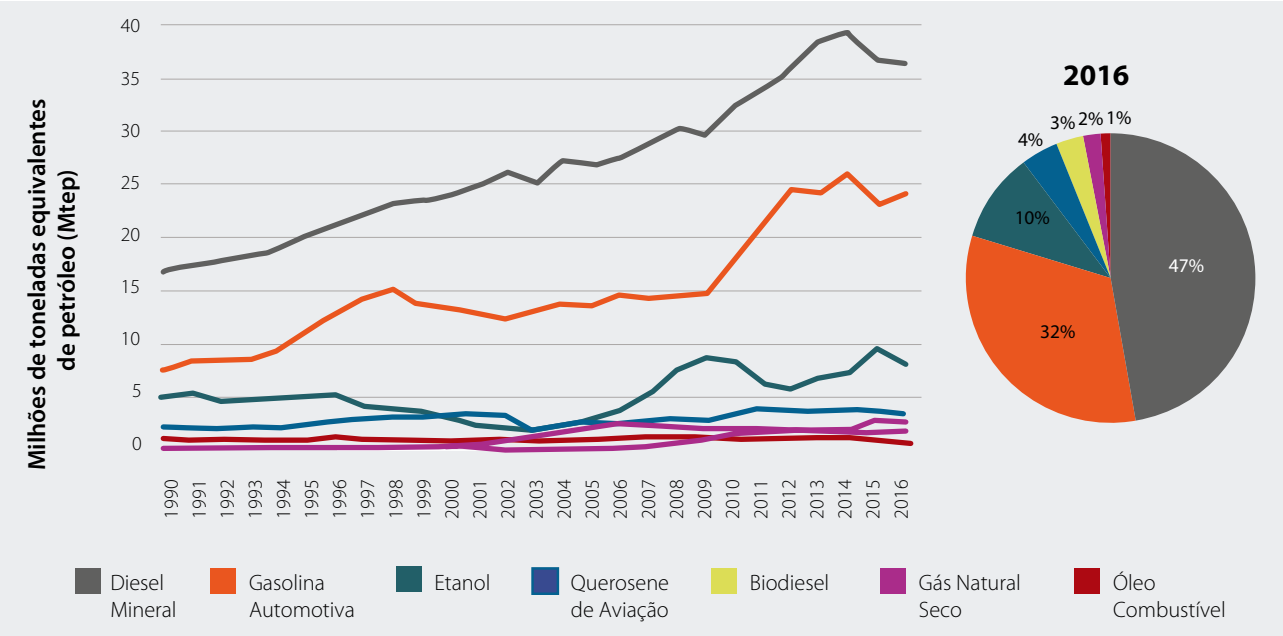
Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2027), MME/EPE, 2018.

Na **Figura 3.11**, o segundo gráfico de pizza apresenta o plano do governo federal, no caso da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) juntamente com o Ministério de Minas e Energia (MME), para o Brasil, em 2027. Observa-se que é esperada uma redução de apenas 2% no consumo de derivados de petróleo no período de 10 anos, compreendido entre 2017 e 2027. Soma-se ainda uma crítica que é recorrentemente feita ao Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), de que embora ele seja um instrumento de planejamento para orientar a tomada de decisão do governo federal em relação à contratação de energia e leilões, na prática ele baliza pouco as decisões do governo (Pires, 2014).

3.2.2. Estado da Arte: Emissões do Transporte de Cargas e Passageiros

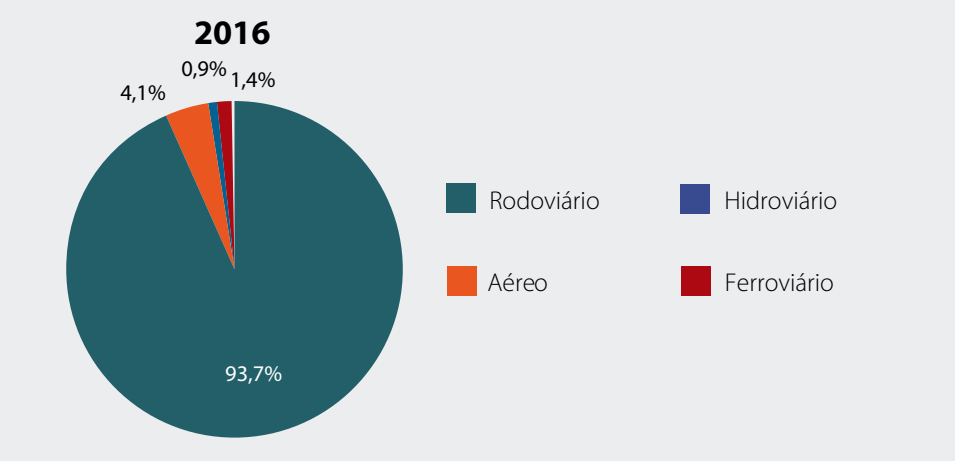
O setor de transporte, conforme visto, é o principal responsável pelas emissões de GEE do setor Energia, 48% do total (Luis Ferreira et. al., 2018). Opções de política pública para o transporte de cargas e passageiros, associada a escolha dos consumidores, impactados por tais políticas, no que diz respeito a mobilidade urbana e a logística de transporte para escoamento da produção de bens no Brasil, explicam a alta taxa de emissões de GEE do setor Energia. O diesel e a gasolina são os principais consumos energéticos do setor (**Figura 3.13**) e o transporte rodoviário é quase majoritariamente a opção de transporte de carga escolhida no país (**Figura 3.14**). Tal situação reflete uma alta dependência do petróleo.

Figura 3.13 – Evolução do Consumo de Energia do Setor de Transporte



Fonte: Luis Ferreira et. al., 2018

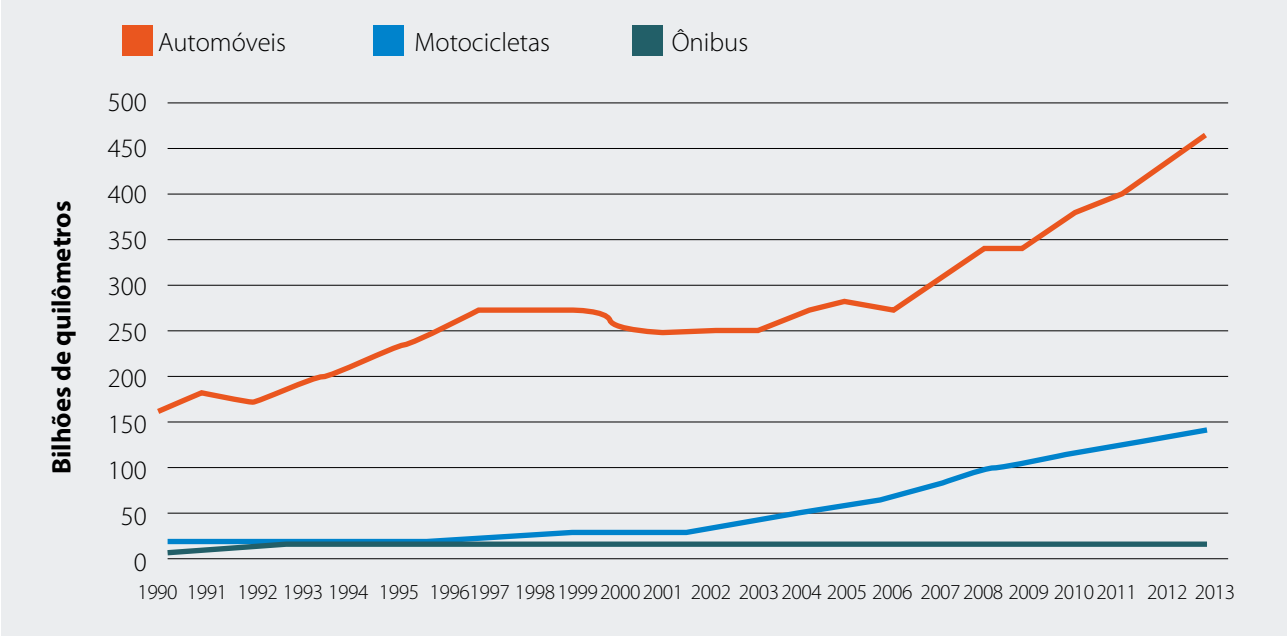
Figura 3.14 – Distribuição do Consumo de Energia do Transporte de Cargas



Fonte: Luis Ferreira et. al., 2018

Em relação ao transporte de passageiros, em 2016, 77% das emissões eram provenientes do transporte individual, e o restante, 23%, do transporte coletivo (Luis Ferreira et. al., 2018). A saber, entre o período 1994 e 2014, as emissões de GEE de carros e motos aumentaram 192% no Brasil, conforme pesquisa do Instituto de Energia e Meio Ambiente (Iema, 2015). A **Figura 3.15**, elaborada a partir de dados do Inventário Nacional de Emissões Antropométricas por Veículos Automotores Rodoviários, revela o papel crescente dos automóveis no deslocamento das pessoas e, por consequência, sua relevância como um dos principais vetores do crescimento permanente das emissões de GEE no subsetor de transporte de passageiros.

Figura 3.15 – Evolução do Uso da Frota de Veículos no Transporte de Passageiros

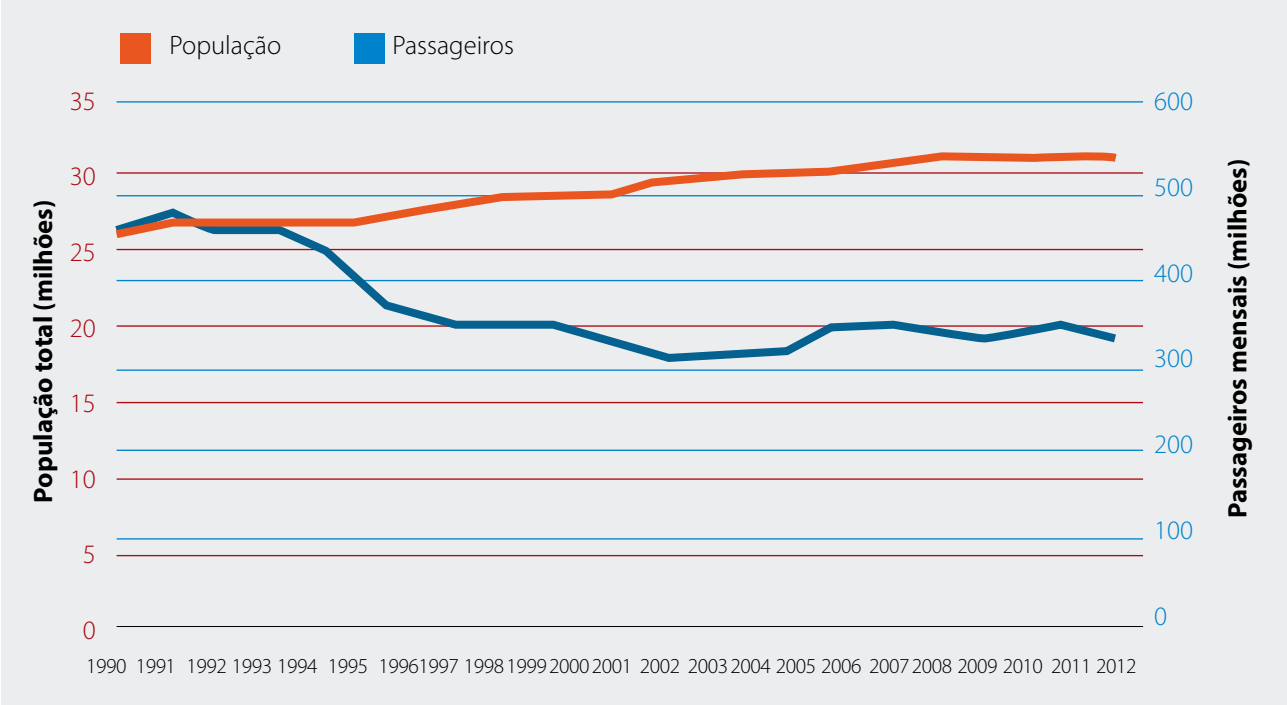


Fonte: IEMA, 2015. Elaborado a partir do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013, Ano-Base 2012 (MMA, 2014).

Desta mesma publicação do IEMA (2015), chama atenção outra figura construída. A **Figura 3.16** extraída deste documento revela que o crescimento populacional não se refletiu em aumento do número de passageiros transportados coletivamente, neste caso via ônibus. Em outras palavras, tomando-se como referência as cidades de Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Goiânia, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo, e comparando a evolução do número de passageiros transportados mensalmente por ônibus urbanos versus a evolução da população residente, constata-se que: enquanto a população apresentou crescimento de 18% entre 1994 e 2012, o número de passageiros transportados por ônibus reduziu-se em 24% no mesmo período.

Há uma tendência da população brasileira, principalmente ao ascender socialmente, de optar pelo transporte individual como forma de deslocamento, especialmente porque a qualidade do transporte público carece de aprimoramentos de forma que possa vir a se tornar uma opção mais desejada. Esta decisão individual tem impactos sobre o coletivo, como sobre a mobilidade urbana, qualidade do ar e gastos públicos com a saúde. Assim, a descarbonização do setor de transporte é uma opção com benefícios não apenas para a redução das emissões de GEE, como também para maior eficiência do gasto público e na promoção de bem-estar social e melhoria da qualidade de vida da população brasileira, conforme será debatido na próxima subseção.

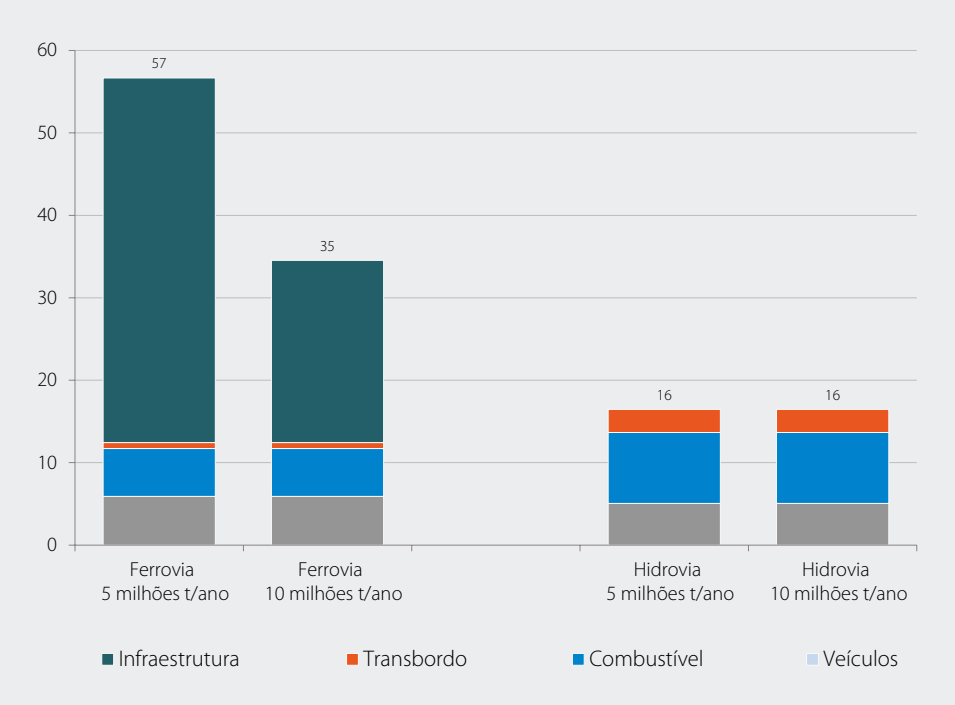
Figura 3.16 – Evolução da População Residente X Número de Passageiros Transportados por Ônibus em Capitais Selecionadas



Fonte: IEMA, 2015. A série população se refere à soma das populações de Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Goiânia, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo (Fonte: IBGE). A série passageiros se refere ao número de passageiros transportados no mês de abril no sistema de transporte público de ônibus nos mesmos municípios (Fonte: Anuário NTU, 2014).

Em relação ao transporte de carga, conforme já destacado, ele é majoritariamente rodoviário, constituindo-se numa opção pouco eficiente e ambientalmente inadequada. Estudo do IPEA (Pompermayer et. al, 2014), por exemplo, compara os custos e os benefícios entre o sistema hidroviário e outros. Para um volume de 5 milhões de toneladas anuais transportado, o custo total do transporte pela hidrovia pode variar entre R$ 20/tonelada à R$ 30/tonelada, contra R$ 57/tonelada na ferrovia. Para o dobro de volume, 10 milhões de toneladas num ano, a hidrovia é também competitiva, com custos entre R$ 18/tonelada à R$ 24/tonelada, contra R$ 35 tonelada na ferrovia (**Figura 3.17**).

Figura 3.17 – Comparação de Custos entre Ferrovia e Rio Navegável



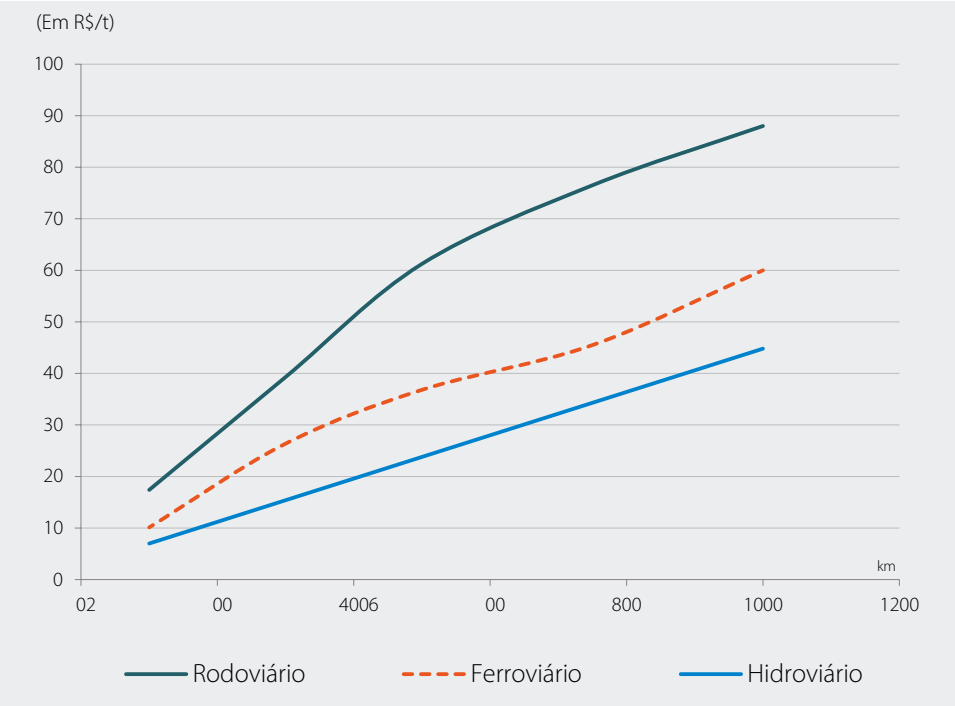
Fonte: elaboração dos autores (Pompermayer et. al, 2014) com base em Ipea (2010), Transpetro (2011), ANTAQ (2012a; 2013).

Os autores também alertam que a diferença de custo entre o transporte hidroviário, o ferroviário e o rodoviário é considerável. Isto é válido tanto em uma hidrovia com condições naturais favoráveis, onde apenas pequenas intervenções de dragagem sejam necessárias, quanto em hidrovias que demandem até a construção de eclusas. Ademais, como há uma clara vantagem do transportador hidroviário (privado) em relação às ferrovias e rodovias, por incorrer em custos bem mais baixos que o frete que consegue cobrar, parte dos custos com a implantação e manutenção das hidrovias poderia ser inclusive bancada por eles. Em outras palavras, a cobrança de alguma forma de pedágio pelo uso da hidrovia é possível, permitindo ao transportador hidroviário privado também obter lucro em sua operação (Pompermayer et. al, 2014:33).

O transporte hidroviário é uma opção importante a ser considerada no escoamento da produção agrícola brasileira para o exterior, principalmente de soja em grão e carne, que hoje é feita principalmente por meio de rodovias, até chegar a portos que levam a produção até os países importadores. As péssimas condições das estradas impactam na perda e desperdício de alimentos, que é alto e desperdiçado ao longo do percurso. Assim, transportar soja e carne por rodovias é um custo elevado para o produtor.

A saber, o custo logístico médio de escoamento da produção agrícola do Brasil é quatro vezes superior em relação a dois dos nossos principais concorrentes: Estados Unidos e Argentina. De Sorriso no Mato Grosso, passando por Santos (São Paulo) ou Paranaguá (Paraná), onde há importantes portos, até chegar à China, gasta-se US$ 130 por tonelada de grão. A navegação de cabotagem no Brasil, com potencial sete vezes maior que o transporte intercontinental, também precisa ser muito mais aproveitada (InfoMoney, 2017). A **Figura 3.18**, a seguir, compara os custos de fretes para transporte de granel sólido agrícola conforme os três modais de transporte.

Figura 3.18 – Custos de Fretes para Transporte de Granel Sólido Agrícola



Fonte: Pompermayer et. al, 2014

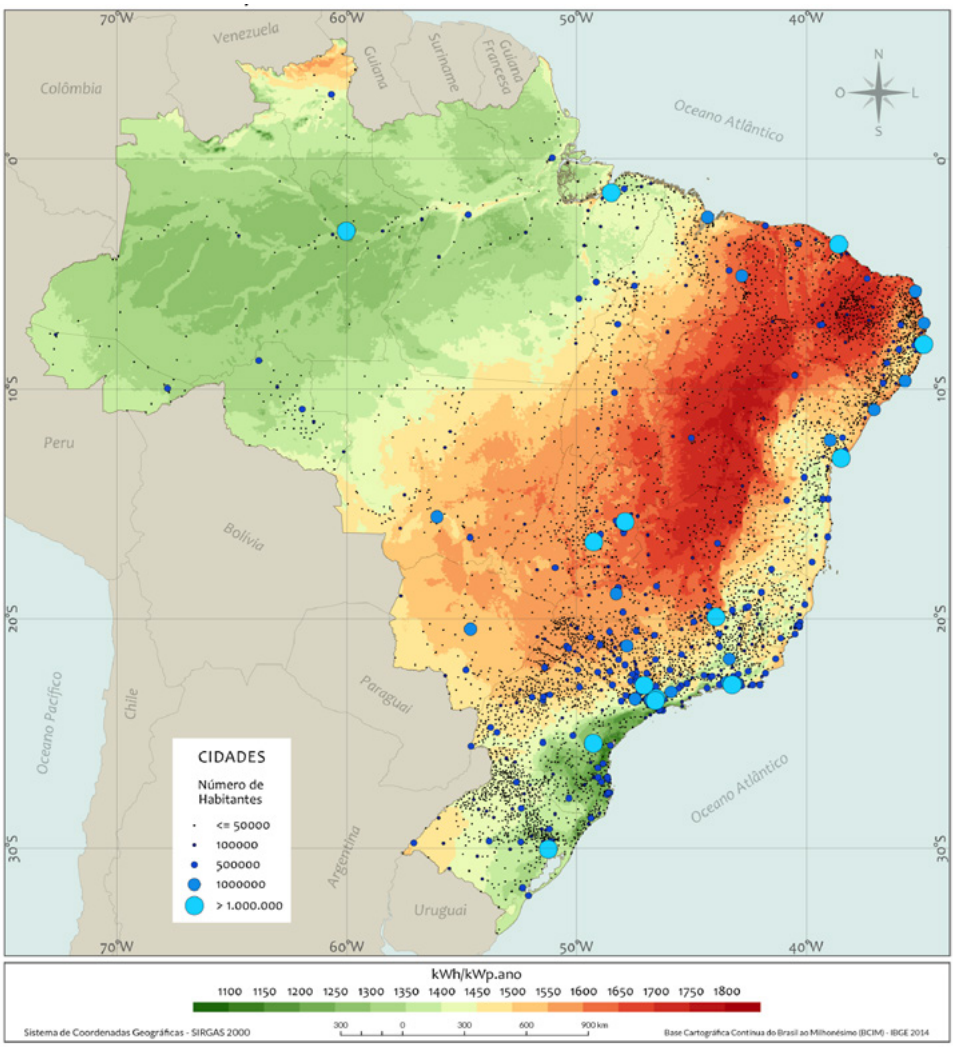
Preocupa o fato de que no médio prazo, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) não projeta grandes alterações na participação dos modais, tanto para transporte de cargas quanto para o transporte de passageiros, vislumbrando uma visão de futuro para o setor de transportes e para a economia brasileira bastante dependente dos combustíveis fósseis (EPE 2018). Por outro lado, em outro trabalho de Pompermayer (2012), o autor alerta sobre a importância de promover o reequilíbrio da matriz de transporte de carga, reduzindo o uso do modal rodoviário para aumentar o ferroviário e o aquaviário, energeticamente mais eficientes. Mesmo com a expansão da movimentação de cargas e passageiros no país, devido ao crescimento econômico esperado, há boas oportunidades para se reduzir as emissões de GEE do setor, se consideradas estas duas opções – hidroviária e ferroviária – que são simultaneamente, economicamente viáveis e com baixo custo e alta eficiência.

3.3. Descarbonização da Economia, Bem-Estar Social e Promoção de Benefícios Econômicos no Setor de Energia

Se por um lado o setor de Energia é um dos principais emissores de GEE do Brasil, por outro, como será visto mais adiante, é um dos setores com maior potencial de mitigação e, simultaneamente, a expansão de consumo e de produção de energia baseados em tecnologias de baixo carbono traz benefícios econômicos e sociais para o país. Expandir a produção de energia em bases sustentáveis é um desafio planetário, e, no Brasil, se medidas e opções de política pública de baixo carbono, adequadas, forem tomadas, instaura-se um contexto no qual são oferecidas oportunidades para que o país possa se inserir internacionalmente com vantagens competitivas. Há oportunidades para o Brasil poder tornar-se uma das nações com melhores condições para entregar uma oferta de energia de baixo carbono a custos baixos e com alta taxa de eficiência produtiva, gerando riqueza e empregos para a sua economia. A saber, estima-se que até o fim do século a demanda global por energia irá triplicar ou até mesmo quadriplicar, visto a necessidade de um consumo para atender 10 bilhões de pessoas em 2050 (UNDESA 2018, citado por The New Climate Economy, 2018).

Tomando-se como referência a energia solar, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Brasil possui um alto potencial de geração de energia solar fotovoltaica, com a distinção de possuir a seguinte particularidade positiva: há uma ótima coincidência entre a concentração de municípios e população brasileira e a distribuição da disponibilidade de irradiação anual, vide **Figura 3.19** abaixo.

Figura 3.19 – Potencial de Energia Solar Fotovoltaica (Rendimento Energético Anual)[3]



Fonte: Pereira et.al, 2017.

Conforme dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica do Brasil (ABSOLAR), um importante benefício da energia solar brasileira, além do ambiental, é a alta capacidade de geração de empregos, 25 a 30 postos de trabalho por cada megawatt produzido por ano. Em janeiro de 2019, o Brasil alcançou o recorde de 500 megawatts (MW) de potência instalada, compostos por sistemas de microgeração e minigeração distribuída solar fotovoltaica oriundos de residências, comércios, indústrias, produtores rurais e prédios públicos. A fonte solar fotovoltaica atualmente lidera com folga o segmento de microgeração e minigeração distribuída, principalmente dentre as residências, representando mais de 99,5% das instalações do Brasil (ver **Box 1**). Desde 2012 foram R$ 3,4 bilhões de investimentos acumulados no setor fotovoltaico (ABSOLAR, 2019a .; ABSOLAR, 2019b).

3 Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil (medido em kWh/kWp.ano no perfil de cores), admitindo uma taxa de desempenho de 80% para geradores fotovoltaicos fixos e distribuição da população brasileira nas cidades.

Em 2017, o Brasil entrou no ranking mundial do setor fotovoltaico, ocupando a 10ª posição apesar do seu enorme potencial para geração de energia solar. Assim, está atrás de China (53,0 GW), Estados Unidos (10,6 GW), Índia (9,1 GW), Japão (7,0 GW), Turquia (2,6 GW), Alemanha (1,8 GW), Austrália (1,25 GW), Coréia do Sul (1,2 GW) e Reino Unido (0,9 GW). Hoje, a fonte solar representa 1,2% apenas da matriz elétrica brasileira, não obstante, já conta com 49.177 sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede, oferecendo economia e sustentabilidade ambiental a 60.090 unidades, portanto, este número poderá vir a ser muito maior num futuro próximo (ABSOLAR, 2019a; ABSOLAR, 2019b).

A energia solar tem sido importante também para conectar regiões isoladas do Brasil. Um exemplo interessante é na comunidade Carão, localizada no município de Santarém, estado do Pará, em torno da Reserva Extrativista Tajapós-Arapiuns. Com a instalação de placas solares no povoado, primeiramente, reduziu-se o gasto elevado com gerador de energia a diesel, que chegava a R$ 30/mês por família. Em segundo lugar, ampliaram-se as possibilidades de geração de renda local. Jovens da localidade resolveram criar a empresa Delícias Tapajônicas, um negócio que produz doces e licores à base de frutos da região e que antes eram desperdiçados (cupuaçu, açaí, abacaxi). Esta iniciativa é realizada com apoio do Instituto Socioambiental (ISA), que é uma organização não-governamental (ONG). Há outros exemplos de atuação de ONGs na região Amazônica trabalhando para ampliar o acesso à energia pela população que vive na floresta. O projeto Saúde e Alegria, por exemplo, promove a instalação de sistemas híbridos com placas solares em comunidades do Tapajós, no Pará. O ISA, por sua vez, também em parceria com a Universidade de São Paulo (USP) levou energia solar a comunidades indígenas da região do Xingu, no estado do Mato Grosso, e inicia projeto de geração eólica na Terra Indígena Raposa Serra do Sol, em Roraima (Adeodato, 2019) [4].

A saber, segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), pelo menos 500 mil famílias no Brasil ainda não são atendidas pelas distribuidoras de energia elétrica. Deste total, 70% está localizada na Amazônia. No campo médico, só para citar um exemplo dos benefícios da presença de energia elétrica em comunidades indígenas, ela possibilita acesso á água potável, ao atendimento odontológico, a esterilização dos materiais médicos, acesso à comunicação e à tele-medicina (ISA, 2019). No Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 07, o Brasil acordou *"assegurar a todos o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia"*, ver **Box 2** ao final desta subseção (Itamaraty, 2016).

Em comunidade de país vizinho, Sharamentsa, localizada no rio Pastaza, na porção equatoriana da Amazônia, há outro exemplo interessante. Projeto denominado Kara Solar construiu canoa movida a energia solar. Placas na cobertura da canoa permitem deslocamentos de 90 quilômetros ou 4 horas de navegação, conectando comunidades em torno da floresta. Associado ao benefício de oferecer transporte menos poluente como alternativa ao transporte de canoas movidas a diesel ou mesmo de avião a preços muito caros para a população (US$ 200 por pessoa), há também oportunidade para a geração de riqueza local. Faz parte do projeto a construção de um centro comunitário solar, composto por uma estação de recarga de canoas, que eventualmente fornecerá energia para a vila, incluindo uma instalação para fabricação de produtos diversos a partir de plantas nativas e de um hotel administrado por membros da comunidade (Balarezo, 2019)[5].

4 Para saber mais a respeito dessas iniciativas, acesse os vídeos: https://youtu.be/RwgwD_d_yUo;https://youtu.be/XiEL23_Wtug; https://youtu.be/Tomm10WQDME ; https://youtu.be/_Q79j-qHBdY

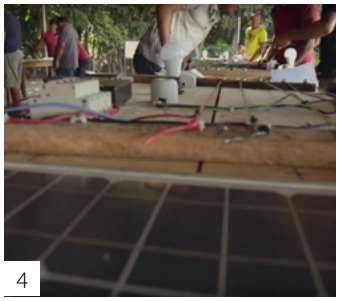
5 Ver mais em https://karasolar.com/amazon2030 e https://youtu.be/rygCmr591Ao

Projeto Floresta Iluminada e Kara Solar

1

2

3


4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

SOBRE AS IMAGENS

1-3: Projeto Kara Solar, Amazonia Equatoriana

4-16: Iniciativas de promoção de acesso a energia solar promovidas pelo Instituto Socioambiental (ISA) e o Projeto Saúde & Alegria na Reserva Extrativista Tajapós-Arapiuns (PA), Parque Indígena do Xingu (MT) e Terra Indígena Raposa Serra do Sol (RR). O acesso à energia promove benefícios diversos como a geração de renda a partir do beneficiamento de frutas da região, preservação da identidade sociocultural por meio do artesanato, acesso a vacinação, formação de cineastas indígenas, dentre outros benefícios.

