



*Opções de Mitigação de Emissões  
de Gases de Efeito Estufa em  
Setores-Chave do Brasil*



**MODELAGEM INTEGRADA E  
IMPACTOS ECONÔMICOS DE  
OPÇÕES SETORIAIS DE BAIXO  
CARBONO**

RÉGIS RATHMANN  
(ORGANIZADOR)

***MODELAGEM INTEGRADA E IMPACTOS  
ECONÔMICOS DE OPÇÕES SETORIAIS  
DE BAIXO CARBONO***

Brasília  
Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações  
ONU Meio Ambiente  
2017

---

M689 Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono / organizador Régis Rathmann. - Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017.

122 p.: il. - (Opções de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em setores-chave do Brasil)

ISBN: 978-85-88063-55-6

1. Mudanças Climáticas. 2. Emissão de gases. 3. Efeito estufa. 4. Políticas públicas - Emissão de gases. I. Rathmann, Régis. II. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. III. ONU Meio Ambiente. IV. Série.

CDU 551.583

---

Ficha catalográfica elaborada por: Lorena Nelza F. Silva - CRB-1/2474

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Esplanada dos Ministérios, Bloco E

CEP: 70.067-900 - Brasília - DF

Tel.: +55 (61) 2033-7500

[www.mcti.gov.br](http://www.mcti.gov.br)

ONU Meio Ambiente - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

Casa da ONU - Complexo Sérgio Vieira de Mello

Setor de Embaixadas Norte, Quadra 802, Conjunto C, Lote 17

CEP 70800-400 - Brasília/DF

Tel.: +55 (61) 3038-9233

[web.unep.org/regions/brazil](http://web.unep.org/regions/brazil)