15

16

IMAGENS EXTRAÍDAS DE VÍDEOS E SITE DOS PROJETOS.

O setor eólico brasileiro, por sua vez, encontra-se mais desenvolvido e avançado. Opções de política pública tomadas no passado, como, por exemplo, a decisão por leilões especiais para contratação de energia eólica, apoiaram a construção de incentivos para alavancar o setor. O Brasil em 2017 ocupou a 8ª posição no ranking mundial, com destaque para crescimento expressivo no período recente, pois em 2012 encontrava-se em 12ª lugar. Em 2018, o Brasil instalou 1,9 GW de energia eólica, posicionando-se no globo como dentre os cinco mercados mundiais que mais cresceram neste ano, atrás apenas da China (21,2 GW), Estados Unidos (7,6 GW), Alemanha (2,4 GW) e Índia (2,2 GW). Globalmente já são hoje 591 GW de energia eólica produzida no planeta. A título de comparação, em 2001, era 24 GW, portanto, verifica-se uma taxa de crescimento de 24 vezes no período compreendido de 17 anos. O Brasil tem chances e oportunidades para vir a consolidar-se como liderança mundial no setor (ABEEOLICA, 2019a.; ABEEOLICA, 2019b).

No Brasil os ventos apresentam características que resultam num fator de capacidade de geração de energia eólica que é cerca do dobro da média mundial. Enquanto na média mundial o fator de capacidade está ao redor de 25%, o Brasil, na média, tem um fator de mais de 40%, mas atingindo valores próximos a 60% e 70% no Nordeste. Isto porque os ventos brasileiros são estáveis, com a intensidade certa e sem mudanças bruscas de velocidade ou de direção. Tais características, associadas a políticas públicas adequadas, levaram a fonte eólica hoje já representar 8% da capacidade instalada do Brasil, ou seja, é uma fonte representativa na matriz elétrica brasileira (rever **Figura 3.12**). Para 2019, há previsão de que a energia eólica pode vir a ultrapassar a participação das fontes de geração de energia térmica ou de biomassa, ocupando a fatia de segunda maior fonte de geração de energia elétrica do país, atrás somente da hidroeletricidade, que vale destacar, vem perdendo participação relativa no período recente (Borges, 2018).

Em 2017, foram gerados 40,46 TWh de energia eólica ao longo deste ano, através de 6,6 mil turbinas eólicas espalhadas por 534 parques eólicos. Desde o início das operações do setor no Brasil já foram gerados 190 mil postos de trabalho. Isto representa um abastecimento de 22 milhões de residências/mês ou 67 milhões de habitantes. Assim, somente em 2017, as emissões evitadas pela produção de energia eólica, em comparação a outras fontes não limpas, representaram uma quantidade de CO_2 não emitida proporcional à 16 milhões de veículos automotores, o que é um número superior a duas vezes mais que a frota de veículos atual da cidade de São Paulo. Do ponto de vista social, cada MW instalado de energia eólica gera 15 postos de trabalho (ABEEOLICA, 2019a.; ABEEOLICA, 2019b).

BOX 1 – ENERGIA SOLAR E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: BENEFÍCIOS E OPORTUNIDADES

A geração distribuída (GD) é uma abordagem que emprega tecnologias de pequena escala para produzir eletricidade perto dos usuários finais de energia. As tecnologias de GD geralmente consistem em geradores modulares e oferecem vários benefícios potenciais. Em muitos casos, os geradores distribuídos podem fornecer eletricidade de baixo custo e maior confiabilidade e segurança de energia com menores impactos ambientais do que os geradores de energia tradicionais.

Em contraste com o uso de poucas estações geradoras de larga escala localizadas distantes dos centros de carga, que é a abordagem usada no paradigma tradicional de energia elétrica, os sistemas GD empregam numerosas, mas pequenas instalações e podem fornecer energia no local com pouca ou nenhuma dependência da distribuição e do *grid* de transmissão.

A essência básica da geração distribuída é o processo de geração de energia próximo ao seu local de consumo. Assim, em vez de ter uma grande usina de energia (carvão, energia nuclear, hidrelétrica, etc.) que gera grandes quantidades de energia, que é transmitida por uma vasta e complicada rede de linhas de energia e estações de transferência para serem entregues a eventuais proprietários ou empresas, tem-se usinas de energia menores e que geram uma quantidade moderada de energia, localizada mais próxima das residências e empresas que a usarão.

Como a eletricidade tornou-se um marco da vida cotidiana e a indústria de serviços públicos evoluiu para uma entidade pública regulamentada pelo governo, as grandes usinas elétricas tornaram-se o padrão. Como esse método de geração de energia envolvia principalmente geração de carvão ou geração de energia nuclear perigosa e / ou poluidora, fazia sentido localizar as plantas longe das pessoas e comunidades atendidas. Este sistema era caro e não o melhor processo do ponto de vista ambiental, mas era o método mais confiável na época, para garantir o serviço ininterrupto a uma nação que crescia em população e consumo.

Agora, porém, vários fatores se combinaram para resultar em uma evolução adicional do modo como a energia é gerada e distribuída. Neste novo cenário, há a aplicação de tecnologias modernas de energia renovável. Somando-se que a preocupação internacional com as mudanças climáticas são adicionadas às questões de infraestrutura, a mudança se torna inevitável, e, felizmente esta confluência de eventos está ocorrendo no exato momento da ascensão da energia solar em termos de viabilidade econômica (https://ccrenew.com).

Em pequena escala, geração distribuída pode significar uma única instalação solar no telhado de uma casa em uma área remota "fora da rede". Pode também significar milhares de casas, prédios e estabelecimentos comerciais com instalações próprias de painéis solares, produzindo boa parte da energia demandada por uma grande cidade ao longo do dia. Este último tipo de aplicação de GD utiliza a infraestrutura da rede de distribuição já existente, e os sistemas de serviços públicos que já estão em vigor. Ela economiza recursos em custos de transmissão ao reduzir as perdas e permite a aquisição de energia a partir de uma variedade de fontes para garantir um serviço ininterrupto.

A implantação de energia solar fotovoltaica distribuída pode reduzir as perdas na linha de transmissão, aumentar a resiliência da rede, evitar os custos de geração e reduzir os requisitos para investir na nova capacidade de geração de serviços públicos. Com equipamento e calibração adequados, os sistemas fotovoltaicos distribuídos também podem atenuar os problemas de confiabilidade enfrentados ao fornecer capacidade de reserva durante perturbações ou interrupções nos serviços de energia elétrica.

Na maioria dos sistemas de energia elétrica, a energia flui em uma direção: de geradores centralizados para subestações, até consumidores finais. Com a geração distribuída, a energia pode fluir nas duas direções. Entretanto, hoje, a maioria dos sistemas de distribuição de energia elétrica não é projetada para acomodar GD e um fluxo de energia bidirecional. Desafios comuns incluem a manutenção dos níveis de tensão exigidos dentro dos limites regulamentados, a coordenação dos dispositivos do sistema de proteção, entre outros (https://greeningthegrid.org).

No Brasil a micro e a minigeração distribuídas (MMGD) foram regulamentadas em 2012 pela ANEEL, e em 2015 o regulamento foi aprimorado, permitindo um processo de conexão facilitado. A resolução permite atualmente a conexão de geradores com capacidade instalada de até 5 MW na rede, seja a partir de fontes renováveis de energia ou de cogeração qualificada (EPE, 2018).

Após a atualização da regulamentação, a MMGD cresceu expressivamente no Brasil, superando as projeções da EPE. Entre 2016 e 2017 a capacidade instalada acumulada foi multiplicada por 3, fechando o ano de 2017 com mais de 250 MW. Em julho de 2018 a capacidade instalada superou a marca de 400 MW (EPE, 2018).

No PDE 2027 (EPE, 2018) a estimativa da EPE e que haja 1,35 milhão de adotantes de sistemas de MMGD, totalizando 12 GW de capacidade instalada, suficiente para atender 2,4% da demanda total de energia elétrica do país em 2027.

Portanto, com medidas, instrumentos e políticas públicas adequadas, o Brasil tem potencial para vir a tornar-se liderança mundial em energia solar fotovoltaica via micro e minigeração distribuída.

As oportunidades e benefícios econômicos, sociais e ambientais de fontes de energia limpas para o Brasil são inúmeros. Aqui tomou-se como exemplos os casos da eólica e solar, mas a biomassa está no rol de exemplo que igualmente poderia ser listado. Completa a lista de benefícios também uma discussão em torno do papel, da importância e de vantagem de políticas públicas em prol da eficiência energética.

Segundo as Nações Unidas, ao se usar lâmpadas e aparelhos eletrônicos mais eficientes é possível evitar as emissões de 1,2 bilhões de toneladas de CO_2 ao ano. Dessa forma, seria permitido gerar uma economia para as nações do planeta de US$ 500 bilhões ao ano em relação à geração de energia. Dessa forma, a Agência Internacional de Energia (AIE) considera a eficiência energética uma opção estratégica e prioritária para a promoção de um sistema energético de base sustentável (IEI-Brasil, 2019).

Perante a comunidade internacional, o Brasil se propôs a aumentar em 10% sua eficiência energética até 2030, embora o potencial de economia de energia no país não se restrinja a esta meta[6]. Pensando neste cenário que o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) lançou publicação no tema, no qual estima e discute os ganhos, barreiras, oportunidades e investimentos necessários nesta área.

Verifica-se, por exemplo, com base em cenários futuros esperados, que um aumento da eficiência energética em 10% em relação ao ano-base de 2005 produz uma redução nos custos de investimento do Sistema Interligado Nacional (SIN) de 42%. Em outras palavras, reduzir o consumo de eletricidade em 10% reduz os custos do SIN em 42%. Quanto maior a meta de melhoria da eficiência energética maiores são os ganhos em termos de redução dos custos do sistema. Uma redução do consumo de eletricidade em 15% reduz os custos em 54%. Uma redução do consumo em 20% reduz os custos do SIN em até 72% (CEBDS, 2016).

Portanto, a eficiência energética é uma das medidas percebidas como estratégica para uma transição que leve à descarbonização da economia brasileira, pois é barata e gera ótimos impactos positivos em termos de redução de custos e ganhos líquidos do sistema, associado à diminuição de emissões de GEE. Esta medida é apresentada em subseção seguinte.

Contabilizando os gastos com medidas de eficiência energética, em contraposição aos ganhos com a redução do consumo de eletricidade e de diminuição nos custos para fazer operar o SIN, tem-se um balanço líquido que pode variar de R$ 58 bilhões até R$ 90 bilhões, a depender da meta de eficiência energética escolhida – 10%, 15% ou 20% – a ser alcançada em 2030. O alcance desses compromissos pode levar à uma redução das emissões de CO_2 que varia entre 10% à 23% (CEBDS,

6 Conforme meta acordada e apresentada pelo Brasil junto à Convenção-Global de Clima das Nações Unidas (UNFCCC, sigla em inglês), por meio da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil (NDC), disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL%20iNDC%20portugues%20FINAL.pdf

2016), contribuindo para a saúde do planeta, da Humanidade e da sociedade brasileira. Todavia, para tal, há uma série de barreiras e limites que o Brasil ainda precisa vencer, identificados no estudo, de forma que possa aproveitar a totalidade dos benefícios que uma boa implementação de política de eficiência energética tem a oferecer[7]. Hoje, num ranking internacional que compara um conjunto de 25 países no tocante à eficiência energética, o Brasil encontra-se na 20ª posição (Castro-Alvarez et. al, 2018)[8].

Atualmente, por meio do projeto Kigali[9], o Brasil, por exemplo, discute com atores-chaves medidas de eficiência energética para o mercado brasileiro de ar condicionados, dentre elas, a revisão do programa brasileiro de etiquetagem e do Selo Procel[10]. O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), estimulado por discussões promovidas em evento do projeto Kigali, se comprometeu a organizar uma reunião do Comitê Técnico do Programa Brasileiro de Etiquetagem, para iniciar discussão sobre cinco pontos principais: i) adoção da métrica sazonal; ii) revisão da etiquetagem; iii) revisão do Selo Procel; iv) revisão dos níveis mínimos de eficiência energética; v) e integração com outras políticas (ICS, 2019). Considerando a frequência e a escala do uso de ar condicionados no Brasil, medidas de eficiência energética focadas neste tipo de equipamento podem promover grandes impactos na redução de GEE do setor de energia brasileiro.

Ainda em relação ao setor de Energia, não é somente a oferta e o consumo de eletricidade ancorados em modelos mais sustentáveis e de baixo carbono que trazem benefícios econômicos para o Brasil, a adoção de transporte baseado em fontes limpas e coletivo – em larga escala – produz bem-estar social para a população brasileira e simultaneamente gera redução dos gastos públicos com saúde.

Tomando como referência uma discussão sobre a qualidade do ar, tem-se que a partir da revolução industrial a qualidade atmosférica passou a ser uma preocupação mundial, especialmente nos grandes centros urbanos globais, como, por exemplo, na Região Metropolitana de São Paulo. No mundo, 91% da população mundial vive em locais onde a qualidade do ar excede os limites considerados

7 Várias barreiras são discutidas no estudo, assim como soluções através de uma agenda de política pública nos temas de: informação, expansão, financiamento, priorização de investimentos, aversão ao risco, custos adicionais, recursos humanos e de capital. Vide estudo do CEBDS (2016), especialmente capítulo 5, subseção Barreiras, página 54.

8 Para saber a lista completa dos países e sua posição no ranking global, assim como metodologia para construção de indicador que classifica os países, ver o documento intitulado The 2018 International Energy Efficiency Scorecard, principalmente páginas 2 à 7 e 9 à 15 (Castro-Alvarez et. al, 2018).

9 http://kigali.org.br/kigali/

10 Criado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, o Procel, um programa do governo federal executado pela Eletrobras, o Selo Procel foi instituído por decreto presidencial em 8 de dezembro de 1993. A partir de sua criação, foram firmadas parcerias junto ao Inmetro, a agentes como associações de fabricantes, pesquisadores de universidades e laboratórios, com o objetivo de estimular a disponibilidade, no mercado brasileiro, de equipamentos cada vez mais eficientes. Para isso, são estabelecidos índices de consumo e desempenho para cada categoria de equipamento. Cada equipamento candidato ao Selo deve ser submetido a ensaios em laboratórios indicados pela Eletrobras. Apenas os produtos que atingem esses índices são contemplados com o Selo Procel (http://www.procelinfo.com.br/main.asp) .

seguros pela Organização Mundial de Saúde (OMS). São anualmente, 4,2 milhões de mortes ao ano na Terra, decorrentes da exposição à poluição do ar (OMS, 2019). A emissão em grande escala de poluentes resultantes da queima de combustíveis fósseis e de resíduos de processos de produção levou à piora da qualidade do ar. Seus primeiros efeitos adversos são percebidos junto a visibilidade e ao odor das cidades, todavia, há efeitos por vezes invisíveis, mas que precisam ser comunicados e desnaturalizados, e que dizem respeito aos efeitos negativos sobre à saúde humana. Uma má qualidade do ar gera diversas manifestações de sintomas, adoecimentos e mortes (**Tabela 3.3**), sobrecarregando o Sistema Único de Saúde (SUS), sendo assim, aumentando o montante dos gastos públicos (Pereira et al, 2010).

A poluição do ar gerada pelo uso de veículos baseados em combustíveis fósseis, principalmente carros individuais em concentração exacerbada, provoca problemas de saúde relacionados ao sistema respiratório, cardiovasculares e reprodutivos. É importante ainda lembrar que a concentração de carros nas cidades eleva o nível de ruído, e também se constitui hoje no Brasil um dos grandes problemas ambientais contemporâneos. Excesso de ruído em níveis seguros para a saúde humana pode provocar desde incômodos e redução do bem-estar social das pessoas que vivem nas cidades, até danos irreversíveis à saúde, afetando a capacidade produtiva local.

Segundo o médico especialista em poluição atmosférica e professor da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP), Dr. Paulo Saldiva, por ano, morrem em São Paulo 4 mil pessoas por causa da poluição urbana. Em 2004, quando o número de carros era um terço menor, estima-se que o número de mortes tenha sido inferior na cidade, de 2,9 mil. O especialista defende que a poluição do ar precisa ser entendida como um tema de saúde pública do Brasil e especialmente em São Paulo, pois na cidade: um em cada dez infartos do miocárdio é resultante da associação entre tráfego e poluição; os níveis atuais de poluição do ar respondem por 4 mil mortes prematuras por ano na cidade; e aproximadamente 12% das internações respiratórias em São Paulo são atribuíveis à poluição do ar. Idosos, crianças, gestantes, portadores de doenças respiratórias e cardíacas crônicas e, principalmente, os mais pobres, que têm níveis maiores de exposição, são os principais afetados pela poluição do ar (Harari e André Cristi, 2012).

Também em São Paulo, o nível da poluição do ar é responsável pela redução da expectativa de vida em cerca de um ano e meio da população que vive na cidade. Os três principais motivos que encabeçam a lista são: i) câncer de pulmão e nas vias aéreas superiores; ii) infarto agudo do miocárdio e arritmias; e iii) bronquite crônica e asma; todos ocasionados pela poluição do ar local. Por outro lado, estima-se a possibilidade de um aumento de oito meses na expectativa de vida conforme cada 10 microgramas de poluição venham a ser retirados do ar (Harari e André Cristi, 2012). Em 2005, a cidade de São Paulo configurava em 6º lugar na lista, dentre as 193 cidades monitoradas pela OMS, segundo o seu relatório mais atual sobre o tema que avalia a poluição do ar no planeta (WHO, 2005).

O especialista Saldiva alerta que a poluição do ar no Brasil deixou de melhorar a partir de 2006, estacionando desde então em níveis bastantes inadequados para a saúde humana. Os poluentes que têm se apresentado como acima dos limites padrão são o ozônio e o material particulado. As razões para isso são o aumento da frota e a lentificação do trânsito, que fazem com que os veículos emitam mais poluentes ao estarem presos em congestionamentos. Em outras palavras, a redução da velocidade do tráfego faz com que a população permaneça cada vez mais tempo em meio a corredores de tráfego, onde os níveis de poluição são substancialmente mais elevados do que a média do restante da cidade. Portanto, quanto mais tempo se fica preso em congestionamentos intermináveis maior será a dose de poluição das cidades brasileiras e do planeta. Interessante constatar, segundo o especialista, que no final de maio de 2018, período da greve dos caminhoneiros que afetou o Brasil, a poluição do ar na cidade de São Paulo caiu 50% durante o sétimo dia de paralisação (Agência Brasil, 2018).

Pesquisa coordenada por Paulo Afonso de André e parceiros, no âmbito do Instituto Saúde e Sustentabilidade, coordenado por Paulo Saldiva, revela que a substituição da matriz energética de transporte público por uma mais limpa pode promover: i) 12.191 vidas salvas até 2050 que deixarão de morrer decorrentes de efeitos da qualidade do ar precária; ii) valores evitados em mortes (perda de produtividade evitada) estimados em R$ 3,8 bilhões; iii) em relação às internações públicas e privadas, uma redução de até 13.082 internações. No geral, a melhoria da qualidade do ar provocada por modelo de transporte e mobilidade limpo pode promover uma economia de aproximadamente R$ 44,5 milhões à R$ 46,5 milhões para os cofres públicos, a depender do cenário adotado pela pesquisa. A maior economia é esperada para cenário mais otimista[11] (Afonso de André et. al, 2017).

11 A pesquisa realizou avaliação e valoração dos impactos da poluição do ar na saúde da população decorrentes da substituição do diesel por uma matriz energética limpa no transporte público sobre rodas no município de São Paulo, determinadas para três cenários considerando o período de 2017 (ano-base) até 2050: 1) o pior cenário, que reflete a continuidade das políticas atuais para toda a frota; 2) o cenário 100% renováveis, que considera a substituição do diesel por uma combinação de três tipos de matriz energética limpa: Biodiesel (B100), Híbrida (B100 + Elétrica) e Elétrica; e, 3) o cenário mais otimista, que considera a substituição de 100% de diesel por matriz elétrica começando desde 2020.

Tabela 3.3 – Poluição do Ar e Efeitos para a Saúde Humana: Evidências Científicas Contemporâneas

Efeitos Respiratórios
Efeitos associados a exposições agudas (horas ou dias após elevação da poluição)
Aumento da mortalidade por doenças respiratórias
Exacerbação dos sintomas em indíviduos com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e asma
Maior frequência de infecções respiratórias agudas
Aumento da prevalência de sintomas respiratórios agudos (sibilância, tosse, expectoração)
Aumento da prevalência de sintomas e sinais de irritação nos olhos, narinas e garganta
Necessidade de aumentar a dose de uso de medicamentos
Alterações agudas na função pulmonar
Aumento do número de consultas médicas, de atendimento de emergência, de internação e da mortalidade por doenças respiratórias
Maior taxa de absenteísmo no trabalho e escolar
Efeitos associados a exposições crônica (anos de exposição acumulada)
Aumento da mortalidade por doenças respiratórias
Aumento da incidência e prevalência de asma e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC)
Aumento da incidência e de mortalidade por câncer de pulmão
Aumento da incidência e de mortalidade por pneumonia e influenza
Aumento do número de internações hospitalares por pneumonia
Alterações crônicas na função pulmonar
Efeitos Cardiovasculares
Efeitos associados a exposições agudas (horas ou dias após elevação da poluição)
Aumento da morbidade, mortalidade e hospitalização por doenças cardiovasculares
Aumento da internação e óbitos por arritmia cardíaca, insuficiência cardíaca e doença isquêmica do coração
Aumento da internação e óbitos por doença cerebrovascular
Redução da variabilidade da frequência cardíaca - fator associado a maior risco de arritmia e morte súbita
Aumento da internação por doença vascular periférica
Aumento da viscosidade, da agregação plaquetária e da coagulação sanguínea
Aumento de marcadores inflamatórios sistêmicos (proteína C reativa, fibrinogênio)
Disfunção endotelial
Aumento da pressão arterial
Efeitos associados a exposições crônica (anos de exposição acumulada)
Aumento da mortalidade por doenças cardiovasculares
Aumento da incidência e mortalidade por doença isquêmica do coração
Aumento da incidência e progressão da aterosclerose
Aumento do risco de trombose venosa profunda

Efeitos Reprodutivos
Baixo peso ao nascer e prematuridade (os três trimestres de gestação estão relacionados ao maior risco de ocorrência desses efeitos)
Falhas de implantação embrionária e redução do número de fetos viáveis (constatado por estudos experimentais em Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental (LPAE) da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP)
Inflamação plancetária com reflexos diretos sobre o crescimento e o desenvolvimento fetal
Contribui para a endometriose
Capacidade reprodutiva masculina alterada (evidências em investigação de redução da qualidade do sêmen).

Fonte: elaboração própria a partir de Pereira et al, 2010.

Para reverter a situação da poluição do ar em grandes centros urbanos brasileiros, as políticas públicas precisam do apoio de marcos regulatórios e legislações que ordenem limites seguros de exposição de partículas no ar, visando proteger a saúde da população local e de seu meio ambiente natural. Precisam trabalhar juntos o governo nos diferentes níveis (federal e subnacional), a sociedade civil organizada, o setor privado e diversos outros atores, mobilizando ações e esforços em prol da melhoria da qualidade de vida.

A prefeitura de São Paulo, por exemplo, em janeiro de 2018, promoveu um importante avanço com a aprovação da Lei Nº 16.802/2018. Por esta lei, em até 20 anos, os ônibus da capital devem reduzir suas emissões de gases e poluentes em 100% de gás carbônico (CO_2), 95% de material particulado (MP) e 95% de óxidos de nitrogênio (NOx). A prefeitura também regulamentou, conforme a lei estabeleceu, o Comitê Gestor do Programa de Acompanhamento da Substituição de Frota por Alternativas Mais Limpas. Entre as atribuições deste comitê está definir as metas intermediárias e finais de redução de emissões estabelecidas na legislação. Atualmente, exercendo controle social deste marco regulatório, organizações não-governamentais cobram da prefeitura de São Paulo que as medidas saem logo do papel, para que as metas possam ser progressivamente cumpridas (Luiza Lima, 2019).

O Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) por sua vez destaca que o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) recentemente atualizou os padrões de qualidade do ar com base em recomendações da OMS (Resolução CONAMA nº 491/2018, que revogou e substituiu a Resolução CONAMA nº 3/1990). Para o IEMA, agora é necessário monitorar e ter políticas para reduzir as emissões. O instituto alerta que a nova resolução estabelece uma progressão na melhoria da qualidade do ar, porém, ela permite que os novos padrões de qualidade do ar não sejam adotados caso os relatórios estaduais apontem pela falta de condições para isso. Em outras palavras, o Brasil pode continuar com os padrões defasados (IEMA, 2019).

Dos 27 estados do Brasil, apenas o Distrito Federal e oito realizam o monitoramento da qualidade do ar: Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás e Distrito Federal. Em geral, a cobertura da rede é insuficiente no país, sendo mais crítica nas regiões Nordeste e Centro-Oeste; e no Norte, onde não há nenhum monitoramento (IEMA, 2019). Para contribuir com a provisão de dados, monitoramento e controle social, o IEMA criou e mantém ativa uma *Plataforma da Qualidade do Ar no Brasil*[12].

Outro movimento importante que tem crescido na cidade de São Paulo e igualmente em outras capitais do Brasil é em torno da mobilidade ativa, que além de melhorar o tráfego, também produz impactos relevantes na redução de GEE e na poluição do ar[13].

O controle da poluição do ar e sua relação com o bem-estar social e a saúde da população é um tema chave dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) conforme discutido no **Box 2** abaixo.

O ODS 3: ASSEGURAR UMA VIDA SAUDÁVEL E PROMOVER O BEM-ESTAR PARA TODOS, EM TODAS AS IDADES

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), também conhecidos como Objetivos Globais, são um chamado universal para ação contra a pobreza, proteção do planeta e para garantir que todas as pessoas tenham paz e prosperidade. Os 17 ODS foram construídos baseados no sucesso passado dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, e incluíram novos temas, como a mudança global do clima, desigualdade econômica, inovação, consumo sustentável, paz e justiça, entre outras prioridades. Os objetivos são interconectados, assim, o sucesso de um ODS envolve o combate a temas que estão associados a outros objetivos.

12 http://qualidadedoar.org.br/

13 Veja, a Campanha Mais Ar Menos Fumaça, com foco na cidade de Campinas em São Paulo, e a Coalizão Clima e Mobilidade Ativa (CCMob), somente para citar dois exemplos, esta última é uma aliança de organizações e movimentos da sociedade civil que atua com o tema da mobilidade ativa e mudanças climáticas para, juntos, em rede, conseguir impactar e influenciar a agenda climática nacional. A CCMob defende melhores ruas para o pedestre e mais e melhores ciclovias para bicicletas. http://www.maisar.minhacampinas.org.br/?fbclid=IwAR1UhLjgFFgaJEM9-jJBc6x1E7ezxuUw-v9G20GOooEZsypVAQhP410HtKHg e https://www.climaemobilidade.co/

O **ODS 3** estabelece uma série de compromissos e metas que consolida a promoção de uma **vida saudável** para os países signatários dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, como, por exemplo, redução da mortalidade materna e de mortes evitáveis de recém-nascidos e crianças menores de 5 anos, acabar com as epidemias de AIDS, tuberculose, malária e doenças tropicais negligenciadas, assegurar o acesso universal aos serviços de saúde sexual e reprodutiva, dentre outros compromissos, mas o destaque para fins deste capítulo é o compromisso de ***até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água do solo***. O Brasil é signatário dos ODS.

Conforme já destacado, é importante observar que são no total 17 ODS, portanto, há correlações e complementaridades entre eles. No caso do combate às mortes e doenças causadas pela poluição do ar, há bastante articulação com o **ODS 11**, focado na promoção de **cidades e comunidades sustentáveis** e, para tal, estabelece o compromisso de ***até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar,*** *gestão de resíduos municipais e outros.* Este, por sua vez, contribui para o **ODS 13**, orientado para **combater a mudança climática** e seus impactos[14].

3.4. Opções Tecnológicas para a Descarbonização do Setor de Energia

Esta seção oferece insumos para a elaboração de uma estratégia brasileira de desenvolvimento de baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) no longo prazo, que leve à descarbonização, contribuindo para a sua definição, prevista para 2020, no âmbito da Convenção Global do Clima (UNFCCC).

São apresentadas opções tecnológicas de mitigação para o setor de Energia extraídas de dois documentos-chaves, "Brasil Carbono Zero em 2060" e "Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil". O primeiro é de autoria de equipe técnica do Centro Clima da COPPE/UFRJ, sob coordenação geral de Emilio La Rovere e o segundo é uma produção do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Estes dois documentos baseiam-se em modelagem climática, cujas premissas básicas e características gerais dos modelos foram discutidas no primeiro capítulo (Seção 1.4). Completam a análise as recomendações de políticas de mitigação para o setor debatidas no âmbito das reuniões promovidas pela Câmara Temática de Visão de Longo Prazo

14 A lista de todos os compromissos e metas brasileiras encontra-se em https://nacoesunidas.org/pos2015/

(CT LT) do FBMC[15] e também as promovidas no âmbito da CT Energia, que elaborou no passado recomendações voltadas para a implementação da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil[16].

De maneira didática é apresentado em sequência o cardápio de opções tecnológicas recomendado por cada estudo[17]. Este cardápio apóia a transição do Brasil rumo à descarbonização da economia no longo prazo, por tanto, em direção a um balanço de emissões líquidas zero. As recomendações são acompanhadas de breve detalhamento das premissas adotadas específicas ao setor de Energia. Recomenda-se que os documentos sejam consultados na íntegra, visto a seguir ser apresentado apenas uma síntese dos trabalhos.

3.4.1. Brasil Carbono Zero em 2060

As recomendações para o Setor de Energia deste documento são extraídas das subseções: Oferta de Energia e Transportes.

Em **Oferta de Energia**, devido ao enorme potencial competitivo de fontes renováveis para geração elétrica no Brasil (hidroeletricidade, biomassa, eólica e solar), considerou-se que todas as termelétricas com fonte primária não-renovável (exceto nuclear) seriam descomissionadas até 2060. Haveria menor geração de eletricidade a partir de derivados de petróleo e carvão mineral, enquanto a utilização de gás natural como fonte de calor na indústria ainda seria crescente. A oferta de biocombustíveis seria consistente com a demanda do setor de transporte bem como com as áreas agrícolas destinadas ao cultivo das respectivas matérias primas (cana-de-açúcar, soja e outras).

Medidas de eficiência energética deveriam ser implantadas em todos os setores de consumo de energia. Entretanto, devido à tendência de maior eletrificação da economia, inclusive no setor de transportes, haveria maior demanda por energia elétrica. Assim, haveria expansão de fontes renováveis intermitentes, como eólica e solar fotovoltaica (tanto na forma distribuída como centralizada). A garantia de energia firme seria assegurada pelas fontes hidrelétrica, termelétrica a bagaço de cana-de-açúcar e a biomassa florestal, e solar heliotérmica. Adicionalmente, considerou-se a continuidade e o aprofundamento de melhorias no controle de emissões fugitivas no setor de exploração de petróleo e gás natural, seguindo as melhores práticas internacionais.

---

15 Conforme atas das reuniões disponíveis em: https://forumbrasilclima.org/documentos/

16 Ver em: https://drive.google.com/file/d/1puFdkXpY3Ms8yyMPB7z2mIen7dDcFiha/view. Neste caso considera-se que a descarbonização da economia é um processo que demanda uma trajetória a partir de medidas de curto, médio e longo prazo, portanto, as recomendações para implementação da NDC foram aqui consultadas.

17 Os textos a seguir são um fichamento praticamente na íntegra de passagens dos referidos trabalhos. Há apenas edições marginais para tornar a leitura mais amigável, todavia, orientada para não comprometer o conteúdo das recomendações.

Considerando este cenário, o estudo definiu para o setor de Oferta de Energia as seguintes metas quantitativas e qualitativas:

- Projeção de petróleo e gás: extração de 7,7 milhões de barris/dia em 2060, com pelo menos dois terços dessa produção destinados à exportação já a partir de 2030;
- Fontes fósseis no setor elétrico: nenhuma participação de fontes não renováveis em 2060, exceto de autoprodução e nuclear;
- Usinas nucleares: Angra I chega ao fim da vida útil ao longo do horizonte. Em 2060, apenas as usinas Angra II e III se mantêm (2,7 GW);
- Renováveis no setor elétrico: hidrelétricas com expansão moderada, maior diversificação (eólicas, solares fotovoltaicas e heliotérmicas), mais termelétricas a biomassa (bagaço e floresta plantada), compensando ausência de usinas termoelétricas (UTE) movidas a combustíveis fósseis;
- Produção de etanol: produção total de 44,6 bilhões de litros em 2060;
- Emissões fugitivas: medidas para redução de emissões fugitivas no setor de extração e produção de petróleo e gás natural.

Com estas premissas sobre caminhos tecnológicos para o subsetor de Oferta de Energia, é possível estimar as emissões de GEE ao longo do tempo, contribuindo para o alcance de balanço líquido em 2060 para a economia como um todo.

Tabela 3.4 – Emissões totais e dos subsetores do Setor Energético no período 2010-2060 (Mt CO_2e)

Setor	2010	2020	2030	2040	2050	2060
	Mt CO2e					
Oferta de Energia	82	85	96	95	89	81
Energético Amplo	61	60	68	63	55	47
Consumo do Setor Energético	24	27	31	33	36	39
Transformações	37	33	37	30	19	8
Centrais Elétricas	37	32	37	29	18	7
Carvoarias	1	0	1	1	1	1
Emissões Fugitivas	20	25	28	31	33 3	4
E&P	10	14	16	19	20	20
Refino	7	9	10	10	11	11
Carvão	3	3	2	3	3	3

Fonte: Brasil Carbono Zero em 2060 (La Rovere et al, 2018).

Em **Transportes**, as estimativas de atividade, demanda de energia e emissões de GEE para o setor consideraram a evolução da população, do nível de urbanização e de atividade econômica, além das iniciativas de planejamento governamental em curso ou anunciadas, por exemplo, o RenovaBio e o Rota 2030.

Para o **Transporte de Passageiros**, foram considerados maior participação do transporte metroviário de passageiros, incentivo ao transporte ativo (não motorizado), além da maior penetração de ônibus urbanos e semi-urbanos híbridos e elétricos. Há também maior utilização de biocombustíveis, como o etanol em veículos com motores a combustão interna, e novas tecnologias como o bioquerosene para aviação. Com relação à frota, considerou-se um aumento da frota circulante de veículos compartilhados. Automóveis particulares a etanol, gasolina, ou com tecnologia flex-fuel deixariam de ser comercializados na década de 2040, perdendo participação na frota total. Em contraste, haveria intensa penetração de veículos com sistemas de propulsão alternativos, como híbridos e elétricos, que dominariam as vendas automotivas ao fim do período.

Para o **Transporte de Carga**, propõe-se a busca pelo equilíbrio da divisão modal por meio de investimentos em infraestrutura e políticas públicas, expansão e eletrificação de ferrovias. No transporte rodoviário, caminhões leves e semi-leves e médios seriam predominantemente híbridos e elétricos. Para o transporte de carga de longas distâncias, para o qual a utilização de veículos elétricos *plug-in* não é viável, a frota de caminhões pesados e semi-pesados seria progressivamente substituída por veículos híbridos (diesel/elétrico). São assumidos também para o setor de transportes o aumento da eficiência logística e da participação do biodiesel e a introdução do bioquerosene para aviação e do bio-óleo para o transporte aquaviário.

Considerando este cenário, o estudo definiu para o setor de Transportes as seguintes metas quantitativas e qualitativas:

- Ganhos de eficiência energética no transporte de passageiros e carga: de acordo com o limite máximo encontrado na literatura;
- Investimento em ferrovias para o transporte de carga: aumento de 10% na participação modal em 2060, além da eletrificação de ferrovias existentes;
- Investimentos em metrô, VLT e trens urbanos: aumento de 4,6% na participação modal em 2060;
- Aumento do nível de serviço do transporte coletivo: renovação e qualificação da frota (ônibus e BRT);
- Frota circulante: aumento da frota de veículos compartilhados;
- Transporte ativo: incentivo ao transporte não motorizado;
- Eficiência logística: aumento da eficiência da operação de transporte de carga;

- Transporte aquaviário: expansão do transporte aquaviário de carga por meio de investimentos e políticas públicas;
- Etanol: aumento do consumo de etanol hidratado em motores *flexible-fuel*, alcançando 90% em 2060;
- Biodiesel: aumento da mistura de biodiesel no óleo diesel mineral para 30% em 2060;
- Bioquerosene: aumento da mistura de bioquerosene ao querosene de aviação para 20% em 2060;
- Bioóleo: aumento da mistura de bioóleo ao óleo combustível para 15% em 2060 (transporte aquaviário);
- Automóveis elétricos e híbridos: aumento da frota, atingindo 39% do total da frota para veículos elétricos a bateria (BEV, da sigla em inglês) e 45% para veículos híbridos em 2060;
- Ônibus urbanos elétricos: aumento da frota, atingindo 50% do total da frota para veículos BEV em 2060;
- Caminhões elétricos e híbridos: aumento da frota, atingindo 55% do total da frota para caminhões leves e semi-leves BEV, 15% para caminhões médios BEV e 30% para caminhões médios híbridos em 2060.

Com estas premissas sobre caminhos tecnológicos para o subsetor de Transportes, é possível estimar as emissões de GEE ao longo do tempo, contribuindo para o alcance de balanço líquido em 2060 para a economia como um todo.

Tabela 3.5 – Emissões totais e dos subsetores do Setor de Transporte no período 2010-2060 (Mt CO_2e)

Setor	2010	2020	2030	2040	2050	2060
	Mt CO2e					
Transportes	171	192	167	143	122	106
Rodoviário	154	177	147	120	96	76
Ferroviário	3	3	3	3	3	4
Aéreo	10	10	12	13	15	16
Hidroviário	4	3	5	7	8	10

Fonte: Brasil Carbono Zero em 2060 (La Rovere et al, 2018).

3.4.2. Opções de Mitigação em Setores-Chave do Brasil

Em Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil (MCTIC, 2017) as premissas adotadas para o Sistema Energético foram:

- Expansão do sistema energético, considerando diferentes patamares de valor de carbono;
- Inserção das melhores tecnologias e práticas produtivas disponíveis;
- Internalização de diferentes patamares de valor de carbono na economia;
- Liberdade de seleção da evolução do perfil tecnológico e da otimização do sistema energético, segundo uma lógica de mitigação das emissões de GEE.

O estudo do MCTIC (2017), conforme detalhado no capítulo introdutório, trabalha com dois grupos de cenários principais: REF e BC variados. O primeiro, denominado cenário de referência, considera as metas das políticas governamentais e dos planos oficiais de expansão do setor de Energia como constantes. Os cenários de baixo carbono (BC) abrangem a aplicação das melhores tecnologias disponíveis para a redução de emissões, considerando diferentes níveis de valor de carbono medido em dólares por tonelada de dióxido de carbono: US$ 0 (BC0), US$ 10 (BC10), US$ 25 (BC25), US$ 50 (BC50) e US$ 100 (BC100)[18].

Os resultados do cenário BC100 em termos de recomendações de opções de tecnologias para a mitigação das emissões são os que mais se aproximam aos do estudo Brasil Carbono Zero 2060, considerando a realidade projetada que é orientada para a descarbonização – balanço de emissões líquido zero – da economia brasileira no longo prazo. A título de comparação e considerando uma trajetória para a descarbonização que perpassa o alcance dos compromissos assumidos pela NDC brasileira para 2025 e 2030, neste caso, os cenários correspondentes seriam o BC0 e BC10, respectivamente.

Assim, a internalizaçao de tributo de carbono de 25 US$/t$CO_2$ (BC25) viabilizaria uma série de opções adicionais de baixo carbono. Podem ser destacadas, em face do maior potencial de mitigação de emissões, as seguintes principais:

- Adição de carboneto de escória na produção de cimento e injeção de carvão pulverizado em substituição do coque utilizado como combustível na siderurgia;
- Implementação de programas de inspeção e manutenção em plataformas de E&P de óleo e gás;

18 O cenário BC0 contém as medidas de abatimento do tipo no regret, ou seja, que apresentam viabilidade econômica ao longo da sua vida útil, mas não são implementadas devido a outras barreiras (tecnológicas, regulatórias, comportamentais, etc.). Os demais cenários incluem as medidas de valor de carbono nulo e oportunidades adicionais de mitigação que demandam internalização de valor de carbono na economia para sua viabilização, ou seja, com precificação de carbono.

- Co-combustão de biomassa com carvão em usinas termelétricas;
- Incineração de resíduos e ampliação da reciclagem de resíduos sólidos urbano para 7% com relação ao cenário REF;
- Queda na atividade da mineração e nas emissões de processos industriais e emissões fugitivas em plataformas de petróleo e distribuição de gás natural decorrentes dos impactos da tributação de carbono em termos de efeito atividade.

Já no cenário BC100, é sugerido um novo conjunto de medidas com maior potencial de abatimento em decorrência das opções oferecidas por este cenário de maior tributação de carbono, a 100 US$/t$CO_2$:

- Captura e armazenamento de captura no setor industrial, particularmente na produção de amônia, cimento e em plantas integradas a coque do setor de ferro-gusa e aço;
- Aumento do uso de gás natural em caldeiras e fornos no setor químico;
- Uso de veículos híbridos elétrico-diesel para o transporte de minérios;
- Substituição da selagem a óleo pela selagem a gás no setor de E&P de óleo e gás;
- Captura de carbono em unidades de geração de hidrogênio e de craqueamento catalítico no setor de refino;
- Instalação de cadeiras supercríticas e captura de carbono nas termelétricas a carvão;
- Adoção de torres eólicas com aerogeradores para aproveitamento de ventos de 100 metros;
- Eficientização de caminhões leves, semipesados e pesados por meio da adoção de *turbocompressores, turbocompounding, turbocompounding* elétrico, sistema variável de controle de válvulas, eletrificação de cargas auxiliares, melhorias nos ciclos de combustão e redução de atrito nas partes móveis;
- Eficientização de trens pela redução do arrasto aerodinâmico e compactação de cargas;
- Redução de peso e melhoria na eficiência de motores de aeronaves;
- Captura de carbono no processo de fermentação de destilarias de etanol.

A internalização de valores de carbono na economia reflete-se em temos de efeito atividade, particularmente, resultando em queda na demanda de insumos energéticos carbono intensivos. Vale destacar que estas recomendações de opções tecnológicas para a redução das emissões de GEE do setor de Energia precisam ser acompanhadas de marcos regulatórios, investimentos e políticas públicas para eliminar as barreiras e pontos de estrangulamento, alavancando a adoção destas tecnologias em larga escala. Um tipo de discussão que é explorado em seção específica do estudo do MCTIC (2017) que debate as barreiras e instrumentos necessários para a mitigação do setor. Além disso é preciso avaliar as relações de custo-efetividade para a mitigação das emissões de GEE do setor, uma análise que é também realizada no estudo do MCTIC.

As medidas sugeridas pelos dois estudos são compatíveis com recomendações de políticas contidas no documento do FBMC voltadas para a implementação da NDC brasileira no curto prazo. A saber, para o setor de energia são elas: a) aumento do nível de eficiência energética na ponta do consumo; b) ampliação da geração elétrica de fontes renováveis, tanto centralizada como distribuída, no sistema interligado e em sistemas isolados, bem como da capacidade de armazenamento de energia, com destaque para fonte eólica, solar, pequenas centrais hidrelétricas e térmica à biomassa; c) expansão de energias renováveis em localidades isoladas[19] (FBMC, 2018:25-26). Para o setor de transportes são as seguintes as recomendações extraídas do documento do fórum: a) ampliação do transporte público, da mobilidade ativa e a racionalização do transporte individual motorizado; b) otimização e diversificação dos modos de transportes de carga; c) aumento da eficiência energética da frota a combustível fóssil e flex incluindo o transporte de carga a diesel; d) expansão da frota de veículos a biocombustíveis, elétricos e híbridos (FBMC, 2018: 18-21)

19 Para esta discussão temática rever seção 3.3, sobre Projeto Floresta Iluminada e Kara Solar, exemplos de iniciativas de expansão de energia renovável para comunidades isoladas da Amazônia.

Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira

Setor de Resíduos

COMMONS/WIKEMEDIA

04

4.1. Introdução

A geração de resíduos, sua destinação e sua disposição final são inerentes às atividades exercidas cotidianamente por nossa sociedade e geram emissões de gases de efeito estufa (GEE), que agravam as mudanças climáticas. O setor de tratamento de resíduos no Brasil se divide em dois subsetores principais: resíduos sólidos e efluentes líquidos. **Este setor responde por 5% das emissões totais de GEE do Brasil, com emissões históricas crescentes ao longo do tempo** (**Figuras 4.1 e 4.2 e Tabela 4.1**). Em ordem de importância, as contribuições de emissões de GEE provém dos subsetores: (i) Resíduos Sólidos (62,4%), (ii) Efluentes Líquidos Domésticos (22,6%), (iii) Efluentes Líquidos Industriais (14,7%), (iv) Incineração (0,2%), conforme dados do SEEG[1], para o período 1970-2016 (Reis de Albuquerque & Esteves Coluna, 2018).

O setor de Resíduos é um setor que deve ser foco de atenção das políticas públicas brasileiras a favor da descarbonização da economia por duas razões principais. Primeiro, decorrente de uma tendência de crescimento do consumo da população do país, é esperada **manutenção de tendência de crescimento do descarte dos resíduos no futuro.** Em segundo lugar, **a adequação dos sistemas de tratamento do esgoto e resíduos sólidos, em virtude da implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e da Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), em alguns casos, pode contribuir para uma geração ainda maior de emissões vis-à-vis ao que é verificado hoje**; apesar de melhoria na sua gestão considerando aspectos positivos de naturezas diversas, como as ambiental e social. Um caso clássico é o da substituição dos lixões por aterros sanitários[2].

Melhorar a qualidade da gestão dos resíduos sólidos e efluentes líquidos oferece oportunidades econômicas, ambientais e benefícios sociais para o Brasil. Reconhecendo que o setor de Resíduos é um setor chave a ser considerado em uma estratégia de descarbonização da economia, é que este capítulo:

- discute o *Estado da Arte* do setor de resíduos sólidos e efluentes líquidos, por meio de análise sintética de indicadores e dados chaves, que juntos, de forma resumida, buscam mostrar o tamanho do desafio e quanto ainda falta para chegarmos a uma situação de gestão adequada, sob os marcos da política e legislação atuais, e conectada a uma trajetória de descarbonização para o setor;

1 seeg.eco.br/

2 A melhoria do índice e da qualidade do tratamento de resíduos e esgotos pode vir a implicar o aumento das emissões de GEE porque se criam condições para a fermentação anaeróbica dos resíduos, que inexistem ou são muito reduzidas quando os mesmos são despejados de forma esparsa no meio ambiente. Em relação aos resíduos sólidos, por exemplo, a disposição em aterros sanitários possui potencial de geração de metano 20% maior do que a disposição em aterros controlados. Já o tratamento de efluentes em reator anaeróbio possui o potencial de geração 8 vezes maior do que o lançamento em corpos d`água, com ou sem coleta (SEEG, 2019).

- apresenta os potenciais e benefícios econômicos, sociais e ambientais de uma gestão adequada dos resíduos sólidos e dos efluentes líquidos rumo à descarbonização;

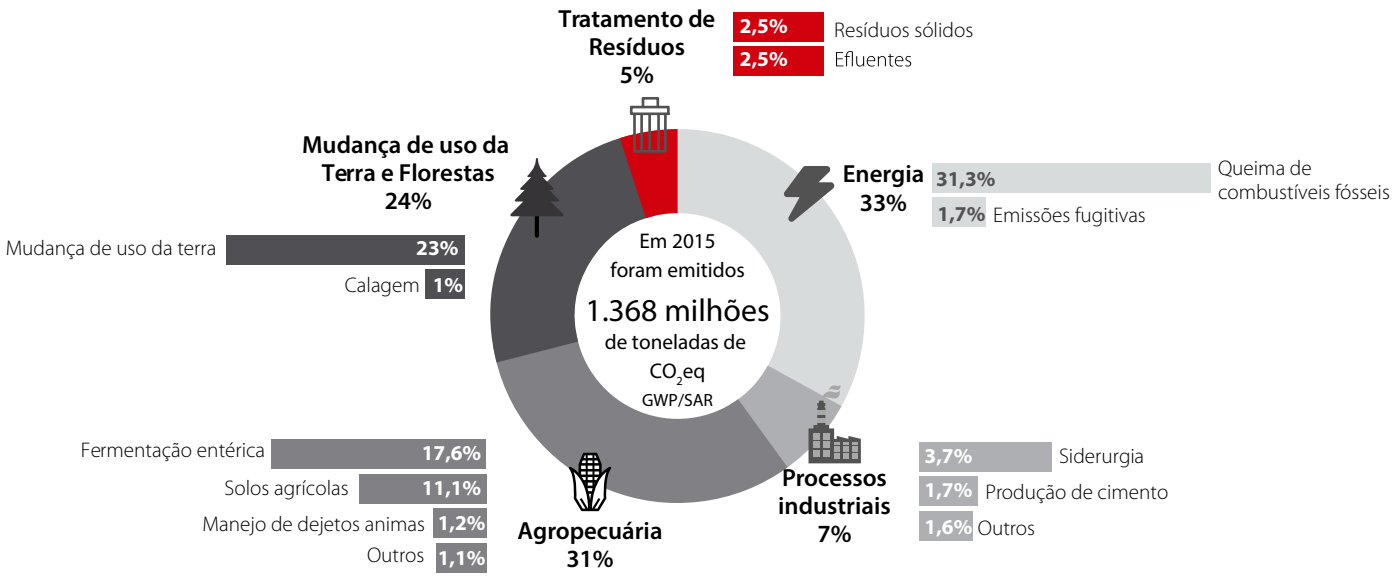
- apresenta opções de política para o setor considerando o cenário desejado de descarbonização da economia, estas, identificadas por meio de revisão bibliográfica particularmente dos estudos "*Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil*", de autoria do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação (MCTIC, 2017) e "*Relatório Brasil Carbono Zero em 2060*", produzido sob coordenação de equipe técnica do Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas do Instituto de Pesquisas e Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Centro Clima / COPPE / UFRJ, 2018), elaborado no âmbito do Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC)[3].

Uma discussão de instrumentos de política (financiamento, econômicos e outros) e dos seus respectivos marcos regulatórios perpassa este capítulo por meio somente de linhas gerais. Isto porque *Instrumentos de política* é considerado um tema transversal e, compreende-se que para o seu detalhamento faz-se necessária uma discussão ampliada com os vários atores afetados, baseada em Análise de Impacto Regulatório (AIR) das políticas. Sugere-se que esta discussão deverá ser considerada em etapa posterior à debate público do presente documento, em processos correlatos, a ser capitaneado pelos órgãos executivos envolvidos com cada política (PNRS e PNSB), com envolvimento dos diferentes atores e partes interessadas.

O que se pretende com este capítulo é convidar a sociedade brasileira, especialistas, atores do setor privado, representantes do setor público, organizações não-governamentais e Academia, para uma reflexão, discussão e tomada de decisão em torno de caminho de descarbonização da economia e que dever ser trilhado pelo Brasil. Uma primeira reflexão em torno do Setor de Resíduos é feita a seguir, baseada na Ciência e em dados amplamente reconhecidos como de qualidade técnica, referência e confiabilidade, a fim de promover uma discussão pública sobre a descarbonização do setor.

3 Este foi um documento entregue ao Presidente da República, na ocasião Michel Temer, em decorrência de encomenda realizada pelo então presidente ao Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC), para elaboração de proposta que "*trate do que seria necessário para o atingimento por parte do Brasil de uma meta de emissões líquidas zero no horizonte de 2060*". Para saber mais veja: http://www.centroclima.coppe.ufrj.br/index.php/br/destaque/noticias/186-entrega-ao-presidente-do-documento-brasil-carbono-zero-em-2060-e-do-sumario-mudanca-do-clima-riscos-e-oportunidades

Figura 4.1 – Contribuição do Setor de Resíduos para as Emissões Totais de GEE do Brasil



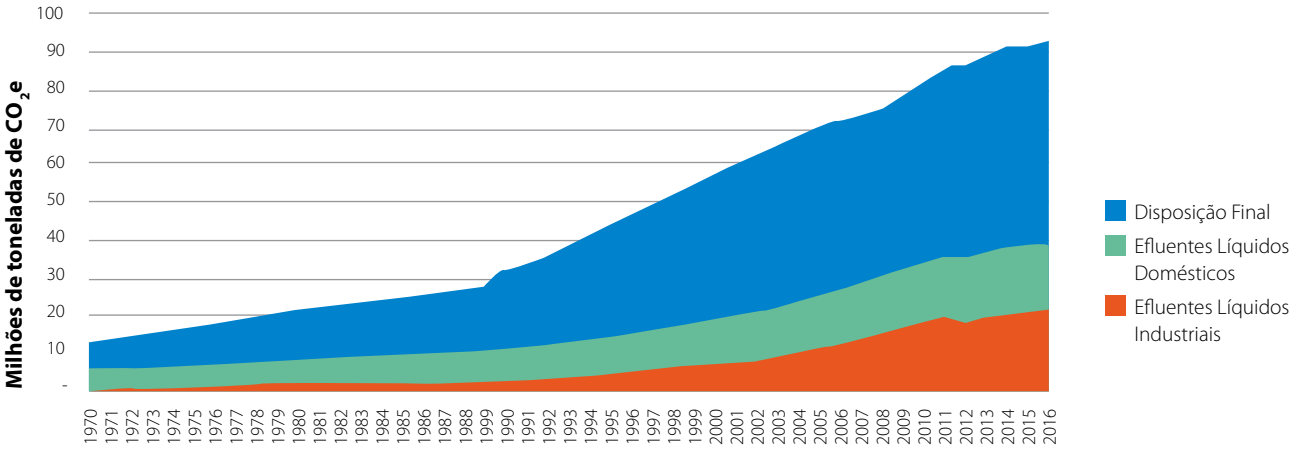
Fonte: SIRENE, 2019.

Tabela 4.1 – Evolução Histórica das Emissões de GEE do Setor de Resíduos

SETOR	Ano	Unidade	CO_2	CH_4	N_2O	HFC – 23	HFC – 32	HFC – 125	HFC – 134a	HFC – 143a	HFC – 152a	CF_4	C_2F_6	SF_6	NO_x	CO	NMVOC
Tratamento de Resíduos	1990	Gg	19	1.173,7	4,32												
	1995		78	1.418,7	4,83												
	2000		95	1.754,2	5,68												
	2005		128	2.062,0	6,61												
	2010		175	2.462,7	7,21												
	Var. 90/05	%	574	76	53												
	Var. 05/10		37	19	9												

Fonte: MCTIC, 2016. *Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*.

Figura 4.2 – Evolução Histórica das Emissões de GEE do Setor de Resíduos e seus Subsetores



Fonte: Reis de Albuquerque & Esteves Coluna, 2018.

4.2. Panorama da Situação dos Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos no Brasil

4.2.1. Estado da Arte: Resíduos Sólidos

Após quase vinte anos em tramitação no Congresso Nacional, a Lei Nº 12.305 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos foi aprovada em 2010. Esta lei lança uma série de marcos e metas que decretam uma nova era para a gestão adequada dos resíduos sólidos no Brasil. A legislação estipula, por exemplo, a extinção dos lixões em todos os 5.570 municípios do país e a responsabilidade compartilhada dos resíduos sólidos, entre o setor público e o setor privado, mobilizando todos os agentes econômicos ao longo de cadeias produtivas e que deve ser exercida por meio do instrumento do Acordo Setorial de Logística Reversa[4].

A lei prevê o aproveitamento energético dos resíduos, e tem como escala de prioridades: i) a redução dos resíduos na fonte, ii) reutilização e iii) reciclagem, em ordem de importância. Conceitos como: ciclo de vida dos produtos; cooperação técnica entre setor público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos; e cooperação territorial com a criação de consórcios intermunicipais são elementos que norteiam as diretrizes da PNRS (Brasil, 2010). Todos estes conceitos guardam relação e influenciam caminhos de política que impactam em maiores ou menores emissões de GEE do setor de resíduos sólidos.

Também, um importante desafio da PNRS é conciliar os desafios sociais e ambientais junto à gestão adequada dos resíduos, visando estimular e ampliar o trabalho dos catadores de materiais recicláveis, sob novos patamares de qualidade e condições adequadas de trabalho. Estima-se que existam no país cerca de 400 mil catadores de materiais recicláveis[5]. Assim, conforme destacam Silvério da Costa e Crespo (2012), a PNRS prevê a inclusão econômica e social dos catadores, além de visar propiciar um ambiente favorável aos novos negócios ligados à reciclagem.

Hoje, no Brasil, segundo o mais recente relatório da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018), o "Panorama dos Re-

4 A logística reversa é um "*instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada*". A Lei nº 12.305/2010 dedicou especial atenção à logística reversa e definiu três diferentes instrumentos que poderão ser usados para a sua implantação: regulamento, acordo setorial e termo de compromisso (http://sinir.gov.br/logistica-reversa). Atualmente estão em fases de discussão e efetiva implementação acordos setoriais para: medicamentos, eletrônicos, embalagens, lâmpadas, embalagens plásticas de óleos lubrificantes.

5 Segundo estudo produzido pelo IPEA (Dagnino & Johansen, 2017), há no Brasil, com base em dados do Censo Demográfico 2010, 398.348 pessoas identificadas como "Coletores de Lixo", segundo categoria ocupacional da referida pesquisa. A região Sudeste concentra o maior número de catadores do país, representando cerca de 42% da força de trabalho nessa ocupação, seguido do Nordeste, com 30%. A maior parte dos catadores são homens (razão de sexo = 219,63) e se declararam pretos e pardos (66,1%).

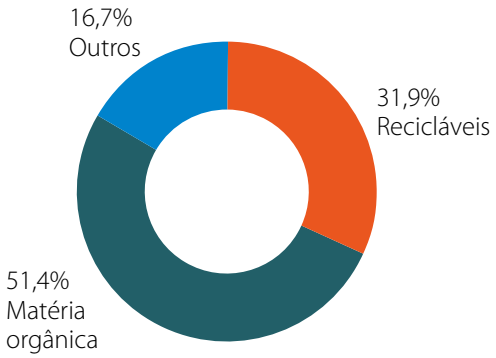
síduos Sólidos no Brasil 2017" e, da publicação "Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos" (Brasil, SNS, 2019), cujo diagnóstico é parte integrante de sistema de informações produzido pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA)[6], tem-se que:

- Do total da população brasileira, 8,76% não tem cobertura de coleta de resíduos sólidos urbanos, o que corresponde a cerca de 16,7 milhões de pessoas;
- Em geral, a massa coletada de resíduos sólidos, com pequenas diferenças espaciais regionais, é na faixa de 2,77 quilos por habitantes/dia, colocando o Brasil na posição de país de renda média ao considerar também o seu padrão de descarte (gravimetria), vide **Figura 4.3 e Tabela 4.2**;
- Em 2016, havia ainda 29,6% dos municípios brasileiros que não possuíam coleta seletiva dos resíduos sólidos;
- Há um total de 1.153 cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis, concentradas na região Sudeste, que sozinha comporta um total de 486 associações e cooperativas nesta região;
- Em termos de distribuição – entre os três tipos de sistema de tratamento –, no Brasil há 1.091 lixões que permanecem existindo, em comparação à 576 aterros controlados e 640 aterros sanitários já construídos no país, que dão forma à distribuição da disposição final dos resíduos sólidos brasileiros coletados, conforme apresentada na **Figura 4.4**;
- Mesmo existindo déficits em relação a uma gestão adequada dos resíduos sólidos, o Setor de Limpeza Urbana movimenta magnitude significativa de recursos, da ordem de 10,1 milhões de reais por ano, o que representa um investimento de R$ 4,07 mês por habitante – no caso de coleta dos resíduos sólidos urbanos (RSU) – e 15,7 milhões de reais por ano, R$ 6,30 mês por habitante – em gastos com os demais serviços de limpeza urbana;
- Em relação à gestão pós-consumo de resíduos sólidos, há experiências interessantes, como a do Programa Novo Campo promovida pelo Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (InpEV)[7], focada no setor de embalagem de agrotóxicos, e que pode servir de inspiração para as demais categorias de produtos que precisam empreender logística reversa dos resíduos, conforme definido na Lei Nº 12.305/2010. Em 2017, sistema empregado pelo InpEV processou 44.512 toneladas de embalagens vazias de defensivos agrícolas, que foram destinadas de forma ambientalmente correta em todo o país. Destas, 91% foram enviadas para reciclagem e 9% para incineração. O volume processado representa 94% do total das embalagens primárias comercializadas no Brasil.

6 O Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos (SNIS), um dos instrumentos previstos pela PNRS, disponível em: http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/instrumentos-da-politica-de-residuos/sistema-nacional-de-informacoes-sobre-a-gestao-dos-residuos.html

7 http://www.inpev.org.br/sistema-campo-limpo/

Figura 4.3 – Composição Gravimétrica dos RSU do Brasil



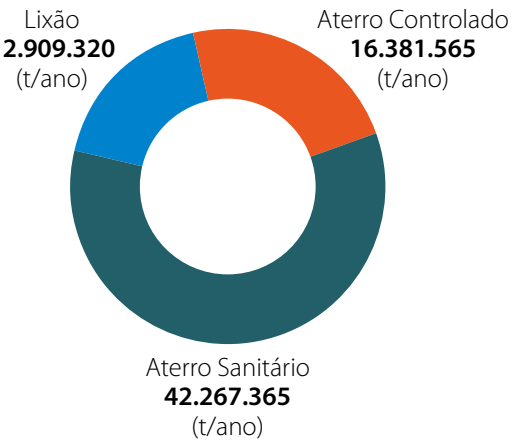
Fonte: ABRELPE 2011, extraído de Abramovay et al., 2013.

Tabela 4.2 – Participação dos Principais Materiais no Total dos RSU do Brasil

Material	Participação (%)	Quantidade (t/ano)
Metais	2,9	1.640.294
Papel, papelão e tetrapak	13,1	7.409.603
Plástico	13,5	7.635.851
Vidro	2,4	1.357.484
Matéria orgânica	51,4	29.072.794
Outros	16,7	9.445.830
Total	**100,0**	**56.561.856**

Fonte: ABRELPE e Panorama 2011, extraído de Abramovay et al., 2013.

Figura 4.4 – Disposição Final dos RSU Coletados no Brasil (Tonelada/Ano) em 2017



Fonte: ABRELPE, 2018.

Diferentemente do que é verificado na maioria das nações desenvolvidas, o Brasil não está diminuindo a quantidade de resíduos gerada por seu sistema econômico, nem em termos absolutos, nem quando o cálculo é feito *per capita*. É importante igualmente destacar que metade do que é coletado no país corresponde a lixo orgânico. Também, as taxas de recuperação, reciclagem ou reuso dos materiais utilizados na produção de bens e serviços é ainda muito inferior à registrada em países desenvolvidos, apesar das exceções brasileiras constituídas pelas latas de alumínio e, em menor proporção, pelo papel e pelos plásticos (Abramovay et al., 2013). A não recuperação, reciclagem ou reuso dos materiais constitui-se em desperdício na geração de riqueza, renda e emprego no Brasil, conforme mais adiante é discutido.