## **República Federativa do Brasil**

### **Presidente da República**

*Michel Temer*

### **Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações**

*Gilberto Kassab*

### **Secretário Executivo**

*Elton Santa Fé Zacarias*

### **Secretário de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento**

*Jailson Bittencourt de Andrade*

### **Diretor do Departamento de Políticas e Programas de Ciências**

*Sávio Túlio Oselieri Raeder*

### **Coordenador-Geral do Clima**

*Márcio Rojas da Cruz*

## **Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – ONU Meio Ambiente**

### **Diretor Executivo da ONU Meio Ambiente**

*Erik Solheim*

### **Diretor Regional da ONU Meio Ambiente para América Latina e Caribe**

*Leo Heileman*

### **Representante da ONU Meio Ambiente no Brasil**

*Denise Hamú*

## **EQUIPE TÉCNICA DO MCTIC**

### **Coordenador-Geral do Clima**

*Márcio Rojas da Cruz*

### **Diretor Nacional do Projeto Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil**

*Ricardo Vieira Araujo*

### **Coordenador do Projeto Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil**

*Antônio Marcos Mendonça*

### **Coordenador Técnico do Projeto Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil**

*Régis Rathmann*

## **EQUIPE TÉCNICA**

*Andréa Nascimento de Araújo*

*Lidiane Rocha de Oliveira Melo*

*Marcela Cristina Rosas Aboim Raposo*

*Moema Vieira Gomes Corrêa (Diretora Nacional do Projeto até outubro de 2016)*

*Rodrigo Henrique Macedo Braga*

*Sonia Regina Mudrovitsch de Bittencourt*

*Susanna Erica Busch*

## **EQUIPE ADMINISTRATIVA**

*Ana Carolina Pinheiro da Silva*

*Andréa Roberta dos Santos Campos*

*Maria do Socorro da Silva Lima*

*Ricardo Morão Alves da Costa*

## **EQUIPE TÉCNICA DA ONU MEIO AMBIENTE**

*Francine Costa Vaurof*

*Patricia Taboada*

*Guilherme Sattamini*

*Maria Claudia Cambraia*

## **AUTORES**

*Alexandre Szklo*

*André Lucena*

*Roberto Schaeffer*

*Britaldo Silveira Soares Filho*

*Juliana Leroy Davis*

*Raoni Rajão*

*Eduardo Amaral Haddad*

*Edson Paulo Domingues*

*Alessandro Campos*

*Alexandre Koberle*

*Amanda Ribeiro*

*Evandro Lima*

*Fabiano Alvim Barbosa*

*Mariana Império*

*Pedro Rochedo*

*Stoécio Maia*

*William Leles Souza Costa*

## **Revisão**

*Anna Cristina de Araújo Rodrigues*

## **Projeto Gráfico**

*Capitular Design Editorial*

## **Editoração**

*Phábrica de Produções: Alecsander Coelho e*

*Paulo Ciola (direção de arte); Ércio Ribeiro, Icaro*

*Bockmann, Kauê Rodrigues, Marcelo Macedo e*

*Rodrigo Alves (diagramação)*



# Sumário

---

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| SUMÁRIO EXECUTIVO .....                                                                     | 13  |
| INTRODUÇÃO .....                                                                            | 21  |
| 1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E PREMISSAS ADOTADAS .....                                    | 25  |
| 1.1 MODELO MSB8000 .....                                                                    | 26  |
| 1.2 PLATAFORMA OTIMIZAGRO .....                                                             | 30  |
| 1.3 MODELO EFES .....                                                                       | 33  |
| 1.4 PROCEDIMENTOS DE INTEGRAÇÃO DA MODELAGEM E PREMISSAS ADOTADAS .....                     | 37  |
| 2 POTENCIAIS DAS AÇÕES DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE .....                                | 47  |
| 2.1 RODADA BASE.....                                                                        | 47  |
| 2.1.1 Sistema energético .....                                                              | 49  |
| 2.1.2 Setor de Afolu .....                                                                  | 59  |
| 2.2 RODADA DE SENSIBILIDADE .....                                                           | 63  |
| 2.2.1 Sistema energético.....                                                               | 64  |
| 2.2.2 Setor de Afolu.....                                                                   | 72  |
| 3 IMPACTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA IMPLEMENTAÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO.....         | 75  |
| 3.1 RODADA BASE.....                                                                        | 75  |
| 3.2 RODADA DE SENSIBILIDADE.....                                                            | 82  |
| 4 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA A IMPLEMENTAÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO ..... | 87  |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                                                  | 107 |
| REFERÊNCIAS.....                                                                            | 113 |
| ANEXOS.....                                                                                 | 119 |

---

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Modificações das Equações no Modelo Efes por Níveis de Valor de Carbono.....                                                                                                       | 36 |
| Tabela 2 – Taxas de Crescimento Médio do PIB Nacional (%) .....                                                                                                                               | 38 |
| Tabela 3 – Taxas de Crescimento Médio do PIB (%) por Macrossetores e Anos –<br>Cenário Fipe III .....                                                                                         | 38 |
| Tabela 4 – Cenários de Emissões do Sistema Energético, por Subsetores e não CO <sub>2</sub> <sup>1</sup> em<br>2020, 2030, 2040 e 2050.....                                                   | 53 |
| Tabela 5 – Potenciais de Redução de Emissões do Sistema Energético, por Subsetores e<br>não CO <sub>2</sub> <sup>1</sup> em 2020, 2030, 2040 e 2050 .....                                     | 53 |
| Tabela 6 – Principais Atividades de Baixo Carbono do Sistema Energético, por Setor e<br>Segmento, nos Cenários BC0, BC25 e BC50 em 2030 e 2050 .....                                          | 55 |
| Tabela 7 – Cenários de Emissões do Setor de Afolu, por Subsetores e Fontes Emissoras<br>em 2020, 2030, 2040 e 2050 .....                                                                      | 60 |
| Tabela 8 – Potenciais de Redução de Emissões do Setor de Afolu, por Subsetores e<br>Fontes Emissoras em 2020, 2030, 2040 e 2050 .....                                                         | 60 |
| Tabela 9 – Principais Atividades de Baixo Carbono do Setor de Afolu por Atividade,<br>nos Cenários BC0 e BC25 em 2030 e 2050 .....                                                            | 62 |
| Tabela 10 – Principais Atividades Adicionais de Baixo Carbono do Sistema Energético,<br>por Setor e Segmento, nos Cenários BC0, BC25 e BC50 da Rodada de<br>Sensibilidade (2030 e 2050) ..... | 71 |
| Tabela 11 – Cenários de Emissões do Setor de Afolu, por Subsetores e Fontes Emissoras<br>em 2020, 2030, 2040 e 2050 – Rodada de Sensibilidade .....                                           | 73 |
| Tabela 12 – Variação Absoluta nas Emissões do Setor de Afolu, por Subsetores e Fontes<br>Emissoras, entre a Rodada de Sensibilidade e Rodada Base.....                                        | 73 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Estrutura Básica de Níveis da Ferramenta.....                                                                                         | 27 |
| Figura 2 – Representação da Tecnologia na Ferramenta .....                                                                                       | 27 |
| Figura 3 – Modificações da Ferramenta em Termos de Detalhamento Temporal.....                                                                    | 28 |
| Figura 4 – Modificações da Ferramenta em Termos de Detalhamento Espacial .....                                                                   | 29 |
| Figura 5 – Modificações da Ferramenta em Termos de Detalhamento de Commodities .....                                                             | 29 |
| Figura 6 – Modificações da Ferramenta em Termos de Detalhamento Tecnológico .....                                                                | 29 |
| Figura 7 – Estrutura Espacial da Ferramenta .....                                                                                                | 31 |
| Figura 8 – Mapa de Uso da Terra (2012) Construído como Entrada para o Modelo<br>Otimizagro .....                                                 | 32 |
| Figura 9 – Estratégia para Geração dos Cenários Econômicos .....                                                                                 | 34 |
| Figura 10 – Correspondências de Variáveis entre os Modelos DSGE e Efes.....                                                                      | 35 |
| Figura 11 – Interação entre os Modelos DSGE e Efes .....                                                                                         | 35 |
| Figura 12 – Fluxograma das Etapas de Modelagem Aplicadas no Projeto.....                                                                         | 39 |
| Figura 13 – Cenários de Emissões Totais para o Setor de Afolu e Sistema Energético –<br>Rodada Base .....                                        | 48 |
| Figura 14 – Cenários de Emissões Totais para o Setor de Afolu e Sistema Energético com<br>Remoções em UC e TI – Rodada Base .....                | 48 |
| Figura 15 – Cenários de Consumo de Energia Primária pelo Sistema Energético – 2020 a 2050 ..                                                     | 50 |
| Figura 16 – Cenários de Geração de Energia Elétrica – 2020 a 2050.....                                                                           | 50 |
| Figura 17 – Cenários de Emissões de GEE do Sistema Energético – Rodada Base.....                                                                 | 51 |
| Figura 18 – Emissões Setoriais de GEE do Sistema Energético no Cenário REF .....                                                                 | 51 |
| Figura 19 – Cenários de Emissões de GEE para o Setor de Afolu no Período – Rodada Base .....                                                     | 59 |
| Figura 20 – Cenários de Emissões Totais para o Setor de Afolu e Sistema Energético –<br>Rodada de Sensibilidade .....                            | 64 |
| Figura 21 – Consumo de Energia Primária pelo Sistema Energético no Cenário BC25 da<br>Rodada Base e Rodada de Sensibilidade (s/CAC e c/CAC)..... | 65 |
| Figura 22 – Geração de Eletricidade no Cenário BC25 da Rodada Base e Rodada de<br>Sensibilidade (s/CAC e c/CAC) .....                            | 65 |
| Figura 23 – Geração de Eletricidade por Diferentes Tecnologias CSP por Região em 2050.....                                                       | 66 |
| Figura 24 – Geração Elétrica nos Cenários REF, BC50 (base) e BC50 (s/CAC).....                                                                   | 66 |
| Figura 25 – Cenários de Emissões de GEE nas Rodadas Base, Sensibilidade s/CAC e<br>c/CAC – 2020 a 2050 .....                                     | 67 |
| Figura 26 – Mitigação Acumulada até 2050, com Relação ao Cenário REF, por Faixas de<br>Tributo de Carbono .....                                  | 68 |
| Figura 27 – Cenários de Emissões de GEE do Setor de Transportes nas Rodadas Base,<br>Sensibilidade s/CAC e c/CAC – 2020 a 2050 .....             | 68 |