A título de comparação, segundo relatório produzido pelo Banco Mundial (2012), países de renda baixa possuem a maioria do seu lixo composta por resíduos orgânicos, situação que se verifica em menor proporção junto aos países de renda média baixa. Por outro lado, nos países de renda alta, a parcela de resíduos orgânicos tem participação proporcionalmente menor na composição dos seus resíduos. Ou seja, o predomínio crescente de recursos não bióticos acompanha o próprio aumento da renda em diferentes nações. De maneira geral, a ampliação da riqueza traduz-se por um decréscimo na participação relativa dos resíduos orgânicos e por simultaneamente um aumento do papel, dos metais e de outros produtos não bióticos na composição do lixo[8]. Associado a este cenário, o desperdício de alimentos é um problema que todas as nações globalmente precisam enfrentar.

Cerca de 24% de todas as calorias produzidas atualmente para consumo humano são perdidas ou desperdiçadas (Lipinski et. al, 2013). O desperdício de alimentos também impacta em geração (desnecessária e evitável) de emissões de GEE. Se o desperdício de alimentos global fosse considerado uma nação, ele seria a terceira maior emissora de GEE do planeta, com geração de 4.4 Gt CO_2e por ano, atrás apenas de China e Estados Unidos (Hanson et. al, 2015). Embora não existam estatísticas oficiais sobre o desperdício total de alimentos no Brasil, estudos apontam que o país desperdiça muitos alimentos nas primeiras etapas da cadeia, desde a colheita, passando pela distribuição, até chegar à mesa do consumidor. Pesquisa recente realizada pela Embrapa com apoio da Fundação Getúlio Vargas constatou que cada família brasileira joga fora quase 128 quilos de comida por ano, o que dá uma média de 41,6 quilos por pessoa (Bastos 2018 e Marsicano 2018).

Conforme alerta a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), desperdiçar alimentos significa desperdiçar água, solo, recursos da biodiversidade, horas de mão-de-obra empregada, dentre outros recursos, com geração de GEE que poderia ser evitada ou melhor gerida rumo à descarbonização (FAO,

8 A composição dos resíduos sólidos para países de renda baixa é 64% (orgânico), 17% (outro), 8% (plástico), 5% (papel), 3% (metal), 3% (vidro). Para países de renda média baixa é 59% (orgânico), 15% (outro), 12% (plástico), 9% (papel), 3% (metal), 3% (vidro). Para países de renda média alta é 54% (orgânico), 14% (papel), 13% (outro), 11% (plástico), 5% (vidro), 3% (metal). Já a composição do lixo para países de renda alta é 31% (papel), 28% (orgânico), 17% (outro), 11% (plástico), 7% (vidro), 6% (metal), World Bank (2012).

2013). Portanto, o desperdício de alimentos representa uma oportunidade perdida para melhorar a segurança alimentar, nacional e global, mas também para mitigar os impactos ambientais e relacionados ao uso ineficiente de recursos produtivos ao longo de cadeias alimentares.

Destaca-se que o desperdício de alimentos intensifica um problema contemporâneo: nas sociedades modernas, com a separação entre as atividades de produção e consumo, os potenciais nutrientes biológicos dos restos de alimentos, na maior parte das vezes, convertem-se em fontes importantes de contaminação do solo e da água. Quando dispostos em aterros precários são responsáveis pela emissão do metano, um dos mais prejudiciais componentes dos gases de efeito estufa. É neste sentido que Kevin Drew, especialista californiano no tema de resíduos reforça que hoje, nos Estados Unidos, a preocupação com o destino dos resíduos orgânicos é maior até que aquela que envolve outros recursos (Abramovay et al, 2013: 23).

4.2.2. Estado da Arte: Efluentes Líquidos

A relação dos efluentes líquidos com as emissões de GEE do setor de resíduos decorre do fato de que a emissão de metano (CH_4) é produzida quando os componentes orgânicos dos efluentes líquidos são degradados anaerobicamente em reatores – lagoas, fossas sépticas, valas para o esgoto sem rede coletora e no lançamento em corpos d'água. A extensão da produção de metano depende da quantidade de matéria orgânica, índices de temperatura e tipos de tratamento aplicados. É a quantidade de componentes orgânicos degradáveis presente nas águas residuais domésticas que define a magnitude das emissões de metano.

Compõem o conjunto de efluentes líquidos os domésticos e os industriais. Efluentes líquidos industriais são despejos líquidos provenientes exclusivamente de atividades de indústrias, compreendendo águas servidas de processos industriais e de refrigeração. As emissões associadas ao tratamento de efluentes industriais, assim como o apresentado para efluentes domésticos, relacionam-se principalmente à quantidade de carga orgânica presente no sistema de esgotamento.

Apesar de instituída a Lei Nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal correlata, a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), o Brasil ainda convive com grandes déficits na implementação de infraestruturas de saneamento básico, principalmente em relação ao abastecimento de água e de índices de cobertura e tratamento de águas residuais.

Há tempos o Ministério das Cidades junto com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) têm atuado juntos visando reduzir os déficits existentes. Criaram em 2008 o *Pacto Pelo Saneamento Básico*[9] que visou a criação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), reconhecendo as premissas e desafios da universalização do saneamento básico para todos os cidadãos, com integração de políticas, cooperação federativa, e visando uma melhoria na gestão dos serviços de sanea-

9 http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/PACTO_-_PLANSAB_-_20081216_Final_Internet.pdf

mento. O PLANSAB estabeleceu em 2013, data da sua criação, metas de curto, médio e longo prazo (2010, 2018, 2023, 2033) e com distinção espacial (regiões Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste e Brasil como um todo), como, por exemplo: a) percentual de domicílios urbanos e rurais servidos por rede coletora ou fossa séptica para os excretas ou esgotos sanitários – 92% para o Brasil em 2033, com metas diferenciadas no tempo e por regiões; b) percentual de tratamento de esgoto coletado – 93% para o Brasil em 2033, com metas diferenciadas no tempo e por regiões; c) percentual de domicílios urbanos e rurais com renda até três salários mínimos mensais que possuem unidades hidrossanitárias – 100% para o Brasil e todas as demais regiões em 2033[10].

Segundo o *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto 2017*, publicação do SNIS (2019), e dados produzidos pelo Instituto Trata Brasil (2019), tem-se que o Brasil possui:

- índice de atendimento dos municípios em áreas urbanas com rede de coleta de esgotos de 60,2% no país, todavia, em regiões como Norte e Nordeste esta porcentagem é bem inferior, 13,0% e 34,8%, respectivamente;
- cerca de 100 milhões de brasileiros sem acesso a serviço de coleta de esgoto;
- mais de 3,5 milhões de brasileiros, nas 100 maiores cidades do país, que despejam esgoto irregularmente, mesmo tendo redes coletoras disponíveis;
- cerca de 13 milhões de crianças e adolescentes sem acesso ao saneamento básico;
- 3,1% das crianças e dos adolescentes sem contar com sanitário em casa.

Apesar dos esforços na criação de instrumentos de política pública para o setor, persistem ainda grandes desafios em relação ao acesso e melhoria da qualidade do saneamento básico no Brasil, especialmente considerando as heterogeneidades espaciais existentes (**Tabelas 4.3 e 4.4**). Tomando como base indicadores básicos do SNIS, observa-se que regiões como Norte, Nordeste e Centro-Oeste estão atrás de outras como as Sudeste e Sul, com indicadores um pouco melhores no que diz respeito ao tratamento dos efluentes líquidos (SNS, 2019).

10 A lista completa de metas pode ser acessada na Tabela 6.2. *Metas para saneamento básico nas macrorregiões e no País (em %)*, páginas 120-121 e Tabela 6.3. *Metas para gestão dos serviços de saneamento básico nas macrorregiões e no País (em %)*, página 122, do documento do PLANSAB, disponível em http://www.cecol.fsp.usp.br/dcms/uploads/arquivos/1446465969_Brasil-PlanoNacionalDeSaneamentoB%C3%A1sico-2013.pdf

Tabela 4.3 – Evolução Histórica de Indicadores de Saneamento Básico no Brasil

Ano	População total com água tratada (%)		População total com coleta de esgoto (%)		Esgoto tratado x água consumida (%)		Perdas de água na distribuição (%)		Investimento (R$ bilhões médios de 2016)*	
	Brasil	100 maiores cidades	Brasil	100 maiores cidades	Brasil	100 maiores cidades	Brasil	100 maiores cidades	Brasil	100 maiores cidades
2011	82,4	93,5	48,1	69,1	37,5	46,7	38,8	39,8	11,9	6,3
2012	82,7	93,5	48,3	69,4	38,7	48,8	36,9	37,8	13,1	6,6
2013	82,5	92,9	48,6	69,1	39,0	48,0	37,0	39,1	13,2	6,4
2014	83,0	93,3	49,8	70,4	40,8	50,3	36,7	38,3	14,5	7,1
2015	83,3	93,8	50,3	71,1	42,7	51,7	36,7	37,8	13,3	7,1
2016	83,3	93,6	51,9	72,1	44,9	54,3	38,1	39,1	11,5	6,6
Avanços p.p	**0,9**	**0,1**	**3,8**	**3,1**	**7,4**	**7,7**	**0,7**	**0,7**	***Soma = R$ 77,49**	***Soma= R$40,10**

Fonte: Instituto Trata Brasil, 2018.

Tabela 4.4 – Situação do Tratamento de Esgoto no Brasil e 100 Maiores Cidades

	Brasil	100 maiores cidades
Volume de esgoto não tratado /ano	5,2 bilhões m^3	2,17 bilhões m^3
Número de piscinas olímpicas de esgoto / dia*	5.733	2.382

* Adotado o volume de 2.500m^3 para cada piscina olímpica

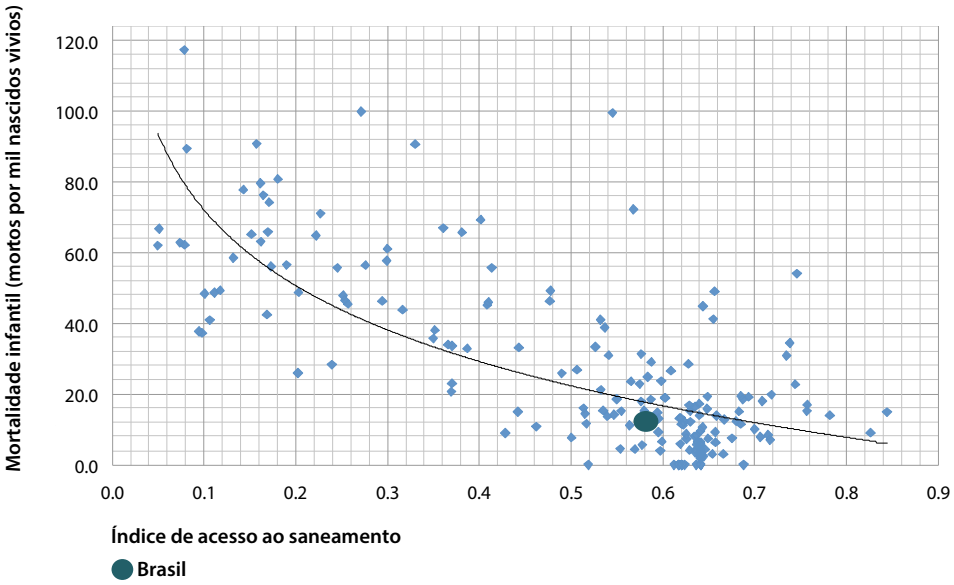
Fonte: Instituto Trata Brasil, 2018.

Destaca-se que a melhoria do saneamento básico no Brasil faz parte dos compromissos assumidos pelo governo em relação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Junto ao ODS 6, há compromisso firmado pelo governo brasileiro para que até 2030 haja a universalização do saneamento básico em todos os lares do país (**Box 1**). Simultaneamente, especialistas alertam para os impactos negativos de inadequada infraestrutura de saneamento básico para a saúde da população, argumento que deveria reforçar o apelo para acelerar a universalização do saneamento básico no Brasil.

Eli da Veiga (2013) chama atenção para o fato de que ao se negar o direito básico de acesso ao saneamento básico há um contingente de quase metade da população brasileira que é negativamente atingida, com preocupação especial sobre as crianças na primeira infância. Dentre as vítimas afetadas pelo contato com esgotamento inadequado, as principais são na sua maioria meninos e meninas na faixa de 01 a 06 anos de idade, mas, também, os natimortos e suas mães, pois o contato com esgoto aberto aumenta drasticamente o risco de que a gravidez não culmine em bebê vivo. E, na opinião do especialista, ainda existe um imensurável número de outras vítimas invisíveis, pois mesmo aqueles que conseguem sobreviver a infecções parasitárias na infância podem vir a ter a inteligência seriamente impactada até a vida adulta. Eli da Veiga cita o doutor brasileiro Drauzio Varella, para relembrar que como o cérebro é o órgão do corpo humano que mais consome energia – 87% no recém-nascido, 44% aos 5 anos, 34% aos 10 –, as infecções parasitárias desviam energia para ativar o sistema imunológico. Sendo assim, dessa forma, repetidas diarreias infantis roubam do cérebro as calorias necessárias para o seu desenvolvimento, podendo comprometer a inteligência de adultos. Cálculos recentes sobre os prejuízos escolares pesquisados por Veiga constatam que os impactos decorrentes de acesso inadequado ao saneamento básico e de contato com esgoto, na fase infantil, são piores até do que os prejuízos decorrentes da falta de água encanada (Eli da Veiga, 2017).

A situação de inadequação do saneamento também tem reflexos imediatos na taxa de mortalidade infantil, ver **Figura 4.5**. Este gráfico revela que quanto maior o acesso ao saneamento, menor a mortalidade infantil, tomando como referência a relação entre a taxa de mortalidade infantil e o acesso ao saneamento, para o conjunto dos países analisados na Figura 4.5 (Trata Brasil e CEBDS, 2014).

Figura 4.5 – Relação entre Saneamento Básico e Mortalidade Infantil



Fonte: Instituto Trata Brasil e CEBDS, 2014.

Para Eli da Veiga (2017), a promoção do acesso universal ao saneamento básico é uma agenda não só ambiental e de saúde, mas igualmente de combate às desigualdades e à pobreza. Evidências apontam que as sociedades que mais combatem as desigualdades são as que investem cuidados, recursos, em higiene e saneamento básico, por exemplo, e atenção na primeira infância.

Sete anos após o lançamento do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), voltado para a promoção de grandes obras de infraestrutura, como a expansão do saneamento, o Brasil ocupa a posição 112º frente a ranking mundial sobre saneamento básico, que contempla 200 países; segundo informações contidas em relatório produzido pelo Instituto Trata Brasil em parceria com o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS)[11].

11 Foi construído um Índice de Desenvolvimento do Saneamento, um indicador que leva em consideração a cobertura por saneamento atual e sua evolução recente. Esse índice é calculado aos moldes do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), considerando a percentagem da população com acesso a saneamento num determinado ano e o aumento da cobertura desses serviços entre 2000 e 2011. Quanto mais próximo de 1 melhor o indicador. Em 2014, o Brasil possuía o valor de 0,581. A saber, na região do Norte da África, o mesmo índice para o mesmo período é de 0,636 (Trata Brasil, CEBDS, 2014).

ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO
Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos

BOX 1– O ODS 6: ASSEGURAR A DISPONIBILIDADE E GESTÃO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA E SANEAMENTO PARA TODAS E TODOS

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), também conhecidos como Objetivos Globais, são um chamado universal para ação contra a pobreza, proteção do planeta e para garantir que todas as pessoas tenham paz e prosperidade. Os 17 ODS foram construídos baseados no sucesso passado dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, e incluíram novos temas, como a mudança global do clima, desigualdade econômica, inovação, consumo sustentável, paz e justiça, entre outras prioridades. Os objetivos são interconectados, assim, o sucesso de um ODS envolve o combate a temas que estão associados a outros objetivos.

O Brasil em relação ao **ODS 6**, estabeleceu a seguinte lista de compromissos e metas que se relacionam ao componente de **saneamento básico** e gestão adequada dos **resíduos sólidos**:

- Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade;
- Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente;
- Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso;
- Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento.

É importante destacar que o ODS 12, voltado a assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis, guarda também relação com as discussões deste capítulo setorial sobre resíduos. Isto porque, há uma série de compromissos e metas relacionados à desmaterialização da economia, gestão sustentável e uso eficiente dos recursos naturais, para uma melhor gestão dos resíduos sólidos, ou mesmo de combate ao desperdício de alimentos, composta neste segundo ODS[12].

12 A lista de todos os compromisso e metas brasileiras encontra-se em https://nacoesunidas.org/pos2015/

4.3. Descarbonização da Economia, Bem-Estar Social e Promoção de Benefícios Econômicos no Setor de Resíduos

A melhoria das condições de saneamento básico e para uma gestão adequada dos resíduos sólidos faz parte de uma agenda de desenvolvimento, com benefícios e oportunidades econômicas e para maior promoção de bem-estar social. O seu alcance significa que o Brasil entra no rol das nações mais desenvolvidas do planeta, gerando emprego, renda e igualmente qualidade de vida para a sua população. Esta melhoria é baseada em cardápio de políticas públicas e opções tecnológicas, que dependendo das escolhas realizadas pelos formuladores de política produz-se impactos diferenciados – maiores ou menores – em relação à geração de emissões de GEE. Uma escolha equilibrada é poder conciliar os desafios de promoção de bem-estar social com o da descarbonização da economia, para garantir níveis seguros para a sobrevivência humana na Terra. A vantagem deste equilíbrio é que se permite gerar renda, produto e emprego para o país, simultaneamente à produção de impactos socioambientais positivos, no nível doméstico. A seguir, são citados alguns exemplos e dados sob este marco lógico que valoriza co-benefícios entre a descarbonização e o desenvolvimento social e ambiental.

Por exemplo, com relação à gestão adequada dos resíduos sólidos e aproveitamento de materiais, estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) revelou que o Brasil perde R$ 8 bilhões anualmente por não reciclar todo o resíduo que pode ser reciclável, erroneamente encaminhado para os aterros e lixões das cidades brasileiras (Carleial & Oliveira Cruz, 2010). Isto porque, aterros devem receber somente o rejeito, ou seja, o material pós-consumo que não tem possibilidade alguma de reciclagem ou reaproveitamento. Estimativas apontam que há uma geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil em torno de 160 mil toneladas diárias. Deste montante, 30% a 40% são considerados passíveis de reaproveitamento e reciclagem. Com um setor ainda pouco explorado no país, apenas 13% desses resíduos são encaminhados para a reciclagem (Pereira da Silva, 2017).

Estimativas do primeiro trabalho do IPEA, na época, mencionavam uma geração de renda a partir da reciclagem que o Brasil já realizava (de maneira subaproveitada) na faixa de R$ 1,4 bilhão a R$ 3,3 bilhões anuais. A melhoria deste desempenho perpassa investimentos em toda a cadeia da reciclagem, *design,* capacitação dos catadores de materiais recicláveis e com reformulação de aspectos tributários. O referido estudo também estimou monetariamente uma série de benefícios socioambientais da reciclagem por categoria de materiais, sintetizados na **Tabela 4.5** mais adiante.

Em concordância aos princípios da própria Política Nacional de Resíduos Sólidos, que compatibiliza os desafios de inclusão social e ambientais, aumentar as taxas de reciclagem brasileira pode colocar o Brasil na vanguarda de uma economia moderna e inovadora, descarbonizada e pautada na desmaterialização da economia, e, combatendo condições de pobreza que assolam os catadores de materiais recicláveis.

Ao se reutilizar, reaproveitar e reciclar os materiais inorgânicos não apenas está se reduzindo as emissões de GEE que são produzidas com o tratamento dos resíduos e da disposição final nos aterros e lixões, como simultaneamente melhora-se a eficiência no uso de matérias-primas e recursos bióticos que atualmente vão se tornando cada dia mais escassos. Tais recursos estão presentes nos bens e produtos que são hoje frequentemente e incessantemente descartados, em parte decorrentes da instauração de uma sociedade líquida e de consumo, com obsolescência programada (Bauman, 2001, 2009 e 2010). O caso dos eletroeletrônicos é um exemplo clássico onde o reaproveitamento, o reuso e a reciclagem dos materiais vão precisar ser imperativos já num curto prazo. Não é à toa que grandes corporações e especialistas do mundo dos negócios lançaram-se em empreendimentos técnicos e metodológicos para melhor compreender a situação da escassez dos materiais, contabilizando-os e monitorando-os, além de entender o impacto da sua produção, como as emissões de GEE, só para citar uma dimensão, para, ao final, vir a buscar soluções empresariais. Por fim, mas não menos importante, a desmaterialização da economia e a reciclagem reduzem a geração das emissões de GEE decorrentes da produção de bens e serviços nos demais setores (florestal, de alimentos, energético e dos variados ramos industriais).

O movimento chamado Lucros & Perdas Ambientais (*Environmental Profit & Losses ou E P&L*), com origem no trabalho inovador liderado por Jochem Zeitz, CEO e presidente da Puma, conseguiu contabilizar todos os danos ambientais produzidos pela cadeia de valor da empresa em cinco áreas: consumo de água, produção de lixo, erosão da biodiversidade, emissões de gases de efeito estufa e usos do solo. Em outras palavras, conseguiu mensurar o grau de dependência da Puma em relação ao capital natural. Chegou-se à conclusão de que se efetivamente estes danos fossem precificados e cobrados, a Puma teria um saldo líquido de apenas 75 milhões de euros em 2010, porque tais danos consumiriam 145 milhões do seu lucro de 220 milhões de euros (Speranza & Abramovay, 2013).

Assim, em termos práticos, o balanço de lucros e perdas ambientais está sendo usado para orientar a estratégia de inovação tecnológica da empresa, em direção à fabricação de produtos que evitem tais danos. O especialista em finanças sustentáveis, Cary Krosinsky engrossa o coro e defende que é preciso ir além da mensuração das emissões de GEE dos processos de produção e consumo de uma empresa, porque isso é necessário, porém limitado, visto que o impacto ambiental de uma companhia não se resume às suas emissões de CO_2 somente. O investidor tem que conhecer o impacto de uma empresa como um todo, os riscos envolvidos, considerando todas as suas operações. Logo, é preciso entender quais são as atividades que a qualquer momento podem se tornar um grande risco para o negócio. Melhor administrar uma provável escassez de recursos, via reuso, reaproveitamento e reciclagem dos materiais faz parte do pacote de preocupações e soluções, para proteger os custos de produção, preço dos produtos e margem de lucro final da atividade empresarial (Krosinsky et. al, 2012).

Retomando ao caso típico do lixo eletrônico, a saber, em regiões desenvolvidas como na Europa, o lixo eletrônico cresce a uma taxa três vezes maior que o lixo convencional (Trigueiro, 2012). Um dos grandes desafios é não somente a instauração de legislação e marcos regulatórios para gerir a área, mas a toxicidade do lixo eletrônico, que dificulta a segregação de suas partes, para reaproveitamento dos materiais.

Conforme alerta Abramovay et al. 2013, apesar do alto valor contido nos dispositivos eletrônicos, menos de 15% é reaproveitado globalmente (United Nations University, 2012 – apud GEO-5 for Business, nota 190). Essa situação é particularmente grave no Brasil, país campeão global no conjunto do mundo em desenvolvimento, considerando a geração de lixo eletrônico de computadores *per capita* (0,5 quilo por habitante por ano), seguido por Índia, Marrocos e África do Sul (0,4 quilo/hab/ano) e China (0,2 quilo/ hab/ano).

O lixo eletrônico contém uma série de metais de grande valor[13] e em geral dispostos em partes muito pequenas, difíceis de segregar e reciclar, exigindo, portanto, trabalho altamente especializado para a sua separação. Muitos desses metais estão sob contexto de escassez, com tendência de alta dos preços da matéria-prima[14].

Tabela 4.5 – Estimativa dos Benefícios Ambientais da Reciclagem

Material	Redução do Consumo de Energia (R$/t)	Redução da Emissão de GEE (R$/(tCO2e)	Redução do Consumo de Água (R$/m3/t)	Redução de Uso do Solo para Monocultura de Árvores-eucalipto (R$/ha. ano/t)	Total
Aço	26,37	48,12	0,11	0,47	75,07
Alumínio	168,86	169,77	0,25	–	338,88
Celulose	9,72	9,02	0,32	5,38	24,44
Plástico	5,16	51,13	0,02	–	56,31
Vidro	3,18	8,36	0,01	–	11,55

Fonte: elaboração própria a partir de Carleial & Oliveira Cruz, 2010.

Com relação ao setor de saneamento básico, os benefícios de um melhor tratamento, que precisa levar em consideração opções de política pública considerando oportunidades, custo-efetividade e potencial para menores emissões de GEE – quando possível – são também enormes (**ver Figura 4.6**). Há benefícios para a qualidade de vida da população, para a educação, produtividade do trabalho e geração de riqueza. Na Figura 4.6, observa-se que no Leste da Ásia e na América Latina, o retorno do investimento em saneamento básico e em promoção de acesso à água potável é maior vis-à-vis as demais regiões do globo.

13 Cobre e estanho, metais especiais como cobalto, índio e antimônio e metais preciosos como platina, prata, ouro, paládio e tungstênio.

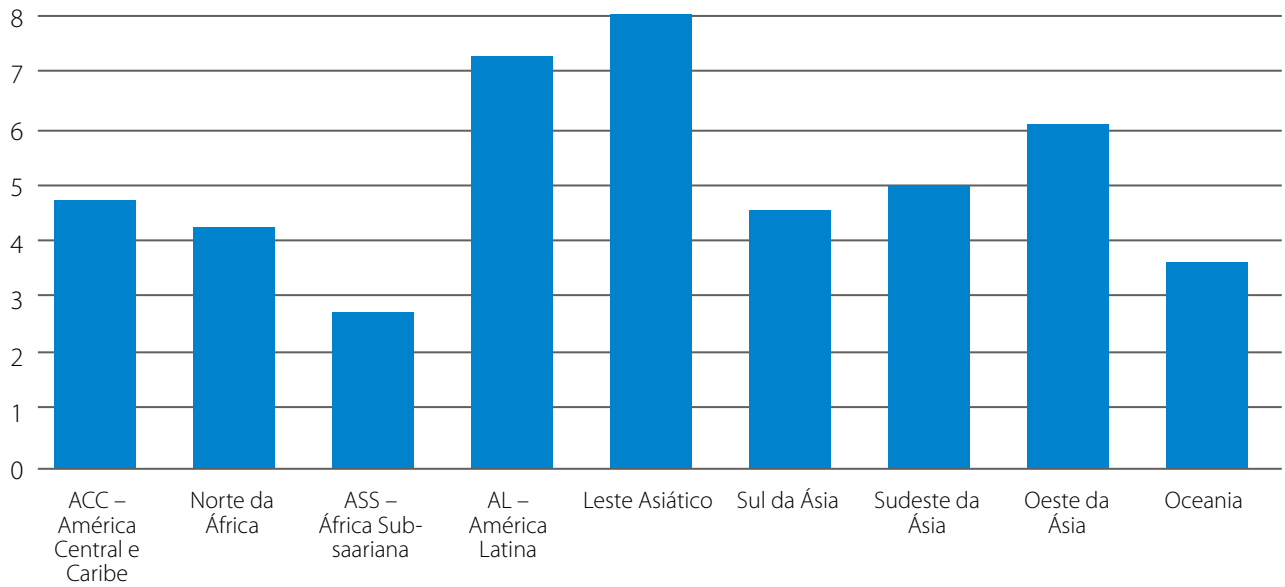
14 Em 2017, a empresa Codelco, maior produtora mundial de cobre, numa perspectiva das mais otimistas, estimou que dado o balanço deficitário entre oferta e procura da matéria-prima, o preço do cobre assumiria recordes de preço, de US$ 10.000 a tonelada (Farchy, Burton e Blas, 2017).

O saneamento reduz de forma expressiva as internações hospitalares por infecções gastrintestinais, com impactos positivos na redução dos gastos com serviços de saúde. Dados do Instituto Trata Brasil (2018) revelam que com a universalização do saneamento básico poderia ocorrer uma redução dos gastos públicos do Sistema Único de Saúde (SUS) de 0,297 bilhões de reais ao ano e, simultaneamente, um aumento da produtividade do trabalho com reflexões para a geração de riqueza de 9,519 bilhões de reais ao ano. Isto porque a recorrência de infecções em crianças, jovens e adultos abala a saúde, prejudicando o desempenho escolar e reduzindo a produtividade do trabalho, com consequências imediatas e de longo prazo sobre os salários. Já na vida adulta, infecções provenientes da falta de esgotamento podem causar doenças afetando a produtividade do trabalhador ou mesmo afastando a mão-de-obra de suas atividades laborais por um período.

A expansão do saneamento a realizar-se em vintes anos (2016-2036) como modela o Instituto Trata Brasil, geraria um balanço positivo de 1,521 trilhão de reais, descontados os custos com a universalização (Instituto Trata Brasil, 2018).

Para a geração de renda e emprego, a universalização do saneamento básico poderia gerar ainda maiores efeitos positivos, vis-à-vis ao que já ocorre hoje. Dado que entre 2004 e 2016, as operadoras de saneamento do Brasil obtiveram receitas operacionais de R$ 48,813 bilhões por ano, em média. Segundo números do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), essas operações sustentaram 128,7 mil empregos diretos por ano no país. Esses empregos implicaram despesas de R$ 17,787 bilhões com salários, remunerações, benefícios e contribuições trabalhistas. Desse total, cerca de 77% foi gasto diretamente com os funcionários e 23%, com encargos e contribuições sociais (Instituto Trata Brasil, 2018).

Figura 4.6 – Razão Benefícios-Custos de Intervenções para Garantir o Acesso Universal ao Saneamento e Água Potável



Fonte: *The New Climate Economy* (NCE), 2018.

4.4. Opções Tecnológicas para a Descarbonização do Setor de Resíduos

Esta seção oferece insumos para a elaboração de uma estratégia brasileira de desenvolvimento de baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) no longo prazo, que leve à descarbonização, contribuindo para a sua definição, prevista para 2020, no âmbito da Convenção Global do Clima (UNFCCC).

São apresentadas opções tecnológicas de mitigação para o setor de Resíduos extraídas de dois documentos-chaves, "Brasil Carbono Zero em 2060" e "Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil". O primeiro é de autoria de equipe técnica do Centro Clima da COPPE/UFRJ, sob coordenação geral de Emilio La Rovere e o segundo é uma produção do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Estes dois documentos baseiam-se em modelagem de cenários, cujas premissas básicas e características gerais dos modelos foram discutidas no primeiro capítulo (Seção 1.4). Completam a análise as recomendações de políticas de mitigação para o setor debatidas no âmbito das reuniões promovidas pela Câmara Temática de Visão de Longo Prazo (CT LT) do FBMC[15] e também as promovidas no âmbito da CT de Cidades e Resíduos, que elaborou no passado recomendações voltadas para a implementação da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil[16].

De maneira didática é apresentado em sequência o cardápio de opções tecnológicas recomendado por cada estudo[17]. Este cardápio apóia a transição do Brasil rumo à descarbonização da economia no longo prazo, por tanto, em direção a um balanço de emissões líquidas zero. As recomendações são acompanhadas de breve detalhamento das premissas adotadas específicas ao setor de Resíduos. Recomenda-se que os documentos sejam consultados na íntegra, visto a seguir ser apresentado apenas uma síntese dos trabalhos.

4.4.1. Brasil Carbono Zero em 2060

Este estudo considerou a redução da destinação inadequada de resíduos, conforme previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e na Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), além de maiores taxas de reciclagem e compostagem para pequenas cidades.

Apesar das emissões de GEE do setor de Resíduos não serem significativas no total

15 Conforme atas das reuniões disponíveis em: https://forumbrasilclima.org/documentos/

16 Ver em: https://drive.google.com/file/d/1puFdkXpY3Ms8yyMPB7z2mIen7dDcFiha/view. Neste caso considera-se que a descarbonização da economia é um processo que demanda uma trajetória a partir de medidas de curto, médio e longo prazo, portanto, as recomendações para implementação da NDC foram aqui consultadas.

17 Os textos a seguir são um fichamento praticamente na íntegra de passagens dos referidos trabalhos. Há apenas edições marginais para tornar a leitura mais amigável, todavia, orientada para não comprometer o conteúdo das recomendações.

do país, alguns métodos de disposição final e tratamento de resíduos de forma adequada emanam biogás, produzindo grandes emissões de GEE, o que poderia acarretar um aumento substancial das emissões futuras deste setor. Para evitar isso, é esperado um aumento da capacidade de coleta e queima de biogás oriundo de aterros (formado principalmente por metano), e também o aproveitamento do biometano produzido pelo enriquecimento do biogás e substituição do gás natural, utilizado em usinas térmicas para geração de eletricidade ou como combustível veicular, contribuindo para reduzir as emissões do setor energético. Analogamente, para esgotos domésticos haveria maior aproveitamento do biometano gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). A indústria também contribuiria com a redução das emissões do tratamento de efluentes, através do incremento da captura de biogás e a produção de biometano para geração e consumo próprio de eletricidade.

O cenário esperado pode ser resumido no conjunto das seguintes metas quantitativas e qualitativas definidas pelo estudo, conforme a seguir:

Para resíduos sólidos urbanos (RSU)

- Universalização da coleta a partir de 2030 com aumento da disposição final em aterros sanitários alcançando 70% do total coletado em 2060. Ao final do período, nos aterros haveria destruição de 45% do metano gerado e aproveitamento energético de 20%;
- Dos resíduos coletados, a incineração de RSU com geração de eletricidade alcançaria 8,2% e a biodigestão 10,3%;
- Unidades de compostagem aeróbia seriam implantadas em cidades com menos de 100 mil habitantes (6,9% do total de resíduos coletados em 2060);
- A taxa de reciclagem seria seis vezes maior em 2060 do que em 2015.

No tratamento de esgotos e efluentes

- O nível de coleta de esgotos alcançaria 84% do esgoto gerado em 2060. Destes, 47% seriam tratados em estações de tratamento (ETEs), sendo 56% de forma anaeróbia destruindo 80% do metano que gerariam;
- O tratamento de efluentes industriais em ETEs anaeróbias alcançaria 55% do total gerado, em 2060. Tais ETEs capturariam metano para uso energético.

Com estas premissas sobre caminhos tecnológicos para o setor de Resíduos, é possível estimar as emissões de GEE ao longo do tempo, contribuindo para o alcance de balanço líquido em 2060 para a economia como um todo.

Tabela 4.6 – Emissões Totais do Setor de Resíduos no Período 2010-2060 (Mt CO_2e)

Setor	2010	2020	2030	2040	2050	2060
	Mt CO2e					
Resíduos	71	80	76	77	73	65
Resíduos sólidos urbanos e industriais	37	48	44	44	40	34
Efluentes	34	32	33	33	32	31
Esgotos domésticos	16	16	18	18	17	15
Efluentes industriais	17	16	15	15	16	16

Fonte: Brasil Carbono Zero em 2060 (La Rovere et al, 2018).

4.4.2. Opções de Mitigação em Setores-Chave do Brasil

Uma premissa geral do estudo do MCTIC (2017) para o setor é considerar a manutenção da evolução do Produto Interno Bruto (PIB) e da população, assim como de níveis de produção de resíduos por habitante. Por outro lado, é previsto o atendimento e universalidade dos serviços de tratamento com custo viáveis e qualidade. Adicionalmente, como as emissões de metano são as mais importantes para o setor e todos os seus subsetores, sua mitigação tem como consequência o estabelecimento de uma cadeia de suprimentos voltada para os serviços de degradação e uso deste, com papel de destaque para a recuperação e uso energético do metano, por meio da produção de biogás ou biometano.

Para o segmento de **resíduos sólidos urbanos (RSU)**, com a incorporação de práticas mais sustentáveis na gestão dos resíduos, os esquemas de triagem e segregação dos RSU apresentarão papel mais relevante. Assim, como consequência de maior segregação e triagem dos resíduos, haverá mudança na matriz de disposição final dos resíduos, com participação mais elevada da reciclagem, compostagem e biodigestão anaeróbia, por conta de maior disponibilidade de matéria orgânica. Essa segregação maior também proporciona uma possibilidade maior de produção de combustível derivados de resíduos, o que faz esquemas de incineração energética encontrarem alguns nichos, apesar de ainda bastante limitados. No longo prazo, com maior difusão desses esquemas tecnológicos e maior pressão externa ao setor, a disposição de aterros perde participação para esses novos esquemas.

Adicionalmente, considera-se um *backcasting* para a participação das diferentes tecnologias de tratamento que partem do entendimento de que as soluções de aterro simples com *flare*, ainda que percam participação a partir de 2020, permanecerão preponderantes. Isso segue o entendimento de que as práticas de licitação e licenciamento serão realizadas considerando opções com mínimo de degradação do biogás. Todavia, com o passar do tempo a consolidação de práticas mais sus-

tentáveis no mercado levará a um cenário de maior aproveitamento energético do biogás. Essas práticas mais sustentáveis, potencialmente, impedirão licenciamentos de aterros sanitários sem a degradação do metano. Assim, esquemas de recuperação de biogás, degradação e uso encontrarão maior difusão em relação ao cenário de referência do modelo no longo prazo.

Para o segmento de **efluentes líquidos,** a dinâmica para transição de práticas mais sustentáveis apresenta maior inércia do que as mudanças observadas no setor de resíduos sólidos, porque existe ainda uma grande tarefa de universalização dos serviços de água e esgoto a ser feita, bem como grandes montantes de investimentos já em execução ou planejados para o setor.

A principal prática de mitigação do segmento será a recuperação do biogás produzido por meio de esquemas de tratamentos anaeróbicos, seja para degradação ou para uso energético, atividade que segue o desenvolvimento das cadeias de suprimentos dos serviços de recuperação e uso de metano dos RSU. Isso decorre do fato de que os usos energéticos do biogás seguem, em geral, os mesmos modelos de negócios que os estabelecidos no mercado de gestão de RSU, contudo a geração de eletricidade apresenta maior facilidade em sua difusão.

Para o segmento de **resíduos da agropecuária,** a dinâmica de transição para práticas mais sustentáveis e baixo intensivas em carbono é semelhante à da gestão dos resíduos sólidos urbanos. Contudo, devido à sua importância para a economia brasileira e sua participação nas emissões de GEE do setor de Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo, o segmento da agropecuária apresenta maior capacidade de implementação de uma trajetória de baixo carbono.

O maior potencial de mitigação de emissões de GEE se encontra nos resíduos da pecuária, por meio da adequação do tratamento dos resíduos utilizando processos de biodigestão anaeróbica com recuperação do biogás para uso energético. Logo, ainda que com significativo potencial de aproveitamento energético, em particular para a geração de eletricidade, o aproveitamento de resíduos da agricultura fica restrito no cenário do modelo, o que justifica ênfase nos resíduos da pecuária. Destaca-se que a opção de confinamento e intensificação da pecuária como estratégia de produção agrícola baixo intensiva em carbono, por outro lado aumenta as emissões de metano. Neste caso, o tratamento de resíduos da pecuária confinada através da biodigestão anaeróbica e recuperação energética do biogás é uma necessidade que se impõe para um cenário de baixo carbono.

Assim, com base nas melhores tecnologias disponíveis para o setor, são consideradas as seguintes atividades no abatimento de emissões de GEE:

- Degradação de biogás de aterro com *flare*;
- Aproveitamento do biogás de aterro para geração de energia elétrica;
- Aproveitamento de biogás de aterro para produção de biometano;
- Difusão da biodigestão da matéria orgânica de RSU e geração de eletricidade;
- Difusão da biodigestão da matéria orgânica de RSU e produção de biometano;
- Compostagem da fração orgânica de RSU;
- Incineração de RSU com aproveitamento energético;
- Aproveitamento do biogás em sistemas de tratamento anaeróbico de ETE para geração de eletricidade;
- Biodigestão de resíduos da agropecuária com aproveitamento energético.

Para levar à implementação deste receituário de opções tecnológicas que permite para 2050 o abatimento de até 1.863.380 $GgCO_2e$ no setor de tratamento de resíduos sólidos e efluentes, mais 244.970 $GgCO_2e$ no subsetor de resíduos da agropecuária, o estudo do MCTIC (2017) discute também os temas de custo-efetividade, barreiras, inovações e instrumentos econômicos, de forma a apoiar o potencial que estas opções setoriais oferecem para a descarbonização da economia brasileira[18].

Em 2018, no âmbito da discussão promovida pelo FBMC em torno da estratégia de implementação da NDC brasileira, parte destas medidas já havia sido recomendada para uma transição rumo à geração de menores emissões para o setor, em documento produzido pelo fórum. Este documento também chamou atenção, na ocasião, para: a) necessidade de ampliar medidas como maior aproveitamento por meio de compostagem dos resíduos sólidos orgânicos e, b) ampliação de programas para logística reversa, visando à redução dos resíduos na fonte e o aumento da coleta seletiva de resíduos (FBMC, 2018:22-24). Neste último caso, medida que contribui para o estabelecimento de uma economia circular no Brasil, considerada, vis-à-vis o cenário atual, mais disruptiva rumo à desmaterialização da economia.

18 Para esta discussão consultar as seções 8 à 10 do referido trabalho.

Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira

Setor Industrial

PEXEL.COM

05

5.1. Introdução[1]

A indústria brasileira é responsável por 22% do Produto Interno Bruto (PIB) e emprega 20% dos trabalhadores do Brasil. A indústria de alimentos e bebidas é a que mais contribui para essa participação na economia, representando cerca de um quarto do PIB industrial, seguida pela de coque, produtos derivados do petróleo e biocombustíveis, e química (IBGE, 2017, ABIQUIM, 2019b). Em relação as emissões de gases de efeito estufa (GEE) deste setor, elas podem ser divididas em dois grupos: i) provenientes da queima de combustíveis fósseis para a geração de energia, ii) provenientes de processos industriais, uma vez que o setor industrial realiza transformações químicas, como, por exemplo, na produção de cimento e aço, e de uso de produtos, como na produção de alumínio.

No Brasil, em 2010, o setor industrial emitiu 7% das emissões totais de GEE segundo sistema de dados, o SIRENE, do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC **(Figura 5.1)**. Ao longo do tempo as emissões têm sido crescentes, tendo quase dobrado entre o período de 1990 e 2010 **(Tabela5.1)**. Apesar da baixa emissão do setor vis-à-vis os demais setores, os agentes econômicos que integram o setor industrial brasileiro, em geral, têm trajetória de engajamento na luta contra as mudanças climáticas, comprometendo-se historicamente com a agenda de baixo carbono.

Com base em dados mais atualizados do SEEG (2019), entre 2015 e 2017 observa-se uma redução das emissões de GEE no setor industrial, todavia, decorrente da redução do seu nível de atividade em virtude da crise econômica enfrentada pelo Brasil desde 2014, e, portanto, não resultante da ampliação de adoção de tecnologias baixo intensivas em carbono. Em 2017, as emissões totais do setor industrial corresponderam a 5% das emissões totais do Brasil. Dentre as emissões de energia, o setor industrial foi responsável por aproximadamente 17% das emissões de GEE em 2017, ficando atrás apenas do setor de transporte que representa 48% das emissões neste mesmo ano (SEEG, 2019)[2].

Os principais segmentos industriais que emitem GEE são: Ferro-gusa e Aço, Cimento e Química. Estes três juntos são responsáveis por quase metade (49%) das emissões energéticas do setor em 2017 (SEEG, 2019). Assim, são os três setores escolhidos para uma análise mais aprofundada sobre o seu perfil e características e acerca das tecnologias de baixo carbono que permitam a descarbonização do setor industrial brasileiro, contribuindo para a descarbonização da econonomia brasileira como um todo.

As próximas seções realizam em sequência uma breve análise do panorama do setor industrial brasileiro com foco nos três subsetores relatados acima, discute

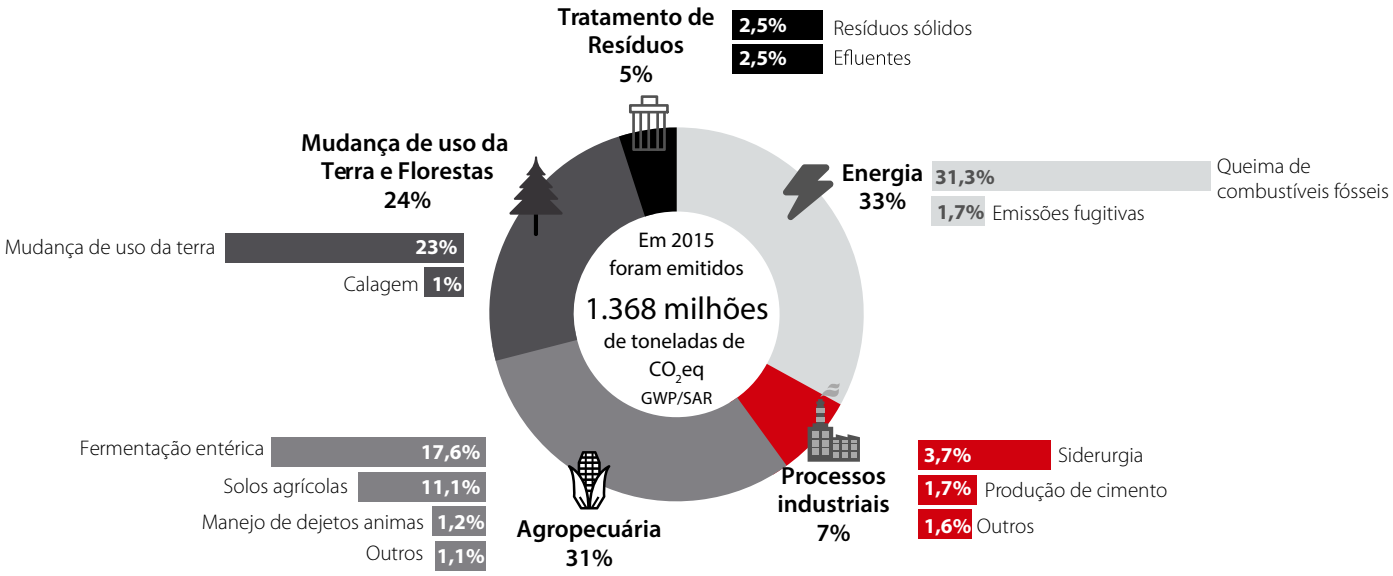
1 Este capítulo contou com a colaboração de Otto Hebeda (PPE/COPPE-UFRJ), que juntamente com Juliana Speranza e William Wills é autor principal deste capítulo.

2 O setor de energia compreende as emissões provenientes da geração de energia elétrica, queima oriunda do setor de transporte (de cargas e de passageiros) e na demanda final de energia pelos demais setores, incluindo o setor industrial com 17%.

as oportunidades e benefícios da descarbonização para a indústria, e aponta recomendações de opções tecnológicas que podem apoiar a descarbonização do setor industrial no Brasil. Estas recomendações, conforme detalhado no capítulo introdutório, são extraídas dos estudos "Brasil Carbono Zero em 2060" produzido pelo Centro Clima da COPPE/UFRJ e "Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil", produzido pelo MCTIC.

O que se pretende com este capítulo é convidar a sociedade brasileira, especialistas, atores do setor privado, representantes do setor público, organizações não-governamentais e Academia, para uma reflexão, discussão e tomada de decisão em torno de caminho de descarbonização da economia e que deve ser trilhado pelo Brasil. Uma primeira reflexão em torno do Setor Industrial é feita a seguir, baseada na Ciência e em dados amplamente reconhecidos como de qualidade técnica, referência e confiabilidade, a fim de promover uma discussão pública sobre a descarbonização do setor.

Figura 5.1 – Contribuição do Setor Industrial para as Emissões Totais de GEE do Brasil



Fonte: SIRENE, 2019.

Tabela 5.1 – Evolução Histórica das Emissões de GEE do Setor Industrial

SETOR	Ano	Unidade	CO_2	CH_4	N_2O	HFC – 23	HFC – 32	HFC – 125	HFC – 134a	HFC – 143a	HFC – 152a	CF_4	C_2F_6	SF_6	NO_x	CO	NMVOC
Processos Industriais	1990	Gg	43.551	47,1	11,83	0,1202	-	-	0,0004	-	-	0,3022	0,0263	0,0100	42,1	900,8	345,0
	1995		54.643	41,2	18,57	0,1530	-	-	0,0028	-	-	0,3060	0,0264	0,0142	53,2	778,0	426,2
	2000		65.991	43,7	21,14	-	-	0,0071	0,4988	0,0075	0,0001	0,1465	0,0117	0,0153	94,9	790,5	532,8
	2005		68.016	54,9	24,27	-	-	0,1249	1,2279	0,0929	0,1748	0,1239	0,0104	0,0252	125,2	1.022,4	616,6
	2010		80.786	45,3	2,15	-	0,1059	0,5012	2,7196	0,4671	-	0,0767	0,0059	0,0087	100,8	809,6	736,8
	Var. 90/05	%	56	17	105	-100			306.875			-59	-60	152	197	13	79
	Var. 05/10		19	-17	-91			301	121	403	-100	-38	-43	-65	-19	-21	19

Fonte: MCTIC, 2016. *Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*.

5.2. Panorama de Setores Industriais Selecionados: Ferro-gusa e Aço, Cimento e Química

Esta seção faz uma breve descrição das características e perfil destes três subsetores selecionados para análise neste capítulo, dado as suas maiores contribuições para as emissões totais do setor industrial brasileiro. Para as recomendações tecnológicas de baixo carbono rumo à descarbonização é útil a apresentação deste diagnóstico, que permite a definição da linha de base em cada subsetor, assim como dos desafios e metas a serem alcançados.

5.2.1. Panorama da Indústria de Ferro-gusa e Aço

A indústria de aço brasileira conta com um parque produtor de 29 usinas e com uma capacidade instalada total de 50,4 megatonelada (Mt) de aço bruto por ano. Em 2018 ela gerou uma produção de 34,7 Mt de aço (IABR, 2019), colocando o Brasil na posição de 9º maior produtor de aço mundial[3] (World Steel Association, 2019). Entre 2005 e 2018 a produção de aço brasileira apresentou um incremento de 8%, entretanto, a partir de 2011, ano de maior produção no período (35,2 Mt de aço), a indústria apresentou declínio na quantidade de aço produzido até 2016, chegando a 31,1 Mt de aço, e voltando a crescer nos dois anos seguintes (IABR, 2019).

Existem duas principais rotas de produção de aço: a rota integrada, principal rota usada no Brasil, que utiliza minério de ferro e uma pequena porção de sucata metálica e a rota semi-integrada, cuja produção de aço é feita a partir de, majoritariamente, sucata (IABR, 2017).

Na rota integrada, a produção de aço é feita utilizando um agente redutor que pode ser o carvão mineral ou o carvão vegetal, este usado em fornos de menor capacidade. Esta rota pode ser dividida em cinco etapas principais: (i) preparação da carga; (ii) redução; (iii) refino; (iv) lingotamento; e (v) laminação.

Na preparação da carga o minério de ferro passa por um processo chamado de sinterização, cuja finalidade é produzir um material (sínter) de granulação mais grossa para ser utilizado no alto-forno. Outra matéria-prima que deve ser preparada é o carvão, que é tratado em um processo chamado de coqueificação, no qual transforma o carvão em coque, material poroso com alto teor de carbono. A carga preparada é levada a um equipamento chamado alto-forno, um reator cilíndrico, trabalhando em contracorrente a uma temperatura de 1500°C, que reduzirá o minério de ferro a ferro-gusa, além de gerar dois subprodutos, a escória e o gás de alto-forno. Em seguida o ferro-gusa segue para uma aciaria a oxigênio (*Basic Oxygen Furnace – BOF*) onde ocorrerá o refino, removendo carbono e impurezas como o enxofre contidas no material, transformando o ferro-gusa em aço. Após esta etapa o aço líquido é convertido em placas, tarugos ou outros na etapa de

3 Os três maiores produtores mundiais são: China com 928 Mt de aço seguido de Índia e Japão com 106 e 104 Mt de aço produzido em 2018 (World Steel Association, 2019).

lingotamento, que moldará o aço. Por fim, acontece a laminação do aço, processo que consiste na transformação do aço moldado no lingotamento em uma lâmina de metal de espessura reduzida. O aço que sai do lingotamento é preaquecido até obter uma determinada plasticidade e ele é passado através de dois cilindros, sendo comprimido (MCTIC 2017, EPE 2018b). A rota semi-integrada não possui a etapa de preparação da carga assim como de redução. Nela a matéria-prima, a sucata ou unidades manufaturadas de ferro, é inserida no forno elétrico a arco (FEA) onde ela será derretida e convertida a aço.

No período compreendido entre 2005 e 2017, observa-se uma tendência de queda no consumo de energia do setor de ferro-gusa e aço. Há um declínio de 5,7% no consumo energético, passando de 16.914 ktep para 15.948 ktep (EPE, 2017). As principais fontes de energia consumidas pelo setor de ferro-gusa e aço são: coque de carvão mineral (46%), carvão vegetal (15%), carvão mineral (13%), eletricidade (10%), gás de coqueria (7%) e gás natural (7%), (EPE, 2017). No período compreendido entre 2005 e 2017, o que chama atenção é que a parcela do combustível renovável, ou seja, carvão vegetal, caiu de 28% para 15%, enquanto a do carvão mineral subiu 10%, chegando a 46% em 2017 (EPE, 2017).

Na produção de aço, os GEE são emitidos pela queima de combustíveis fósseis e como fruto de outras transformações químicas do processo de redução do aço. Primeiramente serão apresentadas as emissões energéticas deste setor e, em seguida, após uma breve explicação sobre a emissão de GEE durante a etapa de redução, serão apresentadas as emissões exclusivas deste processo.

A **Figura 5.2** apresenta a quantidade, em $MtCO_2eq$, de GEE emitidos entre 2005 e 2017 proveniente do consumo energético do setor de ferro-gusa e aço. Nesta figura observa-se o crescimento das emissões no período, passando de 5,9 $MtCO_2eq$ para 7,3 $MtCO_2eq$. Destacam-se como principais combustíveis responsáveis pelas emissões do setor o gás natural seco e o gás de coqueria, que contribuem para 80% das emissões totais.

Figura 5.2 – Evolução das Emissões de GEE Provenientes do Consumo Energético do Setor de Ferro-gusa e Aço

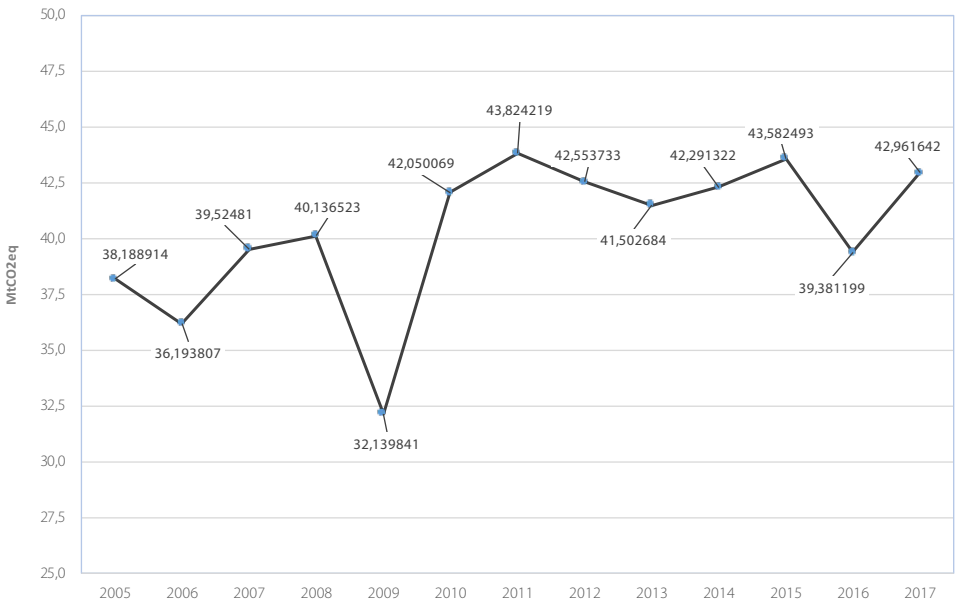
	Em $MTCO_2e$			
Tipo de combustível	**2005**	**2010**	**2015**	**2017**
Alcatrão	0,169	0,361	0,350	0,336
Biomassa		0,002	0,008	0,007
Carvão (vapor)		0,014	0,008	0,007
Diesel mineral	0,137	0,047	0,087	0,085
GLP	0,264	0,187	0,066	0,115
Gás de coqueria	2,152	2,896	2,597	2,889
Gás natural seco	2,866	2,294	3,031	2,911
Outras não renováveis			0,020	0,841
Óleo combustível	0,266	0,637	0,065	0,078
Óleo diesel	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: elaboração própria com base em SEEG (2019).

Conforme anteriormente exposto, no processo de fabricação de aço utilizando a rota integrada existe a redução do minério de ferro em ferro-gusa no alto forno. A principal reação que acontece nesta etapa é que o óxido de ferro (Fe_2O_3) reage com o monóxido de carbono (CO) resultando em ferro (Fe) e dióxido de carbono (CO_2).

A **Figura 5.3** apresenta o total de emissões proveniente do processo de redução na indústria de aço, durante o período de 2005 à 2017. No primeiro ano as emissões totalizaram 38,2 $MtCO_2eq$, atingindo um pico em 2011 de 43,8 $MtCO_2eq$ e caindo para 43,0 $MtCO_2eq$ em 2017, representando um aumento de 12,6% nas emissões deste processo no período analisado (SEEG, 2019).

Figura 5.3 – Evolução das Emissões de GEE do Processo de Redução do Setor de Ferro-gusa e Aço



Fonte: elaboração própria com base em SEEG (2019).

As emissões de processo correspondem a 86% das emissões totais da indústria de aço, com 43,0 $MtCO_2eq$ emitidos em 2017 *versus* 7,3 $MtCO_2eq$ emitidos a partir do consumo de combustíveis para fins energéticos (SEEG, 2019).

5.2.2. Panorama da Indústria de Cimento

A indústria de cimento brasileira é formada por 24 grupos empresariais que possuem 100 fábricas totalizando uma capacidade de produção de 100 milhões de toneladas de cimento por ano (SNIC, 2019a). No cenário mundial, o Brasil está entre os maiores produtores do globo, com uma produção de aproximadamente 52 milhões de toneladas, o que o coloca na posição de 12º maior produtor no ranking internacional (USGS, 2019).

Entre 2005 e 2014 a indústria de cimento brasileira apresentou enorme crescimento, passando de aproximadamente 39 milhões de toneladas de cimento produzidas em 2005 para 71 milhões em 2014, ou seja, houve um aumento de 82%. Entretanto, a partir de 2014, quando se iniciou a crise econômica no Brasil, ocorre uma queda de 25% da produção, alcançando o patamar de 53 milhões de toneladas de cimento produzidas em 2018, nível equivalente à produção verificada em 2008 (SNIC, 2019b, 2016; USGS, 2019).

A produção do cimento Portland pode ser divida nas seguintes etapas: (i) extração da matéria-prima; (ii) britagem; (iii) moagem da mistura crua; (iv) homogeneização da mistura crua; (v) calcinação; (vi) moagem do clínquer; (vii) despacho do cimento (SNIC, 2019c).

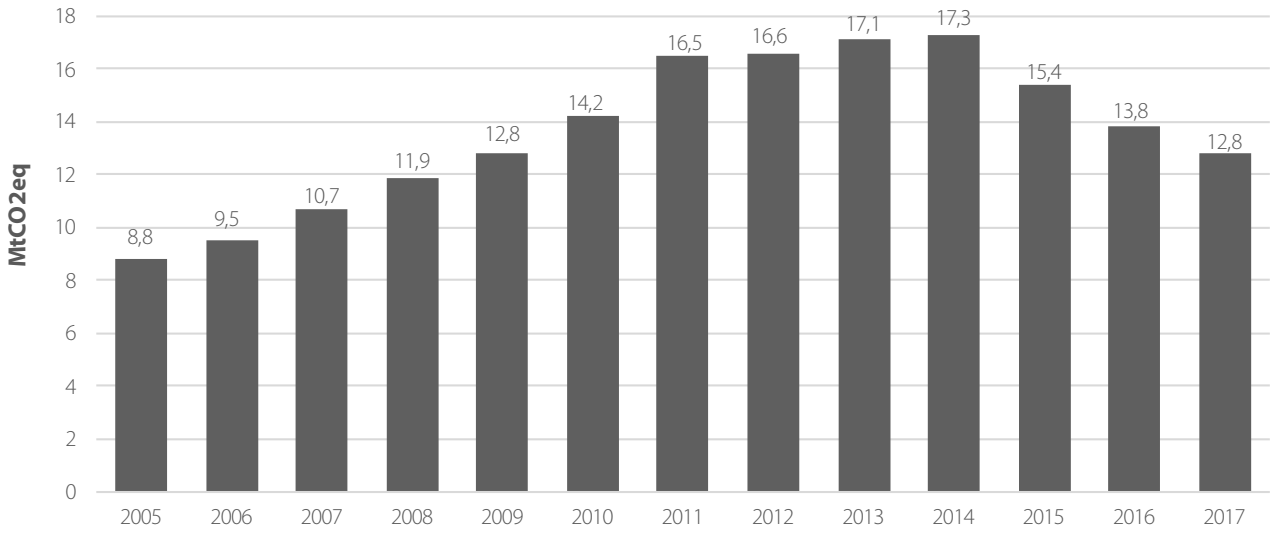
A primeira etapa da fabricação de cimento começa na extração do calcário, principal matéria-prima, depois este material passa pela britagem para que tenha seu volume reduzido e depois para a moagem e a homogeneização a fim de se obter um material com volumes exatos. Este produto é moído para se obter um pó muito fino chamado de farinha ou cru, que é levado para uma torre de pré-calcinador onde é aquecido a aproximadamente 800°C e depois para um forno rotativo a 1500°C onde é formado o clínquer. Este produto intermediário é resfriado a menos de 100°C e moído junto com outros aditivos como escória siderúrgica, pozolanas, entre outros, para formar o cimento Portland (MCTIC & ONU Meio Ambiente 2017a, Votorantim, 2019).

Entre 2005 e 2014 houve um crescimento de 84% no consumo de energia no setor de cimento, acompanhando o aumento da produção no período. Com a queda na produção a partir de 2014, decorrente da crise econômica brasileira, ocorre uma redução de 25% no consumo, considerando dado de 2017 em relação à 2014 (EPE, 2017).

O coque de petróleo é a principal fonte energética do setor de cimento brasileiro, representando 71% dentre o total de combustível consumido pelo setor em 2017. Em segundo lugar vem a eletricidade com consumo bastante inferior, representando 13% do total no mesmo ano. Importante destacar que entre 2005 à 2017 é observado um crescimento de 6% no consumo de coque, que era antes de 65%. Simultaneamente ocorre uma queda do consumo de carvão vegetal, passando a representar 2% do consumo total em 2017, mas, em 2005, esse valor tinha sido de 9% (EPE, 2017).

Em 2005 as emissões da indústria de cimento provenientes do consumo energético totalizaram 8,8 $MtCO_2eq$ alcançando um pico de 17,3 $MtCO_2eq$ em 2014, o que corresponde a um aumento de 96,6%. Com a queda da produção a partir de 2014, houve a redução do consumo energético e consequentemente das emissões de GEE, que alcançam o patamar de 12,8 $MtCO_2eq$ em 2017, portanto, cerca de 26,0% inferior ao que foi observado em 2014 (**Figura 5.4**).

Figura 5.4 – Evolução das Emissões de GEE Provenientes do Consumo Energético do Setor de Cimento



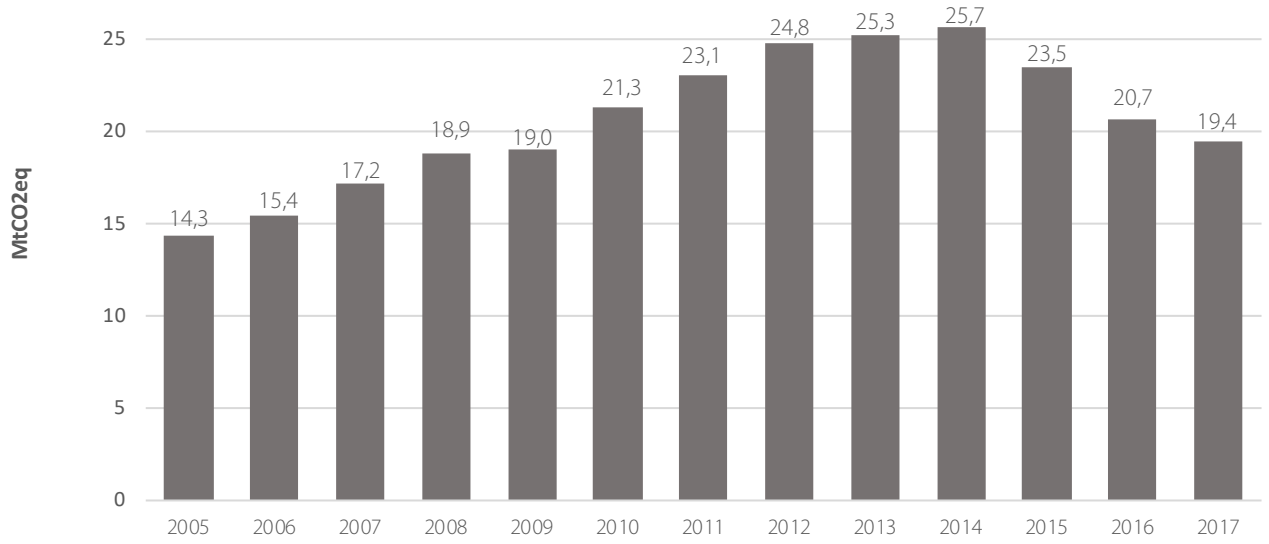
Fonte: elaboração própria com base em SEEG (2019).

Em relação ao perfil das fontes de emissão em energia, nota-se que não houve variação significativa nas fontes de emissão do setor de cimento no período 2005 à 2017, sendo o coque de petróleo a principal fonte com cerca de 90% das emissões deste setor (SEEG, 2019).

As emissões de processo do setor de cimento estão relacionadas à etapa de calcinação, onde o clínquer é produzido. Nela, o calcário, constituído por $CaCO_3$, é aquecido nos fornos produzindo cal (CaO) e CO_2.

As emissões anuais provenientes do processo de calcinação entre 2005 e 2017 são apresentadas na **Figura 5.5**. Partindo de 14,3 $MtCO_2eq$ no primeiro ano, as emissões alcançam o seu valor máximo em 2014, de 25,7 $MtCO_2eq$, cerca de 79,7% superior as emissões observadas em 2005. Entretanto, a queda da produção causou a queda das emissões de processo entre 2014 e 2017, reduzindo-se para 19,4 $MtCO_2eq$, um valor 24,5% menor do que o de 2014 (SEEG, 2019).

Figura 5.5 – Evolução das Emissões de GEE do Processo de Calcinação do Setor de Cimento



Fonte: elaboração própria com base em SEEG (2019).

Em 2005 as emissões totais do setor de cimento foram de 23,1 $MtCO_2e$, chegando a 43,0 $MtCO_2eq$ em 2014 e caindo para 32,2 $MtCO_2eq$ em 2017. Nota-se que as emissões de processo correspondem a aproximadamente 60% no período analisado (SEEG, 2019).

5.2.3. Panorama da Indústria Química

A indústria química pode ser considerada a mais diversificada dentre os segmentos industriais, com mais de três mil produtos (MCTIC, 2017). Os produtos desta indústria foram classificados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) juntamente com a Associação Brasileira da Indústria Química (Abiquim), baseando-se nos critérios da ONU da seguinte forma (ABIQUIM, 2019a):

I. Fabricação de produtos inorgânicos

II. Fabricação de produtos orgânicos

III. Fabricação de resinas e elastômeros

IV. Fabricação de fibras artificiais e sintéticas

V. Fabricação de defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários

VI. Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal

VII. Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e produtos afins

VIII. Fabricação de produtos e preparados químicos diversos

IX. Fabricação de produtos farmoquímicos

No globo, a indústria química brasileira ocupa o 6º lugar em vendas líquidas atrás da China, Estados Unidos, Japão, Alemanha e Coréia do Sul. Ela possui um faturamento estimado no Brasil de 462,3 bilhões de reais no ano de 2018, valor 264% superior ao faturamento verificado em 2005, portanto, com crescimento relevante observado no período. O setor químico brasileiro é responsável por 12% do PIB industrial, ficando em terceiro lugar ao se comparar todos os setores industriais, atrás apenas do de alimentos e bebidas, coque e produtos derivados de petróleo e biocombustíveis (IBGE, 2017, ABIQUIM, 2019b).

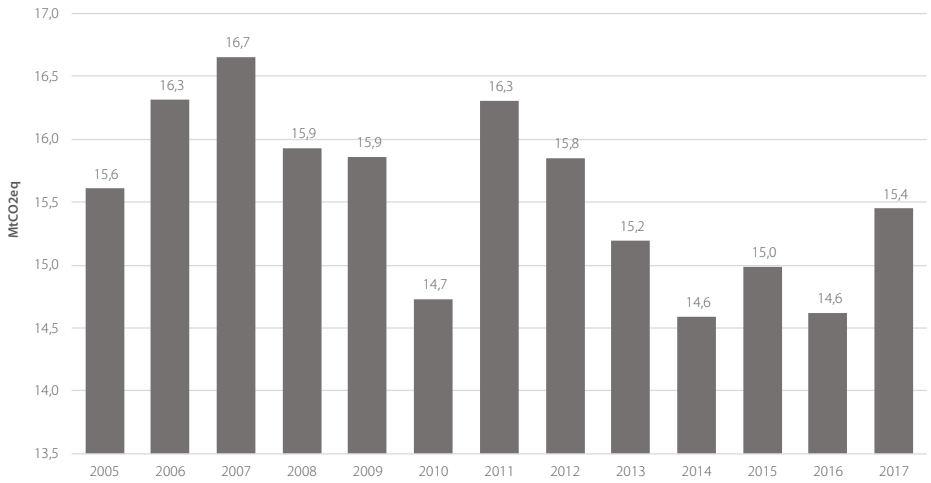
Produtos químicos de uso industrial são os que possuem maior faturamento dentro do conjunto de produtos resultantes da indústria química, com mais da metade do faturamento de 2018, 51%, seguido de produtos farmacêuticos, com 13% e produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, com 9% (ABIQUIM, 2019b).

Em relação ao consumo energético da indústria química, entre 2005 e 2017 houve um leve decréscimo, de 2,3%, passando de 7.132 ktep consumidos para 6.969 ktep. Entretanto, no período citado, ocorreram grandes variações no consumo, com um pico de 7.715 ktep em 2007, valor 8,1% maior do que o de 2005, caindo para 6.708 ktep em 2014, menor valor da série histórica (EPE, 2017).

Em relação as principais fontes de combustível do setor químico, destaca-se a participação de gás natural que foi responsável por 31% do consumo de energia em 2017, eletricidade com 27%, e outras fontes não renováveis com 38%. No que se refere ao perfil das fontes energéticas, não houve mudanças consideráveis entre o período de 2005 a 2017, salvo a participação de óleo combustível e que apresentou uma queda de 7% neste período (EPE, 2017).

A indústria química apresenta emissões de GEE decorrentes tanto do consumo de combustíveis fósseis para a geração de energia quanto decorrentes dos processos industriais. Em relação ao primeiro tipo, a **Figura 5.6** mostra as emissões verificadas entre 2005 e 2017 em $MtCO_2eq$.

Figura 5.6 – Evolução das Emissões de GEE Provenientes do Consumo Energético do Setor Químico



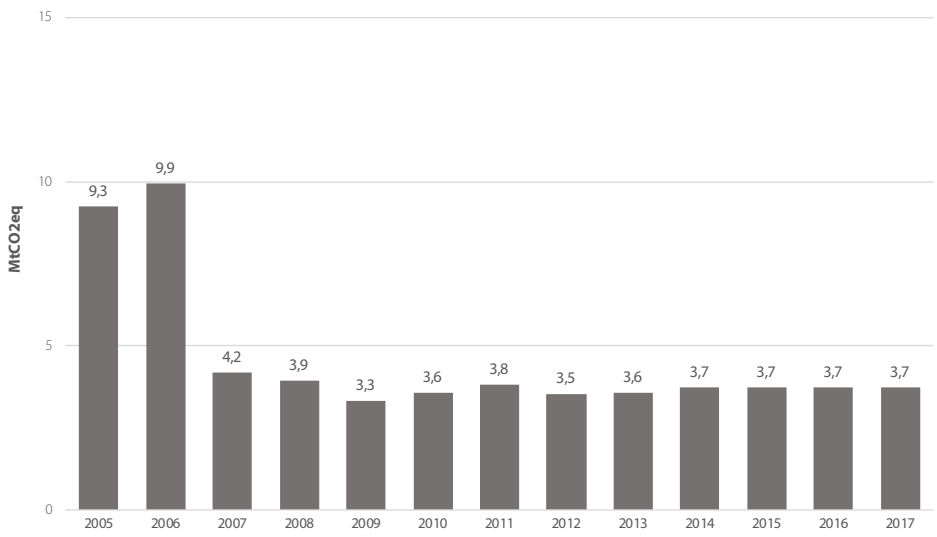
Fonte: elaboração própria com base em SEEG (2019).

As emissões de processo na indústria química estão relacionadas com a produção dos seguintes compostos: (i) amônia; (ii) ácido nítrico; (iii) ácido adípico; (iv) caprolactama; (v) carbureto de cálcio; (vi) dicloroetano e cloreto de vinila; (vii) metanol; (viii) eteno; (ix) óxido eteno; (x) acrilonitrila; coque de petróleo calcinado; (xi) negro-de-fumo; (xii) ácido fosfórico; (xiii) outros produtos químicos (MCTI, 2015)[4].

Na **Figura 5.7** são apresentadas as emissões totais de processos da indústria química entre 2005 e 2017. No primeiro ano, as emissões de processo totalizaram 9,3 $MtCO_2eq$, alcançando seu maior valor no ano seguinte, 9,9 $MtCO_2eq$. Logo após, ocorre uma drástica redução, caindo para 4,2 $MtCO_2eq$ em 2007. Esta redução está relacionada com a redução das emissões de ácido adípico, por meio da implementação de um projeto em 2007 que destruía o gás N_2O, gás de efeito estufa com poder de aquecimento global 265 vezes maior que o do CO_2 (MCTIC, 2015). Entre 2007 e 2017, houve um leve decréscimo nas emissões, chegando ao nível de 3,7 $MtCO_2eq$ em 2017, cerca de 11,9% menor que o valor verificado em 2007 e 62,6% menor que em 2005 (SEEG, 2019).

4 No Relatório de Referência do Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Indústria Química, produzido pelo MCTIC (2015), é apresentado como são emitidos os GEE de cada um dos processos supracitados, além da metodologia utilizada para calcular a quantidade emitida.

Figura 5.7 – Evolução das Emissões de GEE do Processo do Setor Químico



Fonte: elaboração própria com base em SEEG (2019).

5.3. Opções Tecnológicas para a Descarbonização dos Sub-setores Industriais de Ferro-gusa e Aço, Cimento e Química

Existem diversas formas de reduzir as emissões de GEE do setor industrial. De forma geral, podemos classificar todas as medidas em alguns grupos: eficiência energética, eletrificação, utilização de combustíveis renováveis, captura de carbono, medidas pelo lado da demanda e outras inovações tecnológicas (McKinsey, 2018).

A eficiência energética é uma das principais medidas utilizadas para descarbonizar a indústria devido ao grande potencial que existe para a redução do consumo energético, utilizando melhores tecnologias. Como diversos processos são intensivos em combustíveis fósseis, a redução do gasto energético para a realização das mesmas tarefas permite a redução das emissões de GEE (Henriques, 2010) .

Combustíveis renováveis, como o carvão vegetal, outras biomassas ou até mesmo biogás podem ser utilizados no lugar de combustíveis fósseis. Exemplo dessa utilização ocorre na produção de aço, que dentre suas rotas principais possui uma que utiliza majoritariamente carvão vegetal, ou também na indústria de alimentos e bebidas que utiliza largamente bagaço de cana (EPE, 2017, IABR, 2010).

As medidas pelo lado da demanda consistem na redução da demanda de um determinado produto industrial e, assim, reduzem indiretamente as emissões de GEE. Um exemplo disso seria a redução do consumo de aço, substituído por outros materiais como a madeira (McKinsey, 2018). Além disso a expansão da economia circular, permitindo maior reciclagem de produtos, como plástico e aço, também traria redução nas emissões. Na União Europeia, estima-se que 56% das emissões em 2050 poderão ser reduzidas se houver o desenvolvimento de uma economia circular na indústria de cimento, plástico e alumínio, através da recirculação de

materiais, produtos mais eficientes e modelos de negócio circular (Material Economics, 2018, ONU, 2018). Recircular estes materiais requer muito menos energia do que a produção de novos materiais, reduzindo a necessidade da queima de combustíveis fósseis. Também, a redução de perdas de materiais na fabricação de produtos, através da melhoria dos processos de produção, associado ao *design* de produtos que permite utilizar menos materiais, oferecem grandes oportunidades para a redução das emissões no setor industrial. O desenvolvimento de modelos de negócios circulares, como compartilhamento de produtos, reduz a demanda e consequentemente as emissões relacionadas à produção.

Outras inovações consistem em tecnologias, técnicas ou processos industriais inovadores que ainda estão em fase de maturação tecnológica. Aditivos alternativos na indústria de cimento, processos eletroquímicos e controle de processos avançados permitiriam a redução drástica do consumo energético ou de emissões relacionadas com o processo (McKinsey, 2018).

Evidentemente que para cada segmento industrial e para cada processo de fabricação dos produtos industriais há um conjunto de medidas de mitigação específicas a ser implementado. Nas seções seguintes serão abordadas para cada um dos subsetores industriais selecionados neste capítulo, algumas dessas tecnologias e processos que podem ser utilizados para descarbonizar a indústria brasileira. Estas recomendações foram extraídas de referências técnicas, especialmente os estudos "Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil", produzido pelo MCTIC (2017) e "Brasil Carbono Zero 2060" produzido pelo Centro Clima da COPPE/UFRJ (2018), além de contribuições recebidas nas reuniões da Câmara Temática de Visão de Longo Prazo (CT LT) do FBMC e outras complementares.

O que se pretende com este capítulo é convidar a sociedade brasileira, especialistas, atores do setor privado, representantes do setor público, organizações não-governamentais e Academia, para uma reflexão, discussão e tomada de decisão em torno de caminho de descarbonização da economia e que deve ser trilhado pelo Brasil.

5.3.1. Opções Tecnológicas para a Descarbonização do Setor de Ferro-gusa e Aço

Em linhas gerais, a descarbonização da indústria de ferro-gusa e aço pode ser feita através da implementação de tecnologias mais eficientes dentro de cada planta industrial, reduzindo assim o consumo de combustíveis fósseis. Outra maneira de reduzir as emissões deste segmento seria aumentar a parcela de aço produzido que utiliza carvão vegetal como combustível redutor, cujas emissões são drasticamente inferiores dado que a fonte energética é renovável.

Em cada uma das etapas da produção de aço existem oportunidades para se reduzir as emissões através da diminuição do consumo energético ou do consumo de combustíveis redutores no caso do alto-forno. No estudo do MCTIC (2017) são listadas mais de setenta tecnologias, consideradas as melhores tecnologias disponíveis (MTD)[5], que podem ser implementadas visando a mitigação das emissões de GEE. De acordo com este estudo, a implementação de MTDs representaria uma redução de 13% nas emissões do subsetor em 2050. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) também discute dezenas de medidas que podem ser utilizadas neste segmento, a fim de reduzir o consumo de energia e consequentemente as emissões de GEE. A implementação de medidas já utilizadas pela indústria seria capaz de trazer uma economia de 8% a 23% no consumo energético das etapas de produção de aço (EPE, 2018b). Henriques et al. (2010) revela que com a otimização da combustão, recuperação de calor e a implementação de novos processos é possível reduzir de 5% a 35% o consumo energético. A seguir são apresentadas algumas dessas medidas de acordo com as etapas de produção, que podem ser introduzidas, para promover a redução das emissões, tomando como referência estudo da EPE (2018b).

Na etapa de **coqueificação**, onde o carvão é transformado em coque, pode-se destacar:

- recuperação do gás de coqueria;
- controle da umidade do carvão;
- apagamento do coque a seco;
- fornos com recuperação de calor;
- sistemas para o controle de temperatura do processo;
- inversores de frequência nos compressores;
- controle de perdas e pressão interna do forno.

Na **sinterização** é possível aplicar:

- a recuperação de calor residual;
- redução dos vazamentos do ar, que reduz o consumo de eletricidade;
- aumento da profundidade do leito a fim de produzir uma carga de melhor qualidade e reduzir o consumo de energia;
- utilização dos resíduos gerados como combustíveis;
- melhoria dos processos de automação e controle dos processos.

No **alto-forno** é possível:

- aproveitar a alta pressão de topo e recuperar gases reduzindo o consumo energético com a turbina de topo;
- aumentar a injeção de carvão pulverizado reduzindo o consumo de coque;
- aumentar a injeção de gás natural que também reduz o consumo de coque;

5 Em MCTIC (2017) foram consideradas MTD as tecnologias demonstradas em nível operacional, comprovadas economicamente e tecnologicamente, ou já implementadas na indústria.

- recuperar o gás de alto forno (BFG) e utilizá-lo no pré-aquecimento de ar;
- melhorar o sistema de automação e controle.

Durante a **etapa de produção de aço na aciaria**:

- o calor sensível do gás de aciaria pode ser recuperado e reutilizado;
- é possível fazer a recuperação do próprio gás de aciaria a ser reaproveitado;
- pode-se utilizar sucata na carga fria o que minimiza o consumo de recursos;
- pode-se utilizar *drivers* de velocidade variável, que permitem a variação da velocidade dos ventiladores usados no controle da qualidade do ar.

Na **laminação** podem ser listadas como medidas que reduzem o consumo de energia:

- controle de processo nos laminadores de tiras a quente;
- uso de queimadores mais eficientes;
- controle de oxigênio do sistema de ventilação de ar de combustão com uso da tecnologia *Variable Speed Drive*;
- recuperação do calor da água de resfriamento;
- recuperação do calor de fornos das linhas de tratamento térmico.

5.3.2. Opções Tecnológicas para a Descarbonização da Indústria de Cimento

De maneira geral, quatro caminhos podem ser tomados para descarbonizar a indústria de cimento: (i) melhorar a eficiência energética; (ii) promover a substituição por combustíveis alternativos menos intensivos em carbono; (iii) reduzir a razão de clínquer/cimento; (iv) utilizar medidas inovadoras que permitam a recuperação de calor e a captura de carbono (IEA, 2018).

O documento do MCTIC (2017) apresenta diversas medidas que permitem a economia de energia resultando numa redução das emissões de GEE, como melhorias no processo que reduzem as emissões durante a calcinação. Aqui serão listadas algumas tecnologias que apresentam comprovação tecnológica e econômica ou já estão em utilização na indústria.

A **adoção de processo por via seca com múltiplos estágios de pré-aquecedores e pré-calcinadores** permite grandes economias de energia pois estes equipamentos utilizam o calor residual do forno e do resfriador do clínquer para aquecer e alimentar o forno (MCTIC, 2017).

Na etapa de produção de clínquer é possível ter ganhos de eficiência energética **melhorando o controle e otimizando este processo, além de melhorar a qualidade do clínquer**. Ainda nesta etapa, a **inserção de refratário** no forno é outra medida que pode ser utilizada para economizar energia, uma vez que os

isolantes reduzem a perda de calor no forno. Melhorias no sistema de combustão do forno, como a utilização da **tecnologia *gyro-therm*** que melhora a qualidade da chama, permitem atingir economias de 8% no consumo energético (Worrell & Galitsky, 2008 apud MCTIC 2017).

Em relação às emissões de processo, pode-se **adicionar matéria-prima não carbonatada**, como o carboneto de escória, na substituição de calcário, componente que na reação de calcinação gera CO_2. Este carboneto de escória é composto por hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) e produz CaO e água (H_2O), sem gerar dióxido de carbono, reduzindo assim estas emissões (Worrell & Galitsky, 2008 apud MCTIC 2017).

Outra medida para se reduzir as emissões de processo é **utilizar aditivos ao cimento como pozolanas, material silicioso ou sílico-aluminoso ou calcário**. Estes aditivos reduzem a necessidade de clínquer no cimento e consequentemente reduzem as emissões geradas na produção deste produto intermediário (CSI/ECRA apud MCTIC, 2017). No Brasil a razão de clínquer/cimento é de 64%. Com a utilização desses aditivos ela pode ser reduzida para até 50% (MCTIC, 2017).

5.3.3. Opções Tecnológicas para a Descarbonização da Indústria Química

Devido a heterogeneidade da indústria química, existem medidas que podem ser aplicadas a diversos processos distintos que são específicas a cada um dos processos. Em MCTIC (2017) são listadas diversas medidas de mitigação para o setor. Estas, se implementadas, podem contribuir para uma redução de 18% nas emissões do setor até 2050. Em EPE (2018c), por sua vez, também são apresentadas diversas tecnologias que permitiriam a redução do consumo de energia da indústria química, oferecendo uma economia de 5% a 18%. A seguir, são listadas, com base nestas referências, as opções tecnológicas para o setor químico que possuem maiores potenciais de redução de GEE.

- Adoção de queimadores *low NOx* em fornos;
- Realizar monitoramento e manutenção de caldeiras;
- Realizar recuperação de calor em caldeiras;
- Realizar monitoramento e manutenção de sistemas motores;
- Realizar recuperação de hidrogênio na produção de amônia;
- Realizar recuperação de hidrogênio na produção de metanol;
- Realizar integração de processos com análise *pinch* na petroquímica básica;
- Realizar integração de processos com análise *pinch* na produção de amônia;
- Realizar reciclo de condensado em caldeiras;
- Adoção de pré-reformador na produção de amônia e de metanol;
- Realizar maior uso de gás natural em caldeiras e fornos.

É importante destacar que para todas as medidas listadas acima e que contribuem para a redução das emissões de GEE dos setores químico, de ferro-gusa e aço, e cimento, há uma ampla quantidade de barreiras para a sua implementação numa maior escala e que precisa ser superada. Políticas públicas nas áreas de: financiamento, marcos regulatórios para dar maior segurança a contratos de compra dos materiais, financiamento para pesquisa e desenvolvimento (P&D), capacitação técnica de pessoal nas melhores tecnologias, criação de selo de eficiência energética industrial, estabelecimento de limites de emissão para incentivar o uso de medidas mais eficientes ou menos poluentes, são exemplos que devem compor campos temáticos de uma política industrial orientada para a descarbonização destes setores.

No Estudo Brasil Carbono Zero 2060 (FBMC, 2018), apesar de serem consideradas medidas orientadas[6] para a redução das emissões nos processos produtivos destes três setores, o cenário esperado é de crescimento das emissões do setor industrial. A saber, as emissões em $MtCO_2e$ saltam de 14 para 20, 6 para 7, 14 para 22, 162 para 213, respectivamente para os setores de cimento, ferro-gusa e aço, químico e industrial como um todo, no período considerado de 2010 a 2060 (**Tabela 5.2**). Portanto, as medidas contribuem para uma redução da intensidade energética em 2060, mas ainda assim há emissões no nível absoluto crescentes, para os setores. Não obstante, sem estas medidas o nível absoluto de emissões pode vir a ser ainda maior no futuro. Resultados que são também corroborados pelo estudo do MCTIC (2017).

No trabalho produzido pelo MCTIC, as emissões previstas da indústria de ferro-gusa e aço têm um crescimento de aproximadamente 100% até 2050, em relação a 2010, no cenário de referência (REF). Nos cenários de baixo carbono (BC e BC+I)[7], há uma redução esperada de 12% e 35% respectivamente. Para a indústria de cimento, o crescimento das emissões em 2050 em relação a 2010 no cenário REF é de 37%, atingindo 48 $MtCO_2eq$. Ao implementar as medidas de mitigação neste segmento, é esperada uma redução de 13% nestas emissões e quando utilizadas medidas inovadoras, as emissões podem vir a cair para 31$MtCO_2eq$, portanto, com uma redução esperada de 35% das emissões em relação ao cenário de referência. Na indústria química, as emissões em 2050 apresentaram um aumento previsto de aproximadamente 168% em relação aos valores de 2010, no cenário REF. No cenário BC, estas emissões reduziram para 44 $MtCO_2eq$, valor 17% inferior do que o cenário de referência e para o cenário BC+I é esperado um nível de emissões ainda menor, de 34 $MtCO_2eq$.

6 São elas: cimento – controle e otimização, redução da perda de calor, melhorias no sistema de combustão e uso de aditivos; ferro-gusa e aço – recuperação de calor residual, *drivers* de velocidade variável nos BOF, *coke dry quenching*, controle da umidade do carvão, recuperação de calor nas fornalhas de ar quente, injeção de carvão pulverizado, fornos a coque tipo *Scope* 21, recuperação de calor sensível do BOF, novos processos e altos-fornos com reciclagem de gás do topo; químico – otimização do fluxo de ar da combustão, sistemas de recuperação de calor, recuperação de vapor e novos processos.

7 O cenário de referência (REF) é baseado nas tendências atuais do mercado e no ritmo natural de cada setor. O cenário de baixo carbono (BC) busca a incorporação de políticas públicas e ações para reduzir as emissões de GEE. O cenário BC+I, prevê, que além das medidas adotadas pelo cenário BC, são introduzidas medidas inovadoras, porém ainda com elevado custo de implementação ou ainda com restrições técnicas.

Tabela 5.2 – Emissões Totais e dos Subsetores da Indústria no Período 2010-2060 ($MtCO_2e$)

Setor	2010	2020	2030	2040	2050	2060
	Mt CO2e					
Indústria	**162**	**160**	**175**	**186**	**200**	**213**
Indústria (energia)	71	69	74	82	90	98
Cimento	14	16	16	17	18	20
Ferro-gusa e aço	6	6	6	6	6	7
Ferro-ligas	0	0	0	0	0	0
Mineração e pelotização	7	7	10	11	12	13
Não ferrosos e outros metais	5	4	5	5	5	5
Química	14	14	14	17	19	22
Alimentos e bebidas	6	4	5	6	7	7
Têxtil	1	1	1	1	1	2
Papel e Celulose	4	4	4	5	5	6
Cerâmica	5	5	5	5	5	6
Outras indústrias	8	8	7	8	10	11
IPPU	**91**	**91**	**101**	**104**	**110**	**115**
Indústria Mineral	31	30	36	41	47	52
Ferro-gusa e aço	39	37	35	36	36	37
Ferroligas	1	1	1	1	1	1
Não ferrosos e outros metais	4	4	5	5	5	5
Alumínio	3	6	9	10	11	12
Indústria Química	4	4	4	5	6	7
Produtos de uso não energético	1	1	1	1	1	1
HFCs e SF6	8	9	9	6	3	0

Fonte: Brasil Carbono Zero em 2060 (La Rovere et al, 2018).

Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira

Adaptação

DANIEL HUNTER

06

6.1. Introdução

Este capítulo integra este documento pois reconhece que ao se pensar uma agenda de desenvolvimento de longo prazo para o país, no qual o poder público, o setor privado e a sociedade civil organizada se preparam para lidar com o contexto climático de aquecimento global, torna-se fundamental trazer à discussão uma análise dos cenários e alternativas para a adaptação dos ecossistemas, sistemas econômicos e comunidades brasileiras aos efeitos das mudanças climáticas globais.

Neste sentido este capítulo de forma bem resumida revisita conteúdos de importante referência de estudo no tema, o documento "Brasil 2040", produzido no âmbito da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), sob coordenação na ocasião do especialista Sérgio Margulis, envolvendo equipe multidisciplinar. O grupo de pesquisadores se debruçou para estudar os impactos, riscos e vulnerabilidades de setores-chaves do Brasil às mudanças climáticas globais. Mais recentemente, Margulis e nova equipe desenvolveram pesquisa com foco nos impactos das mudanças climáticas globais e os riscos de danos econômicos para infraestruturas críticas no Brasil – barragens e estruturas de abastecimento urbano de água, de geração hidrelétrica e de irrigação, redes de transmissão e distribuição de energia elétrica, rodovias federais e portos – que é também uma importante fonte de referência deste capítulo.

Destaca-se ainda que por um longo período foi bastante comum marcar a diferença entre medidas de adaptação e medidas de mitigação, mas é cada vez maior o consenso em torno do reconhecimento da existência de co-benefícios entre elas. Há medidas de adaptação que por si só são também simultaneamente medidas que reduzem as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Toma-se como exemplo a expansão das fontes eólica e solar enquanto alternativa para oferecer maior segurança energética ao sistema elétrico brasileiro e como solução para a redução no uso de fontes baseadas em combustíveis fósseis.

Hoje o sistema elétrico brasileiro é fortemente baseado em hidroeletricidade. Futuramente é esperado que o sistema venha a sofrer com a redução da vazão de bacias e rios em decorrência dos efeitos negativos das mudanças climáticas globais, conforme a seguir será discutido. Portanto, a agenda de adaptação também oferece oportunidades para a descarbonização da economia brasileira. É assim mais uma razão para se incluir aqui uma discussão sobre adaptação neste documento técnico, que elabora uma visão de desenvolvimento que leve à descarbonização da nossa economia, com balanço líquido de carbono zero no longo prazo, e geração de novos postos de trabalho e riqueza.

Por fim, mas não menos importante, a agenda de adaptação é ilustrativa de como um fenômeno fundamentalmente planetário – o aquecimento global – tem impactos locais. Comunidades e cidades são as primeiras a terem que reagir aos efeitos negativos das mudanças climáticas (secas, estiagens prolongadas, enchentes, enxurradas, elevação do nível do mar, etc.). Logo, uma pequena discussão sobre

integração da adaptação[1] na agenda pública sobre desenvolvimento urbano das cidades é aqui realizada. Esta discussão fortalece a importância de reconhecer a característica do nosso sistema político-administrativo que é constituído pelo Pacto Federativo e convida as esferas subnacionais a se engajarem no enfrentamento do aquecimento global, pela busca de soluções e práticas de adaptação e de criação da resiliência local.

Destaca-se ainda que no nível local a agenda de adaptação orientada para a população mais vulnerável aos impactos negativos das mudanças climáticas é uma agenda de combate à pobreza e à desigualdade, muito importante para uma visão de desenvolvimento baixo intensiva em carbono que se pretende ser inclusiva, como a discutida por este documento.

Este capítulo está organizado em duas seções principais para além de uma síntese e conclusão. Em ambas trava-se também um diálogo buscando aportar contribuições ao Plano Nacional de Adaptação (PNA) do Brasil, criado em maio de 2016 (Portaria Nº 150).

6.2. Impactos, Riscos e Vulnerabilidades do Brasil às Mudanças Climáticas Globais e a Contribuição do Estudo Brasil 2040

O estudo Brasil 2040 (SAE/PR, 2015) é elaborado com base no reconhecimento de que ante a incerteza relativa à dimensão e distribuição espacial dos fenômenos climáticos, é preciso avançar em ações que aumentem a resiliência das estruturas que balizam a vida e a economia. Com base nisso, reúne uma equipe multidisciplinar oriunda de vários centros de excelência em pesquisa do Brasil para estimar como as mudanças climáticas afetariam setores econômicos chaves do país, considerando variados horizontes temporais, e sugerindo estratégias de prevenção e adaptação dos diferentes sistemas negativamente afetados. Os setores investigados foram: recursos hídricos, energia, agricultura, infraestrutura urbana e costeira, transportes[2].

Metodologicamente o estudo é composto por três etapas de trabalho: i) geração de um conjunto de cenários climáticos previstos para o Brasil nos horizontes 2011-2040, 2041-2070, e 2071-2100; ii) identificação e mensuração dos impactos de cada um dos cenários climáticos sobre os recursos hídricos com proposição de estratégias de adaptação em sequência; iii) análise dos impactos e proposição de estratégias de adaptação nos setores chaves selecionados, tomando como referência as duas primeiras etapas, para o horizonte de 2040.

1 Do inglês *mainstreaming adaptation,* noção discutida mais adiante.

2 Neste capítulo por limites de espaço são apresentados somente resumos das análises para os setores hídrico, energia e agrícola. Todavia recomenda-se uma consulta aos demais setores junto ao documento na íntegra.

A segunda etapa é crucial porque quase todos os setores econômicos e as concentrações humanas sofrem impactos, não somente decorrentes de variações de temperatura, mas, sobretudo, por variações na disponibilidade hídrica. Neste sentido a análise dos impactos sobre a disponibilidade hídrica se dá em separado, inicialmente.

Com relação aos cenários climáticos, é utilizado o modelo regional ETA produzido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE/MCTIC), considerando duas trajetórias de concentração representativa da forçante radioativa (RCP4.5 e RCP8.5)[3]. Este modelo simula dados de temperatura e precipitação média para o clima observado (1961-1990) e para os climas futuros, que vão integrar as análises de impacto das variações climáticas projetadas sobre os setores chaves estudados.

6.2.1. Impactos para os Recursos Hídricos

As vazões foram calculadas por um modelo hidrológico[4], que transformou chuva em vazão, para 24 bacias do país. Para as demais bacias, as vazões foram determinadas a partir de regressões lineares mensais. A partir das vazões incrementais mensais de cada aproveitamento hidroelétrico estimam-se as Energias Naturais Afluentes (ENA). A ENA é obtida multiplicando-se a vazão natural de cada posto pela produtividade de cada subsistema (em MWmed/m^3/s). Os impactos nas vazões e ENAs são calculados em relação ao clima atual simulado pelo modelo, expressas pela anomalia, ou seja, a diferença percentual entre a variável (vazão ou ENA) no cenário futuro e no cenário atual. Esta é a metodologia e lógica que segue a análise de impacto em todos os setores-chaves do estudo.

Com relação às **vazões**, os modelos apresentam em comum uma pronunciada tendência positiva no extremo Sul do país associada com reduções na maioria dos aproveitamentos do Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Na região Norte, os modelos indicam que as vazões devem diminuir a uma taxa superior a 5% em cada período de 30 anos. Na região Sudeste, os modelos indicam margens que sugerem uma maior possibilidade de reduções nas vazões ou leve aumento, enquanto que nas regiões Centro-Oeste e Nordeste as vazões podem diminuir bastante, principalmente se as projeções do cenário RCP8.5 forem confirmadas. Em relação à **ENA**, as simulações sugerem redução em praticamente todas as bacias do setor Sudeste e Nordeste, nos três períodos analisados. Porém, destaca-se que, no subsistema Sudeste, na bacia do Paraguai, todas as simulações indicam sensível aumento na

3 O modelo regional ETA possui resolução de 20 km x 20 km e é baseado nos modelos de circulação geral da atmosfera denominados HadGEM2-ES, produzido pelo Reino Unido, e MIROC pelo Japão. A trajetória RCP4.5 é considerada uma trajetória de estabilização das emissões de GEE e a RCP8.5 uma trajetória de emissões muito altas. Resultados de anomalia de temperatura média (oC) e de precipitação média (%) do modelo foram apresentados no capítulo introdutório (rever **Figuras 1.3 e 1.4)**.

4 *Soil Moisture Accounting Procedure* (SMAP).

ENA. Com isso, há possibilidades de aumento da frequência dos eventos de cheia e inundações na região Sul e de eventos de seca nas regiões Norte e Nordeste.

Como medidas de adaptação para o setor o estudo sugere:

- Desenvolvimento e implantação de sistema de alerta precoce;
- Adaptação da drenagem urbana com vista a evitar problemas relativos a inundações;
- Ajuste da matriz energética frente à possibilidade de redução hídrica nas regiões Norte e Nordeste;
- Elaboração e implantação de programas de conservação energética;
- Aumento do aproveitamento e investimento em hidroeletricidade;
- Aumento da capacidade de armazenamento de água por meio do transporte da água no tempo e espaço, por meio da transposição de bacias;
- Elaboração de planos de contingência específicos para eventos de cheias, os quais deverão estar associados a um planejamento de longo prazo, devendo ser frequentemente atualizados para que sejam orientadores das ações durante a ocorrência desse extremo climático;
- Elaboração de planos de gestão de secas, com foco nas bacias hidrográficas, os quais devem passar por processos de atualização, a fim de que sejam instrumentos eficientes e aderentes à realidade;
- Elaboração de planos de gestão de secas para cidades, os quais devem ser atualizados, a fim de que as ações propostas possam ser revisitadas e adequadas para cada situação e/ou estágio da seca;
- Identificação de novos mananciais, para que possam ser utilizados em situação de escassez hídrica;
- Promoção de intercâmbio institucional entre órgãos que lidam com a administração dos recursos hídricos, como mecanismo de atualização do conhecimento sobre mudança e variabilidade climática;
- Realização de avaliações dos processos físicos nos reservatórios do sistema, como forma de promover o aprimoramento do conhecimento da natureza para prever mudanças;
- Aprimoramento dos modelos de previsão climática, com o intuito de aperfeiçoar seu acoplamento aos modelos hidrológicos, possibilitando a avaliação dos impactos na agricultura, economia, recursos hídricos e no setor elétrico;
- Promoção da gestão de riscos, através da construção de cenários futuros para o planejamento de longo prazo;

- Implantação de programa de difusão tecnológica para alcance do uso racional da água;
- Desenvolvimento de estudos de impactos da mudança climática com base em modelos globais, uma vez que os modelos regionais possuem um viés que intensifica o sinal das anomalias.

6.2.2. Impactos para o Setor de Energia

O estudo inova ao considerar as alterações nas variáveis climáticas e em sequência sobre o regime hídrico para avaliar o impacto junto ao sistema energético brasileiro. Diferentemente do que ocorre atualmente junto ao planejamento do Sistema Interligado Nacional (SIN), que pressupõe que as variáveis climáticas são estacionárias, ou seja, em outras palavras, que suas propriedades estatísticas se mantêm constantes ao longo do tempo, sem se alterarem com o aquecimento global.

Foram construídos dois cenários de operação e expansão do sistema energético brasileiro até 2040, que serviram de base para a avaliação dos impactos e as alternativas de adaptação. Nesse estágio, foram gerados cenários sem linha de base ou referência e depois cenários com mudanças climáticas considerando trajetórias de emissões (cenários RCP8.5 e RCP4.5).

São feitas projeções de demanda elétrica (segmentos residencial, industrial, comercial e outros) e de expansão para o setor elétrico com base em um conjunto de premissas[5]. O cenário RCP8.5 pressupõe um sistema energético em que não há preocupação explícita com a mitigação, enquanto o cenário RCP4.5 prevê esforços de mitigação das emissões de GEE, que, no curto prazo, se traduzem por opções de eficiência energética e de penetração da geração solar distribuída. Assim, a demanda elétrica no cenário RCP4.5 chegaria, em 2030, com valores 12% inferiores do que a do RCP8.5, mantendo esse percentual até 2040. Após 2030, os cenários RCP8.5 e RCP4.5 são basicamente diferenciados pela adoção de um custo para o carbono (US$100/t$CO_2$) e uma maior penetração da eficiência energética no cenário RCP4.5. Os cenários com impactos climáticos incorporam os resultados setoriais para o sistema hídrico, que prevêem uma tendência de queda na vazão média da maior parte das bacias hidrográficas brasileiras.

No balanço final há uma previsão de crescimento do consumo de energia primária a uma taxa média de 2,25% ao ano até 2040 para o cenário RCP8.5 e de 1,92% para o cenário RCP4.5. É esperado um aumento na participação de fontes fósseis na matriz energética brasileira, em especial do carvão mineral e do gás natural, o que não é um resultado positivo do ponto de vista de emissões. O consumo de óleo também cresceria até 2040, porém a uma taxa mais baixa em função de ganhos de eficiência no setor de transportes. O aumento no uso do carvão ocorreria devido

5 Em relação à projeção de demanda do consumo de energia e de aspectos regulatórios para expansão da oferta de energia no longo prazo. Ver tabela 8.2 do documento (SAE/PR, 2015:44).

ao aumento no uso dessa fonte para a geração elétrica a partir de 2030. Como resultado do aumento no uso de carvão mineral para a geração elétrica, esse segmento aumentaria suas emissões de CO_2 após 2035. A indústria passaria a ser o setor com maiores emissões, ultrapassando o setor de transportes.

No cenário RCP8.5 espera-se uma Energia Natural Afluente (ENA) média do SIN cerca de 10% a 30% menor do que o histórico observado das vazões. No cenário RCP4.5 projeta-se que este valor seja 7% a 25% menor. Ambos os cenários apresentaram segundo os modelos riscos de déficit elevados que são inaceitáveis pelo SIN, para o qual precisa ser inferior a 5%. Portanto, os cenários climáticos, sem medidas de adaptação, podem vir a levar ao corte de carga do sistema. As usinas existentes teriam que trabalhar a plena capacidade durante todo o período de análise, elevando os custos com combustíveis, que podem chegar à previsões de 3,5 a 16,7 vezes superiores ao valor observado na linha de base, a depender do cenário de emissões e forçante radioativa em análise.

Em suma, o estudo aponta para uma queda na geração de hidroeletricidade ocasionada pela redução no fator de capacidade das hidroelétricas, decorrente dos impactos negativos das mudanças climáticas globais sobre a disponibilidade hídrica brasileira. Como medidas de adaptação destaca-se o aumento de outras fontes renováveis como eólica, biomassa e em menor grau a solar. O gás natural também continua sendo uma opção de mitigação importante, em função do seu papel flexível na operação do sistema, logo ele torna-se ainda mais relevante frente a uma forte expansão de fontes intermitentes, como a eólica e a solar. A eficiência energética é uma opção de adaptação e mitigação que não pode ser descartada e acompanha as premissas do cenário RCP4.5, pois ela promove redução do consumo total de energia. O estudo ainda alerta que a penetração de fontes renováveis como eólica, solar e biomassa, pode vir a gerar problemas elétricos para a operação da rede, como controle de tensão e frequência, distorções harmônicas e *flicker*, que precisam ser analisados e monitorados, com busca de soluções.

Interessante observar, por meio de conversas obtidas com analistas da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para este trabalho, é que este cenário futuro esperado considerando os impactos das mudanças climáticas globais já é considerado nas análises de planejamento energético da empresa. Justificam, por exemplo, porque não se vislumbra como foi no passado, uma expansão futura em massa da construção de usinas na Amazônia com grandes reservatórios. Para além do fator climático associam-se também os custos ambientais envolvidos que são um fator negativo para esta opção. Como alternativas a empresa aposta na expansão de outras fontes renováveis como já destacado no estudo Brasil 2040, mas também numa melhor manutenção, melhoria e modernização das infraestruturas das usinas já construídas e que levem à uma melhor eficiência energética, com maior aproveitamento do potencial das usinas durante os períodos de cheias.

6.2.3. Impactos para a Produção de Alimentos

Para o setor agrícola a metodologia segue a mesma lógica para avaliar o impacto das mudanças climáticas sobre setores: foram simulados cenários agrícolas a partir dos dados climáticos considerando os cenários RCP4.5 e RCP8.5 de emissões, estabelecendo áreas de baixo e alto risco agroclimático por municípios e por atividades. É também realizada uma simulação econômica dos resultados dos cenários agrícolas futuros esperados sob contexto de aquecimento global[6].

As análises foram realizadas para as culturas de soja, milho (safras de verão e de inverno), feijão (safras de verão e de inverno), arroz, algodão, trigo e cana-de-açúcar. Foram incluídas também análises de impactos para a pecuária bovina e produtos industriais (óleo e farelo de soja, açúcar e etanol, carnes bovina, suína e de frango e leite).

As simulações para 2040 considerando os cenários climáticos mostram que as microrregiões que expandiram área alocada para agricultura em relação a 2012 (lavouras de primeira safra) apresentaram redução de área de pastagens (pecuária) no mesmo período. As regiões Centro-Oeste e Nordeste Cerrado (composta pelos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia) e os estados do Paraná e Rio Grande do Sul são onde se destaca esta dinâmica.

O estudo apresenta de forma detalhada para cada cultura agrícola – por meio de tabelas e mapas com resolução que chega ao nível municipal – as variações percentuais esperadas de área potencial de baixo risco por cenário (RCP4.5 e RCP 8.5) e modelo (HadGEM2-ES e MIROC). De forma geral, os resultados de destaque são:

- Aumento do risco agroclimático nas áreas plantadas em 2012 para quase todas as lavouras em todos os cenários apresentados;
- Redução do potencial produtivo de baixo risco agroclimático para o período projetado;
- Impactos mais relevantes sobre a cultura de soja em todos os cenários apresentados até 2040, inclusive com previsão de alguns municípios deixarem de produzir soja por serem classificados como de alto risco climático;
- Impactos diferenciados entre regiões, mais relevantes na região Sul do Brasil, importante produtor de grãos e oleaginosas.

Num balanço geral, apesar de importantes impactos negativos sobre as lavouras, ainda existe em 2040 um potencial produtivo relevante para o setor agropecuário brasileiro considerado como um todo, superior à demanda por área. Entretanto, os

6 Nos cenários agrícolas considera-se a simulação realizada pelo modelo SCenAgri-Embrapa, os riscos agroclimáticos, informações do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) e os cenários base e com mudanças climáticas. Para a avaliação do prejuízo econômico, é utilizado o Modelo de Uso da Terra para a Produção Agrícola (BLUM), que é um modelo econômico dinâmico de equilíbrio parcial, multi-regional e multimercados, e informações sobre oferta e demanda, preços do produto e valor da produção.

impactos individuais sobre culturas específicas e regionais foram relevantes, especialmente no cenário mais extremo sem medidas de mitigação (RCP8.5). Este é o caso ilustrativo do feijão, para algumas microrregiões do Nordeste, especialmente no Centro-Oeste da Bahia, que poderão perder área de feijão. Lembra-se que para esta região esta cultura é uma importante fonte de alimento para a manutenção da segurança alimentar e nutricional da população mais vulnerável que nela vive.

Os resultados deste estudo corroboram o que já havia sido identificado em estudo anterior sob coordenação de pesquisadores da Embrapa, de que as mudanças climáticas poderão provocar uma *Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil*. Ou seja, as culturas precisarão se descolar em busca de condições climáticas mais favoráveis em outras localidades, impactando regionalmente determinados territórios, com prejuízos para a produção agrícola e a geração de renda e trabalho local (Assad & Pinto, 2008).

Como medidas de adaptação para o setor identificadas pelo estudo Brasil 2040, foram destacadas:

- **Irrigação:** Promover a implementação de tecnologias já existentes e desenvolver e/ou adaptar tecnologias para a conservação do solo e da água no sistema de produção, para evitar perdas durantes os eventos mais frequentes de chuvas intensas, especialmente as tecnologias que permitem a redução de evaporação, maior infiltração de água no solo, maximização do aproveitamento e armazenamento de água, com adoção de sistemas de irrigação eficientes.

- **Melhoramento genético:** Desenvolvimento de sementes adaptadas a restrições hídricas, elevada temperatura e pragas e doenças durante o desenvolvimento das lavouras (especialmente soja, milho e cana-de-açúcar), para evitar perdas de produtividade por hectare e migração produtiva regional.

- **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta**: A adoção deste sistema integrado de produção deve ser prioritária nas regiões mais suscetíveis às restrições climáticas, combinando a importância da produção nacional de grãos, carne bovina e cana-de-açúcar, principalmente para as regiões Sul e Sudeste. Para tal, deve-se melhorar as estruturas de conservação do solo, promover a recuperação de áreas de preservação permanentes, o uso de condicionadores orgânicos do solo e de áreas florestais geradoras de serviços ambientais.

- **Infraestrutura / Parque Industrial:** Como deverá ocorrer realocação produtiva para grãos, oleaginosas, suínos, aves e cana-de-açúcar, melhorias nos sistemas de transportes são necessárias para minimizar os custos e reduzir os impactos esperados sobre os preços dos alimentos.

6.2.4. Impactos para Infraestruturas Críticas do Brasil

O novo estudo de Margulis et al (2019) faz uma avaliação pioneira da vulnerabilidade às mudanças climáticas de infraestruturas críticas do Brasil. Tem como preocupação o fato de que as infraestruturas atuais foram projetas e construídas com base em padrões de engenharia desenvolvidos décadas atrás e que, portanto, tomam como base um comportamento do clima que não mais representa o clima atual. Com as mudanças climáticas, as infraestruturas contemporâneas podem não ter a capacidade para lidarem com as novas cargas climáticas. Assim, para evitar danos econômicos é necessária a adoção de políticas e procedimentos para mitigar os riscos climáticos.

O estudo segue quatro etapas de trabalho conectadas: i) identificação das principais infraestruturas críticas do Brasil em termos de sua relevância estratégica do ponto de vista econômico, social e de segurança nacional, e potencialmente ameaçadas pelas mudanças climáticas; ii) avaliação quantitativa da vulnerabilidade dessas infraestruturas em relação a diferentes cenários climáticos e de emissões de GEE; iii) estimação do dano econômico esperado das diversas ameaças climáticas e dos cenários de emissões para as infraestruturas, priorizando-os conforme o grau do nível do dano; iv) elaboração de recomendações de medidas de adaptação para as infraestruturas investigadas.

Adotou-se o conceito de infraestruturas críticas (ICs) naquelas de alta relevância para o governo e para a economia do Brasil, e cuja paralisação/destruição parcial e/ou limitação de capacidade causada por eventos climáticos possam ameaçar a segurança nacional, ou ocasionar impactos econômicos e sociais de grande porte. Com base em quatro critérios de seleção, chegou-se a um universo de 309 ICs distribuídas em categorias de: barragens e estruturas de abastecimento urbano de água, de geração hidrelétrica e de irrigação, redes de transmissão e distribuição de energia elétrica, rodovias federais e portos. As seguintes ameaças decorrentes de eventos climáticos são consideradas na análise de risco e dano causado pelas mudanças climáticas globais: i) inundações fluviais, ii) deslizamentos (escorregamentos de massa), iii) secas meteorológicas, iv) incêndios florestais, v) tempestades severas.

Dentre algumas ICs prioritárias que requerem atenção das políticas públicas tem-se as seguintes identificadas pelo estudo, que são as que apresentam maior dano num maior número de cenários:

- ZT 536 (BR-116, SP, B. do Turvo)
- UHE Tucuruí (BH Tocantis)
- ZT 514, Itapecerica da Serra, SP
- UHE Jirau (BH Madeira)
- UHE Santo Antonio (BH Madeira)

- UHE Teles Pires (BH Teles Pires)
- UHE Marabá (BH Tocantis)
- SAA Descoberto, Brasília
- ZT 381, Rio de Janeiro
- ZT 386, Vale do Paraíba, RJ
- LT Silvânia
- SAA Santa Maria

BH = Bacia Hidrográfica, UHE = Usina de Geração Hidrelétrica, ZT = Zona de Tráfego, LT = Linha de Transmissão, SAA = Sistema de Abastecimento de Água

Estas ICs podem vir a ter danos no período de 2011-2040 que variam na faixa de R$ 7.9 bilhões à R$ 968 milhões individualmente. Logo, há danos que põem em risco a segurança nacional brasileira e geram prejuízos econômicos significativos.

É bem verdade, como o estudo de Margulis et al (2019) discorre, que há lacunas científicas que geram incertezas aos modelos, não obstante, ainda assim estudos desta natureza aportam subsídios técnicos importantes para as políticas públicas, visando reduzir os riscos de danos ocasionados pelas mudanças climáticas. Por isso devem ser incentivados de forma que o conhecimento científico avance e se aprimore, reduzindo as incertezas.

Para uma tomada de decisão no campo das políticas públicas, Margulis e os autores defendem que a implementação das medidas de adaptação não deve começar pelas ações mais caras e complexas, ao contrário, devem começar pelas ações sem arrependimento e que se justificam independentemente do cenário climático[7]. Classicamente as principais medidas são a boa operação e a manutenção das infraestuturas existentes.

6.3. Adaptação e Resiliência Urbana Local

As subseções anteriores oferecem importantes insumos técnicos que permitem apoiar a formulação de políticas públicas, principalmente no nível federal e regional. Contribuem, por exemplo, para a formulação de medidas e ações do Plano Nacional de Adaptação (PNA). Porém, a agenda de adaptação e para a criação de resiliência, visando um melhor enfrentamento dos efeitos esperados das mudanças climáticas, precisa entrar no escopo das esferas subnacionais, especialmente das cidades.

7 Também conhecidas por "*no regret*". São medidas ou atividades que se provarão válidas ainda que nenhuma mudança climática (adicional) ocorra (PNUD, 2005).

No Brasil, mais de 85% da população vive em cidades. O rápido crescimento da densidade demográfica nas últimas décadas, sem o devido planejamento urbano, levou a dinâmicas de urbanização, eliminação de áreas verdes, impermeabilização do solo, e ocupação de áreas de risco com precarização das habitações. Estas características, por sua vez, causam diversos problemas socioambientais conhecidos da população urbana, como enxurradas e inundações, deslizamentos de terra em encostas, ondas de calor e limitações no suprimento de água doce. Os efeitos das mudanças climáticas nas cidades, como o aumento da temperatura, o aumento no nível do mar em cidades costeiras e as alterações na frequência e intensidade de chuvas e secas, acentuam os riscos relacionados a estes problemas já existentes. Essa combinação de fatores afeta os sistemas urbanos de infraestrutura que são interdependentes entre si, como os setores de água, saneamento, energia e transporte (Speranza et al., 2019[8]).

Estudos sinalizam cenários atuais e futuros esperados nos quais, deficiências no planejamento urbano das cidades, associadas a efeitos de elevação da temperatura e variações pluviométricas ocasionados pelas mudanças climáticas deverão impactar negativamente as cidades e núcleos urbanos, com consequências sobre a economia e a população[9]. O Brasil já coleciona infelizmente algumas evidências de desastres climáticos. Na ausência de medidas de adaptação e para criação de resiliência, os desastres poderão vir a se repetir, na medida que é previsto o aumento da frequência e da intensidade dos eventos climáticos extremos.

Em síntese, para evitar o efeito cascata que a mudança do clima pode desencadear, é necessário planejar e implementar medidas de adaptação às mudanças climáticas, visando desenvolver a capacidade adaptativa da população, e adaptar a infraestrutura urbana local, para que possam ser resilientes e responder da melhor maneira possível aos eventos climáticos futuros, especialmente aos eventos climáticos extremos. Na ausência de medidas de adaptação, as mudanças climáticas acentuam os impactos negativos de uma infraestrutura urbana já deficiente.

À medida que os sistemas urbanos são interdependentes e ações em adaptação estão diretamente relacionadas às diversas agendas de desenvolvimento que fazem parte do cotidiano dos gestores municipais, faz-se importante que as políticas de desenvolvimento urbano incorporem a dimensão climática em seu escopo. As cidades são as primeiras a sentirem os impactos negativos das

---

8 Esta e as próximas reflexões que se seguem são baseadas em documento de trabalho desenvolvido pelos especialistas Fernanda Maschietto, Juliana Speranza, Luiz Claudio Costa e Vanessa Elias de Oliveira. "*Uma Análise dos Limites, Fatores Favoráveis e Oportunidades Futuras para a Integração da Adaptação Climática na Gestão Urbana das Cidades Brasileiras*". Resultado de trabalho desenvolvido no âmbito do World Resources Institute (WRI Brasil), em parceria com o Ministério do Meio Ambiente e cerca de 50 *stakeholders* atuantes na agenda de adaptação, que juntos refletiram sobre recomendações para a integração da agenda de adaptação na de desenvolvimento urbano das cidades, com foco no Plano Nacional de Adaptação (PNA).

9 A saber, estudo de Eduardo Haddad e Eliane Teixeira "*Economic impacts of natural disasters in megacities: the case of floods in São Paulo, Brazil*", revela que cada ponto de alagamento formado na cidade de São Paulo já provoca prejuízo diário de R$ 1 milhão ao Brasil.

mudanças climáticas. Sem uma visão estratégica que integre análise de risco, vulnerabilidades e impacto das mudanças climáticas ao planejamento urbano, passando por ações de alerta, de resposta e gestão de desastres, as populações, edificações, infraestruturas e ativos econômicos dos municípios ficarão em uma situação de alta vulnerabilidade e sofrerão continuamente com sérios problemas urbanos, mesmos nos centros mais ricos do país.

O conceito de "integração da adaptação" (Mogelgaard, K. et al. 2018) na agenda de desenvolvimento, que tem sido difundido por meio de aportes metodológicos e analíticos ajuda a ampliar a percepção dos formuladores de políticas e gestores locais sobre a importância de considerar informações climáticas – atuais e futuras – no planejamento e desenvolvimento urbano das cidades. São vários os benefícios da integração da adaptação na formulação e implementação de políticas de desenvolvimento:

- maiores chances de sucesso tanto para esforços de adaptação quanto de desenvolvimento;
- uso mais eficiente de recursos financeiros e administrativos;
- promoção de melhoria na sustentabilidade e na escala das ações de adaptação ao longo do tempo;
- promoção da inovação em políticas e planos setoriais.

No Brasil, o PNA foi elaborado a partir de três objetivos específicos: i) produção e gestão do conhecimento; ii) promoção da coordenação e cooperação institucional; e iii) identificação e proposição de medidas de adaptação e redução do risco climático. Embora sua abordagem esteja voltada à ampliação da coerência e da coordenação entre políticas públicas, sob diferentes níveis de gestão (nacional, estadual, municipal), orientada para a redução do risco climático no país, a implementação do PNA esbarra no desafio de fortalecer processos de articulação federativa e de coordenação intragovernamental.

Neste sentido que trabalho desenvolvido no âmbito do WRI Brasil e parceiros é útil ao identificar uma série de recomendações ao PNA e atores da agenda sobre adaptação para que ela possa vir a ter maior capilaridade junto as gestões públicas subnacionais, especialmente as municipais. Como, por exemplo: criação de uma rede nacional para produção de dados sobre riscos climáticos em escala adequada e linguagem acessível para a tomada de decisão no nível local; criação de um grupo de articulação entre defesas civis municipais para troca de experiências de implementação de estratégias de construção de resiliência antecipatória e de resposta a desastres naturais deflagrados por extremos climáticos; criação de uma rubrica no Plano Plurianual (PPA) para apoiar ações de integração da adaptação nas agendas de desenvolvimento urbano local, somente para citar alguns exemplos.

6.4. Conclusão

Conforme discutido, existem co-benefícios entre medidas de mitigação e adaptação, por isso a agenda de adaptação também deve integrar uma visão de longo prazo para o desenvolvimento brasileiro. Ademais, o planejamento de desenvolvimento para setores econômicos chaves do país precisa considerar os cenários climáticos futuros esperados, visando reduzir os riscos climáticos e danos futuros.

A criação de resiliência e adaptação estratégica aos ecossistemas, comunidades e atividades produtivas é fundamental para o desenvolvimento brasileiro. No plano local é oportunidade para promover cidades melhor preparadas do ponto de vista de promoção de bem estar urbano, protegendo e levando à inclusão social as populações mais vulneráveis, geralmente as mais afetadas por impactos climáticos negativos, na ausência de medidas de adaptação.

A ciência avança para reduzir as incertezas e aperfeiçoar as projeções climáticas futuras, para que possam apoiar a formulação de políticas públicas de desenvolvimento. Todavia, formular políticas públicas de desenvolvimento, considerando apenas o clima atual já observado é uma importante medida adaptativa. Concilia e reconhece o papel do clima, como capaz de influenciar o percurso e resultados do desenvolvimento. No plano urbano local, as medidas adaptativas não necessariamente são caras e complexas, há caminhos bastantes viáveis, como o da criação de infraestrura natural, que podem começar a ser mais estimulados e implementados no Brasil.

Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira

Conclusão

PIXABAY.COM

07

Síntese, Conclusão e Próximos Passos

Este documento consolida, mas não finaliza, um processo iniciado pela Câmara Temática de Visão de Longo Prazo (CT LT) do Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC). Traz recomendações de opções tecnológicas e para a adaptação que levem o Brasil rumo à descarbonização da economia, com ecossistemas, sistemas produtivos e comunidades resilientes às mudanças climáticas globais, aproveitando todas as oportunidades econômicas e benefícios sociais que essa agenda oferece. Portanto, é um convite à leitura e ao debate, de forma que numa próxima etapa seja possível mobilizar os diferentes *stakeholders* – representantes dos setores público, privado, organizações-não governamentais e da sociedade civil – para pensar as formas mais adequadas para que as recomendações aqui sugeridas possam ser colocadas em prática, na velocidade e intensidade necessárias que o combate às mudanças climáticas impõe para a Humanidade e o Brasil. Elementos como: marcos regulatórios, entraves e barreiras a serem superadas, instrumentos econômicos e recursos necessários, atrelados à cada recomendação discutida, são conteúdos que se sugere para serem trabalhados e aprofundados em próximas etapas de mobilização da sociedade em torno de uma visão de longo prazo para o Brasil.

Foi desafio deste documento a construção de recomendações que conciliassem base científica do aquecimento global e processo social colaborativo de debate e discussões promovido para formulação de medidas de mitigação e adaptação no Brasil. O conjunto de: i) dados e evidências científicas, ii) as melhores referências técnicas existentes no país para a mitigação, o estudo "Brasil Carbono em 2060" produzido pelo Centro Clima da COPPE/UFRJ e "Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil", produzido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), detalhados no corpo deste documento, iii) reconhecida referência no campo da adaptação, que reúne amplo diagnóstico dos riscos, vulnerabilidades e impactos das mudanças climáticas para o Brasil, o estudo "Brasil 2040" produzido no âmbito da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, iv) recomendações extraídas de reuniões da CT LT do FBMC, transcorridas no período de 2017 à 2018, e que reuniram mais de 80 representantes de organizações diversas participantes, v) recomendações oriundas do documento produzido pelo FBMC, "Proposta Inicial de Implementação da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil (NDC)", reconhecendo que a descarbonização da economia é um processo que demanda uma trajetória que se inicia já no curto prazo – são todas referências que integram o conjunto de recomendações de opções tecnológicas discutidas por este trabalho, reunidas e apresentadas no **Quadro 1** a seguir.

Há um reconhecimento geral de que a mudança do clima é um dos maiores desafios do século XXI e que irá modificar intensamente a forma como vivemos em sociedade. A maneira pela qual um país enfrenta este desafio pode determinar o seu futuro. Conforme visto, ao contrário do que muitos pensam, a mudança do clima não é apenas um tema ambiental. É um tema estratégico que envolve decisões

que impactam a economia, tecnologia, comércio internacional, recursos naturais, modelo energético, segurança alimentar, segurança hídrica, segurança nacional, entre outros.

Considerando suas características naturais, que colocam nosso país em posição de destaque internacional como uma das maiores reservas mundiais de biodiversidade e com elevado potencial para a geração de energias renováveis e para a bioeconomia, o Brasil tem inúmeras oportunidades para se inserir de forma competitiva, moderna e inovadora numa nova conjuntura política na qual o combate às mudanças climáticas condiciona processos de produção e consumo contemporâneos. Processos estes com baixa emissão de carbono para a atmosfera. Assim, ficar fora desta corrida por uma nova economia pouca emissora e resiliente aos impactos negativos das mudanças climáticas é um risco e desperdício de oportunidades que o Brasil não pode se permitir.

Num momento no qual a sociedade brasileira, representantes de governos nacional e subnacional e dos setores produtivos formulam em seus imaginários novos sonhos de progresso e prosperidade, e clamam por trajetórias que possam levar à retomada econômica do Brasil, com melhoria da qualidade de vida para a população, tem-se que a agenda da descarbonização é um rumo que se deve perseguir. Ela resgata o papel do planejamento para a mobilização ótima de recursos, com foco em soluções custo-eficientes, e orientadas para resultados com impactos positivos em torno dos dois objetivos acima destacados: crescimento econômico e promoção de bem-estar social. Na busca pela sustentabilidade ambiental é que todos esses objetivos se conectam e equilibram.

Estudos mostram que ações climáticas ambiciosas podem gerar para o mundo US$ 26 trilhões em benefícios econômicos até 2030, criando mais de 65 milhões de postos de trabalho e evitando 700 mil mortes prematuras por poluição do ar (NCE, 2018).

Saldo positivo das recomendações de opções tecnológicas para a descarbonização e para a adaptação discutidas por este trabalho, é que tais medidas contribuem para o combate à pobreza, redução das desigualdades e inclusão social. Dialogam com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) do qual o Brasil é signatário e contribuem para o país intensificar e perpetuar a sua posição de destaque construída no passado junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, da sigla em inglês). Junto ao Acordo de Paris, o Brasil assumiu metas nacionais e compromissos de colaboração planetário para frear a elevação da temperatura média global para níveis seguros, e que precisam ser honrados.

É preciso portanto aumentar os níveis de ambição das políticas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas brasileiras. É preciso que todo o financiamento e investimento público e privado priorizem atividades de baixas emissões. É preciso fortalecer as instituições, processos, recursos humanos e capacidades governamentais e empresariais para este norte de política. Reconhecendo que a agenda da descarbonização da economia e de adaptação às mudanças climáticas é uma

agenda de política pública, mas não estatal, dependendo, portanto, da coalizão de sinergias e esforços de todos os atores.

Como disse Laurence Tubiana, uma das idealizadoras do Acordo de Paris e CEO da Fundação Europeia do Clima: "*ter um plano não é garantia de sucesso, mas não ter um plano é garantia de fracasso*". Ademais, sabe-se que a elaboração de recomendações tecnológicas é apenas o primeiro passo em direção à transição para uma sociedade e economia de baixo carbono, devendo-se também avançar logo em sequência na criação de mecanismos de financiamento, de monitoramento, e de avaliação dos resultados de implementação dos caminhos e opções que foram sugeridas.

Fazer a transição para uma sociedade de baixo carbono com balanço líquido de emissões zero no longo prazo exigirá esforços de todos. O fato de as recomendações da CT LT terem sido construídas com ampla participação da sociedade civil, empresas e academia faz com que estas tenham mais força e não dependam somente do governo para saírem do papel. Mais ainda, governos subnacionais também estão se mobilizando para contribuir com uma agenda que é intrinsecamente global, porém com impacto local imediato, o combate às mudanças climáticas.

Quadro 1 – Síntese de Recomendações de Opções Tecnológicas para a Descarbonização da Economia e a Adaptação às Mudanças Climáticas no Brasil

Setor de Mudança do Uso da Terra, Florestas e Agropecuário
Expansão do plantio homogêneo de espécies florestais de crescimento rápido (Eucalipto e Pinus) para fins comerciais*
Aumento do sistema integrado de pecuária bovina e eucalipto*
Restauração de floresta nativa com o objetivo de recompor o passivo florestal nos biomas*
Adequação ambiental em áreas privadas concluída, com toda a área demandada para a constituição de Cotas de Reserva Legal (CRA)*
Desmatamento zero para Amazônia (inclusive legal)
Estabelecimento de teto-limite da área anual desmatada para Cerrado, Caatinga, Pantanal e Pampa*
Incremento de carbono em Unidade de Conservação e Terras Indígenas com incorporação de novas áreas*
Expansão do Sistema de Plantio Direto (SPD) nos cultivos de soja, milho, arroz, algodão, feijão e trigo*
Expansão da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)*
Intensificação da pecuária por meio da expansão do confinamento da pecuária bovina de corte e de recuperação de pastagem degradada*
Redução paulatina da idade média de abate do gado*

Intensificação do tratamento de dejetos de suínos*
Garantir maior oferta e demanda ao crédito ABC
Setor de Energia (incluindo transportes)
Todas as termelétricas com fonte primária não-renovável (exceto nuclear) são descomisssionadas até 2060
Hidrelétricas com expansão moderada
Aplicação de medidas de eficiência energética
Aumento das renováveis no setor elétrico: maior diversificação (eólicas, solares fotovoltaicas e heliotérmicas), mais termelétricas a biomassa (bagaço e floresta plantada)
Continuidade e aprofundamento de melhorias no controle de emissões fugitivas no setor de exploração de petróleo e gás natural
Ganhos de eficiência energética no transporte de passageiros e carga
Investimentos em ferrovias que levem a aumento da sua participação na divisão modal para o transporte de cargas*
Eletrificação das ferrovias existentes
Investimentos em metrô, VLT e trens urbanos que levem a aumento de participação na divisão modal*
Renovação e qualificação da frota de ônibus e BRT para melhorar o nível do serviço do transporte coletivo
Aumento da frota de veículos compartilhados
Incentivo ao transporte não-motorizado
Aumento da eficiência da operação do transporte de carga
Expansão do transporte aquaviário de carga por meio de investimentos e políticas públicas
Aumento da mistura do etanol anidro à gasolina e aumento do consumo de etanol hidratado em motores flexible-fuel*
Aumento da mistura de biodiesel no óleo diesel mineral*
Aumento da mistura de bioquerosene ao querosene de aviação*
Aumento da mistura de bioóleo ao óleo combustível*
Automóveis particulares a etanol, gasolina ou com tecnologia flex-fuel deixarão de ser comercializados na década de 2040
Aumento da frota de automóveis elétricos e híbridos*
Aumento da frota de ônibus urbanos elétricos*
Aumento da frota de caminhões elétricos e híbridos*
Adição de carboneto de escória na produção de cimento e injeção de carvão pulverizado em substituição do coque utilizado como combustível na siderurgia

Implementação de programas de inspeção e manutenção em plataformas de exploração e produção (E&P) de óleo e gás
Utilização de co-combustão de biomassa com carvão em usinas termelétricas
Queda na atividade da mineração e nas emissões de processos industriais e emissões fugitivas em plataformas de petróleo e distribuição de gás natural
Captura e armazenamento de captura de carbono no setor industrial, particularmente na produção de amônia, cimento e em plantas integradas a coque do setor de ferro-gusa e aço
Aumento do uso de gás natural em caldeiras e fornos no setor químico
Uso de veículos híbridos elétrico-diesel para o transporte de minérios
Substituição da selagem a óleo pela selagem a gás no setor de E&P de óleo e gás
Captura de carbono em unidades de geração de hidrogênio e de craquea- mento catalítico no setor de refino
Instalação de cadeiras supercríticas e captura de carbono nas termelétricas a carvão
Captura de carbono no processo de fermentação de destilarias de etanol
Adoção de torres eólicas com aerogeradores para aproveitamento de ventos de 100 metros
Eficientização de caminhões leves, semipesados e pesados por meio da adoção de turbocompressores, *turbocompounding, turbocompounding* elétrico, sistema variável de controle de válvulas, eletrificação de cargas auxiliares, melhorias nos ciclos de combustão e redução de atrito nas partes móveis
Eficientização de trens pela redução do arrasto aerodinâmico e compactação de cargas
Redução de peso e melhoria na eficiência de motores de aeronaves
Resíduos
Universalização da coleta de resíduos sólidos urbanos (RSU) a partir de 2030 com aumento da disposição final em aterros sanitários, ampliando a destruição do metano gerado e o aproveitamento energético*
Aumento da incineração de RSU com maior geração de eletricidade e biodigestão*
Degradação de biogás de aterro com *flare*
Aproveitamento do biogás de aterro para geração de energia elétrica
Aproveitamento do biogás de aterro para produção de biometano
Difusão da biodigestão da matéria orgânica de RSU e geração de eletricidade
Difusão da biodigestão da matéria orgânica de RSU e produção de biometano
Compostagem da fração orgânica de RSU
Incineração de RSU com aproveitamento energético

Unidades de compostagem aeróbia seriam implantadas em cidades com menos de 100 mil habitantes
Taxa de reciclagem significativamente ampliada*
Esquemas de triagem e segregação dos RSU ganham importância
Aumento do nível da coleta de esgotos com maior aproveitamento do biometano gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs)*
A indústria contribui com a redução das emissões do tratamento de efluentes, através do incremento da captura de biogás e a produção de biometano para geração e consumo próprio de eletricidade*
Aproveitamento do biogás em sistemas de tratamento anaeróbico de ETE para geração de eletricidade
Biodigestão de resíduos da agropecuária com aproveitamento energético
Indústria de Ferro-gusa e Aço[1]
Recuperação do gás de coqueria
Realizar controle da umidade do carvão
Realizar apagamento do coque a seco
Instalação de fornos com recuperação de calor
Criação de sistemas para o controle de temperatura do processo
Instalação de inversores de frequência nos compressores
Estabelecimento de controle de perdas e pressão interna do forno
Recuperação de calor residual
Redução dos vazamentos do ar para redução de consumo de eletricidade
Aproveitar a alta pressão de topo e recuperar gases para reduzir o consumo energético com a turbina de topo
Aumentar a injeção de carvão pulverizado para reduzir o consumo de coque
Aumentar a injeção de gás natural para reduzir o consumo de coque
Recuperar o gás de alto forno para utilizá-lo no pré-aquecimento de ar
Melhorar o sistema de automação e controle
Recuperar e reutilizar o calor sensível do gás de aciaria
Realização de recuperação e reaproveitamento do gás de aciaria
Utilizar sucata na carga fria para minimizar o consumo de recursos
Utilizar *drivers* de velocidade variável para permitir a variação da velocidade dos ventiladores usados no controle da qualidade do ar
Realizar controle de processo nos laminadores de tiras a quente
Instalação de queimadores mais eficientes

Realizar controle de oxigênio do sistema de ventilação de ar de combustão com uso da tecnologia *Variable Speed Drive*
Realizar recuperação do calor da água de resfriamento
Indústria de Cimento[1]
Adoção de processo por via seca com múltiplos estágios de pré-aquecedores e pré-calcinadores
Melhorar o controle na etapa de produção de clínquer
Inserção de refratário no forno
Melhorias no sistema de combustão do forno, como a utilização da tecnologia *gyro-therm*
Adicionar matéria-prima não carbonatada, como o carboneto de escória, na substituição de calcário
Utilizar aditivos ao cimento como pozolanas, material silicioso ou sílico-aluminoso ou calcário
Indústria Química[1]
Adoção de queimadores *low NOx* em fornos
Realizar monitoramento e manutenção de caldeiras
Realizar recuperação de calor em caldeiras
Realizar monitoramento e manutenção de sistemas motores
Realizar recuperação de hidrogênio na produção de amônia
Realizar recuperação de hidrogênio na produção de metanol
Realizar integração de processos com análise *pinch* na petroquímica básica
Realizar integração de processos com análise *pinch* na produção de amônia
Realizar reciclo de condensado em caldeiras
Adoção de pré-reformador na produção de amônia e de metanol
Realizar maior uso de gás natural em caldeiras e fornos
Realizar maior uso de biomassa em caldeiras e fornos
Adaptação (Setor Hídrico)
Desenvolvimento e implantação de sistema de alerta precoce
Adaptação da drenagem urbana
Ajuste da matriz energética frente à possibilidade de redução hídrica nas regiões Norte e Nordeste

Elaboração e implantação de programas de conservação energética
Aumento do aproveitamento e investimento em hidroeletricidade
Aumento da capacidade de armazenamento de água por meio do transporte da água no tempo e espaço, por meio da transposição de bacias
Elaboração de planos de contingência específicos para eventos de cheias
Elaboração de planos de gestão de secas
Identificação de novos mananciais para que possam ser utilizados em situação de escassez hídrica
Promoção de intercâmbio institucional entre órgãos que lidam com a administração dos recursos hídricos, como mecanismo de atualização do conhecimento sobre mudança e variabilidade climática
Realização de avaliações dos processos físicos nos reservatórios do sistema
Aprimoramento dos modelos de previsão climática visando aperfeiçoar seu acoplamento aos modelos hidrológicos
Promoção da gestão de riscos através da construção de cenários futuros para o planejamento de longo prazo
Implantação de programa de difusão tecnológica para alcance do uso racional da água
Adaptação (Setor Agrícola)
Realizar adoção de sistemas de irrigação eficientes
Realizar melhoramento genético com desenvolvimento de sementes adaptadas a restrições hídricas, elevada temperatura e a pragas e doenças
Ampliar os sistemas com integração lavoura-pecuária-floresta
Prover melhorias nos sistemas de transportes devido a realocação produtiva
Adaptação (Setor de Energia)
Aumentar as outras fontes renováveis (eólica, biomassa, solar)
Aumentar a eficiência energética
Adaptação (Infraestrutura)
Realizar a boa operação e a manutenção das infraestuturas existentes
Adaptação (Cidades)
Internalizar a agenda de adaptação na agenda de planejamento e gestão urbana das cidades

Fonte: elaboração própria a partir das discussões deste documento presentes nos capítulos.

Notas
* Consultar os capítulos para ver as diferenças entre os estudos e as metas quantitativas estipuladas por cada um.
1 Setores escolhidos para realizar um foco no setor industrial dado as suas maiores contribuições para as emissões totais do setor industrial brasileiro.

Referências Bibliográficas

ABIQUIM, 2019a. ***A Indústria Química: Conceito***. S.l.

ABIQUIM, 2019b. ***O Desempenho da Indústria Química Brasileira***. S.l.

Abramovay, Ricardo. Entre Deus e o diabo: mercados e interação humana nas ciências sociais. ***Tempo Soc***., vol.16, n.2, pp.35-64.

Abramovay, R.; Speranza J.S.; Petitgand, C. ***Lixo zero: gestão de resíduos sólidos para uma sociedade mais próspera***. São Paulo: Planeta Sustentável e Instituto Ethos, 2013.

ABRELPE. ***Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017***. São Paulo: ABRELPE, 2018.

ABSOLAR. ***Energia solar fotovoltaica atinge marca histórica de 500 MW em Microgeração e Minigeração distribuída no Brasil***. Disponível em: http://absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-solar-fotovoltaica-atinge-marca-historica-de--500-mw-em-microgeracao-e-minigeracao-distribuid.html Acessado em 10 de janeiro de 2019a.

_____. ***Inforgráfico ABSOLAR***. Disponível em: http://www.absolar.org.br/infografico-absolar-.html. Acessado em 10 de janeiro de 2019b.

Adeodato, S. ***Os poderes da energia limpa na Amazônia.*** Publicado por Página22 em 27 de março de 2019.

Afonso de André, P., de Araujo Vormittag, E., Saldiva, P. ***Avaliação e valoração dos impactos da poluição do ar na saúde da população decorrente da substituição da matriz*** energética no transporte público da cidade de São Paulo. São Paulo: Instituto Saúde e Sustentabilidade, Greenpeace, 2017.

Agência Brasil. ***Poluição em*** São Paulo ***cai pela metade com paralisação de caminhoneiros.*** Disponível em: http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-05/poluicao-em-sao-paulo-cai-pela-metade-com-paralisacao-de-caminhoneiros Acessada em 10 de dezembro de 2018.

Andersen, L. *The Dynamics of Deforestation and Economic Growth in the Brazilian Amazon.* Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

Assad, E., Pinto, H.S. ***Aquecimento Global e Cenários Futuros da Agricultura Brasileira.*** São Paulo: Cepagri/Unicamp, 2018.

Assunção, J., Gandour, C. , Rocha, R., Rocha, R. ***Does Credit Affect Deforestation? Evidence from a Rural Credit Policy in the Brazilian Amazon.*** Texto para Discussão. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, September, 2016.

Balarezo, G. ***Conceived in a dream, new solar canoe will serve Amazon tribes.*** Publicado pela Mongabay Series em 03 de abril de 2019.

Banco Mundial. ***What a waste. A global review of solid waste management***. Disponível em:http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTSDNET/0,contentMDK:23212147~menuPK:64885113~pagePK:7278667~piPK:64911824~theSitePK:5929282,00.html. Acessado em 01 de fevereiro de 2019.

Barbirato, F.E.L, Inakake de Souza, L. Matopiba: A Expansão da Agricultura em Remanescentes de Vegetação Nativa de Bioma Cerrado. ***Sustentabilidade em Debate***, Nº 7, Junho de 2018.

Bastos, A. ***Arroz e feijão estão entre os alimentos mais desperdiçados no Brasil.*** Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/37697781/arroz-e-feijao-estao-entre-os-alimentos-mais-desperdicados-no-brasil?link=agencia Acessado em 15 de fevereiro de 2019.

Borges, A. ***Eólicas serão 2ª fonte de energia do País em 2019.*** O Estado de São Paulo (05/08/2018).

Brandão, Jr., Barreto, P., Lenti, F., Shimbo, J., Alencar, A. ***Emissões do Setor de Mudança do Uso da Terra***.

Carleial, L., Oliveira Cruz. ***Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos***. Relatório de Pesquisa. Brasília: IPEA, 2010.

Castro-Alvarez, F., Vaidyanathan, S., Bastian, H. ***The 2018 International Energy Efficiency Scorecard.*** Washington: American Council for an Energy-Efficient Economy, 2018.

CEBDS. ***Consumo eficiente de energia elétrica: uma agenda para o Brasil***. Rio de Janeiro: CEBDS, 2016.

Coalizão Brasil, Clima, Florestas e Agricultura. ***Visão 2030-2050. O Futuro das Florestas e da Agricultura no Brasil.*** Disponível em: http://www.coalizaobr.com.br/home/phocadownload/documentos/Visao-2030-2050-O-Futuro-das-Florestas-e-da-Agricultura-no-Brasil.pdf Acessado em 01 de maio de 2019.

Crowther, T. ***Understanding Carbon Cycle Feedbacks to Predict Climate Change at Large Scale.*** Disponível em: https://aaas.confex.com/aaas/2019/meetingapp.cgi/Paper/23744. Acessado em 10 de março de 2019.

Dagnino, R.S., Johansen, I.C. Os Catadores no Brasil: Características Demográficas e Socioeconômicas dos Coletores de Material Reciclável, Classificadores de Resíduos e Varredores a partir do Censo Demográfico de 2010. In: Carlos Henrique Leite Corseuil (Org.) ***Mercado de trabalho: conjuntura e análise***, v.1, n.0. Brasília: Ipea e Ministério do Trabalho, 2017.

Dos Santos, C.E. ***Anuário brasileiro da pecuária***. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2018. Documento de Análise SEEG 2018. Disponível em: http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/05/relatorios_SEEG_2018_____MUT_Final_v1_.pdf Acessado em 10 de janeiro de 2019.

Eli da Veiga. ***De limão a limonada***. Disponível em: http://pagina22.com.br/2013/09/09/de-limao-a-limonada/. Acessado em setembro de 2018.

_____. Sustentáculos: ODS. Programa de radio disponível em: jornal.usp.br/wp-content/uploads/SUSTENTÁCULOS__ODS6-SANEAMENTO__02-03-2017.mp3. Acessado em 10 de março de 2019.

Empresa de Pesquisa Energética. ***Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018***. Disponível em: http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica-interativo. Acessado em 12 de janeiro de 2019.

_____. ***Balanço Energético Nacional 2018***. Rio de Janeiro: EPE, 2018a.

_____. ***Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2017***. Rio de Janeiro.

EPE, 2018b. ***Análise da eficiência energética em segmentos industriais selecionados: segmento cadeia siderúrgica***. S.l.

EPE, 2018c. ***Análise da eficiência energética em segmentos industriais selecionados: segmento químico***. S.l.

FAO. ***Food wastage footprint. Impacts on natural resources.*** Roma: FAO, 2013.

Fonseca, A., Justino, M., Cardoso, D., Ribeiro, J., Salomão, R., Souza Jr., C., & Veríssimo, A. 2019. ***Boletim do desmatamento da Amazônia Legal*** (maio 2019) SAD (p. 1). Belém: Imazon.

FBMC. ***Proposta Inicial de Implementação da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil (NDC).*** Brasília: FBMC, 2018. Disponível em: https://docs.wixstatic.com/ugd/fbec55_2a718a1f72f14907a4c99b29a850abfa.pdf

FBMC, Centro Clima/COPPE/UFRJ. ***Brasil Carbono Zero em 2060***. Brasília: FBMC, 2018. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1g5MGmTY-Evl9VgxhxYFK8i-1-rwnp2w3s/view

Ferreira, A., Tsai, D., Silva, F., Cremer, M., Soares, M. ***Emissões dos Setores de Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos***. Documento de Análise SEEG 2018. Disponível em: http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/05/Relato%CC%81rios--SEEG-2018-Energia-Final-v1.pdf Acessado em 10 de janeiro de 2019.

Gurgel, A. ***Impactos Econômicos e Ambientais do Plano ABC***. Disponível em: http://observatorioabc.com.br/wp-content/uploads/2017/09/Relatorio5-Completo.pdf Acessado em 01 de maio de 2019.

Gurgel, A., Laurenzana, R.D. Desafios e Oportunidades da Agricultura Brasileira de Baixo Carbono. In: Vieira Filho e José Eustáquio Ribeiro (Orgs.) ***Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade***. Brasília: Ipea, 2016.

Hanson, C., Lipinski, B., Friedrich, J. ***What's Food Loss and Waste Got to Do with Climate Change? A Lot, Actually.*** Disponível em: https://www.wri.org/blog/2015/12/whats-food-loss-and-waste-got-do-climate-change-lot-actually. Acessado em 20 de dezembro de 2018.

Harari, I., Cristi, A. ***Poluição atmosférica mata 4 mil pessoas por ano na cidade de São Paulo.*** Disponível em: https://www.viomundo.com.br/blog-da-saude/paulo-saldiva-poluicao-atmosferica-mata-4-mil-pessoas-por-ano-na-cidade-de-sao-paulo.html Acessado em 10 de março de 2019.

Herculano, F. ***Produção Industrial de Cosméticos: O Protagonismo da Biodiversidade Vegetal da Amazônia.*** Tese apresentada ao Programa Multi-Institucional de Pós-Graduação em Biotecnologia (PPGBIOTEC) da Universidade Federal do Amazonas (2013).

Henriques, M.F., Dantas, F., Schaeffer, R., 2010, "Potential for reduction of CO_2 emissions and a low-carbon scenario for the Brazilian industrial sector". In: ***Energy Policy***. v. 38, pp. 1946–1961.

IABR, 2010. ***A siderurgia em números 2010***. S.l.

IABR, 2017. ***A indústria do aço no brasil***. S.l.

IABR, 2019. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/dados.asp>. Acessado em: 17 Maio 2019.

IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/industria/9042-pesquisa-industrial-anual.html?&t=downloads>. Acessado em: 24 Outubro 2017.

IEA, 2018. ***Technology Roadmap: Low carbon transition in the cement industry***. S.l.

IEMA. ***O que precisamos para respirar ar limpo nas cidades.*** Disponível em: http://www.energiaeambiente.org.br/o-que-precisamos-para-respirar-ar-limpo-nas-cidades Acessado em 10 de janeiro de 2019.

Instituto Clima e Sociedade. ***Eficiência energética em condicionadores de ar.*** Disponível em: https://www.climaesociedade.org/post/news2-eficiencia-energetica. Acessado em 10 de abril de 2019.

Instituto Trata Brasil. ***Novo Ranking do Saneamento Básico mostra pouco avanço e que o Brasil ainda despeja quase 6 mil piscinas olímpicas por dia de esgotos sem tratamento na natureza***. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking-2018/press-release.pdf Acessado em 10 de abril de 2019.

_____. ***Principais estatísticas***. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas . Acessado em 10 de abril de 2019.

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: ***Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening***

the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

Kishinami, R., Watanabe Jr, S. ***Quanto o Brasil precisa investir para recuperar 12 milhões de hectares de florestas?*** São Paulo: Instituto Escolhas, 2016.

Levin, K. ***8 Things You Need to Know About the IPCC 1.5˚C Report.*** Disponível em: https://www.wri.org/blog/2018/10/8-things-you-need-know-about-ipcc-15-c-report. Acessado em 12 de março de 2019.

Lima, R., Harfuch, L. Política agrícola 4.0. ***Valor Econômico*** (23/05/2019).

Lipinski, B., Hanson, C., Lomax, J., Kitinoja, L., Waite, R., Searchinger. ***Reducing Food Loss and Waste***. Working Paper, June 2013, World Resources Institute.

Luiza, L. ***A lei que combate a poluição em São Paulo completa um ano e precisa sair logo do papel.*** Disponível em: https://www.greenpeace.org/brasil/blog/a-lei-que-combate-a-poluicao-em-sao-paulo-completa-um-ano-e-precisa-sair-logo-do-papel/. Acessível em 17 de janeiro de 2019.

Margulis, S., Amoni, M., Pereira, H., Gramkow, L., Soraya, L., Castro, T., Bandeira, A., Rosman, P. ***Mudança do Clima, Infraestruturas Críticas no Brasil e Dano Econômico***. Rio de Janeiro: ISS, 2019. Disponível em: http://www.iis-rio.org/media/publications/IIS-ICS_Mudanca_Clima_BaixaRes.pdf Acessado em 20 de março de 2019.

Marsicano, K. ***Família brasileira desperdiça 128 quilos de comida por ano, revela pesquisa da FGV.*** Disponível em: https://www.wwf.org.br/?67582/Famlia-brasileira-desperdia-128-quilos-de-comida-por-ano-revela-pesquisa-da-FGV Acessado em 12 de março de 2019.

Material Economics, 2018, "The circular economy: A powerful force for climate mitigation". In: . pp. 176.

McKinsey, 2018, "Decarbonization of industrial sectors: the next frontier". In: ***McKinsey & Company***. pp. 68.

MCTI, 2015. ***Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatórios de Referência - Setor de Processos Industriais - Indústria Química. Brasília.***

MCTIC. ***Trajetórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para alcance das metas brasileiras no acordo de Paris*** / Régis Rathmann [et al.] Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017. 64 p.: il. – (Opções de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em MCTIC, ONU MEIO AMBIENTE, 2017a, ***Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de cimento***. S.l. Disponível em: <www.mcti.gov.br>.

MCTIC, ONU MEIO AMBIENTE, 2017b. ***Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de ferro-gusa e aço***. S.l. Disponível em: <www.mcti.gov.br>.

MCTIC, ONU MEIO AMBIENTE, 2017c. ***Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor químico***. Brasilia. Disponível em: <www.mcti.gov.br>.

MCTIC, ONU MEIO AMBIENTE, 2017d. ***Opções de Mitigação em Setores-Chaves do Brasil: Sumário Executivo***. Brasilia, DF.

Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. ***Plano Decenal de Expansão de Energia 2027***. Brasília: MME/EPE, 2018.

Mogelgaard, K. et al. (2018). "From Planning to Action: Mainstreaming Climate Change Adaptation into Development". Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute. Disponível online em: https://www.wri.org/publication/climate-planning-to-action

New Climate Economy (2018). ***Unlocking the inclusive growth story of the 21st century: accelerating climate action in urgent times***.

Observatório do Clima. ***Sob Bolsonaro, autuações do Ibama são as menores em uma década.*** Matéria publicada no site do OC em 23 de maio de 2019.

PBMC. "Mudanças Climáticas e Cidades: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas". [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE–UFRJ, 2016.

Pereira, E.B., Martins, F.R., Gonçalves, A.R, Costa, R.S., de Lima, F.J.L., Rüther, R., de Abreu, S.L., Tiepolo, G.M., Pereira, S.V., de Souza, J.G***. Atlas brasileiro de energia solar.*** São José dos Campos: INPE, 2017.

Pereira, L.A. A., Assunção, J. V. de, Santos, U. de P., Braga, A. L. F., Andrade, M. de F., André, P. A. de, et al. (2010). O ar da cidade, ruído e as desigualdades na saúde. In ***Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles***. São Paulo: Ex-Libris.

Pereira, S. A Organização Coletiva de Catadores de Material Reciclável no Brasil: Dilemas e Potencialidades sob a Ótica da Economia Solidária. ***Texto para Discussão 2268.*** Rio de Janeiro: IPEA, 2017.

Pompermayer, F., Campos Neto, C., Pepino de Paula, J. Hidrovias no Brasil: Perspectiva Histórica, Custos e Institucionalidade. ***Texto para Discussão 1931***. Rio de Janeiro: IPEA, 2014.

Pompermayer, F. Transporte Regional Sustentável: Alavancas para Redução das suas Emissões de CO_2. Radar Nº18. Brasília: IPEA, fevereiro de 2012.

Ranganathan, J. ***Shifting Diets for a Sustainable Food Future. Creating a Sustainable Food Future, Installment Eleven***. Working Paper, World Resources Institute, April 2016.

Reis, I., Coluna, I. ***Emissões do Setor de Resíduos***. Documento de Análise SEEG 2018. Disponível em: http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/06/Relatorios-SEEG--2018-Residuos-FINAL-v2.pdf Acessado em 10 de janeiro de 2019.

Rochedo, P., Soares-Filho, B., Schaeffer, R., Viola, E., Szklo, A., Lucena, A., Koberle, A., Davis, J., Rajão, R., Rathmann, R. The threat of political bargaining to climate mitigation in

Brazil. ***Nature Climate Change*** volume 8, pages 695–698 (2018).

Secretaria de Assuntos Estratégicos. ***Brasil 2040***. Brasília: SAE/PR, 2015.

SEEG, 2019. Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/sectors/energia>. Acessado em: 17 Maio 2019.

SNIC, 2016. ***O atual contexto da CFEM para a competitividade da indústria mineral: o caso da indústria do cimento***. S.l.

SNIC, 2019a. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-do-setor.php>. Acessado em: 19 Maio 2019.

SNIC, 2019b. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-industria.php>. Acessado em: 19 Maio 2019.

SNIC, 2019c. Disponível em: <http://snic.org.br/processo-de-producao.php>. Acessado em: 19 Maio 2019.

SNIS. ***Diagnóstico dos Serviços de*** Água ***e Esgotos 2017***. Disponível em: http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017 Acessado em 15 de janeiro de 2019.

Speranza, J.S, Abramovay, R. ***O movimento chamado Lucros & Perdas Ambientais.*** Disponível em: https://forumempresarialpeloclima.ethos.org.br/o-movimento--chamado-lucros-perdas-ambientais/ Acessado em 01 de janeiro de 2019.

Swinburn, B., Kraak V., Allender, S., Atkins V., Baker, P., Bogard J. et all. (2019). ***The Global Syndemic of Obesity, Undernutrition, and Climate Change: The Lancet Commission report.*** EAT-Lancet EAT–Lancet Commission, Volume 393.

Trigueiro, A. "Lixo eletrônico". In André Trigueiro (org.). ***Mundo sustentável 2: novos rumos para um planeta em crise***. São Paulo: Globo, 2012.

USGS, 2019. ***Cement Statistics and Information***. S.l.

Votorantim, 2019. Disponível em: <http://www.votorantimcimentos.com/pt-BR/products-and-services/products/Paginas/cement.aspx>. Acessado em: 19 Maio 2019.

Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., et.al. (2019). ***Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems***. EAT-Lancet EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food sys tem.

World Health Organization. ***Air quality guidelines – global update 2005.*** Copenhagen: WHO, 2005.

World Steel Association, 2019. Disponível em: <https://www.worldsteel.org/media--centre/press-releases/2019/Global-crude-steel-output-increases-by-4.6--in-2018.html>. Acessado em: 17 Maio 2019.

Zalles, V. Near doubling of Brazil's intensive row crop area since 2000. ***PNAS*** January 8, 2019 116 (2) 428-435.