|                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 28 – Cenários de Emissões de GEE do Setor Energético e Elétrico nas Rodadas Base, Sensibilidade s/CAC e c/CAC – 2020 a 2050.....                                         | 69 |
| Figura 29 – Cenários de Emissões de GEE do Setor Energético, Elétrico e Transportes nas Rodadas Base, Sensibilidade s/CAC e c/CAC – 2020 a 2050.....                            | 70 |
| Figura 30 – Cenários de Emissões de GEE para o Setor de Afolu no Período – Rodada de Sensibilidade .....                                                                        | 72 |
| Figura 31 – Impacto sobre o Crescimento do PIB, na Adoção dos Cenários BC0, BC25 e BC100 até 2050.....                                                                          | 76 |
| Figura 32 – Impacto sobre o Crescimento do PIB na Adoção dos Cenários BC25 e BC100, até 2050, sem e com Reciclagem da Receita da Tributação de Carbono.....                     | 77 |
| Figura 33 – Impacto Setorial sobre o Crescimento do PIB na Adoção do Cenário BC0 até 2050 ...                                                                                   | 78 |
| Figura 34 – Impacto Setorial sobre o Crescimento do PIB na Adoção do Cenário BC25 até 2050 ...                                                                                  | 79 |
| Figura 35 – Impacto Setorial sobre o Crescimento do PIB na Adoção do Cenário BC100 até 2050 ..                                                                                  | 80 |
| Figura 36 – Variação Média Anual de Indicadores de Emprego e Renda até 2050 .....                                                                                               | 81 |
| Figura 37 – Variação Média Anual de Indicadores de Emprego e Renda até 2050, nos Cenários REF, BC25 e BC100, sem e com Reciclagem da Receita obtida com Tributo de Carbono..... | 82 |
| Figura 38 – Impacto sobre o Crescimento do PIB, na Adoção dos Cenários BC0, BC25 e BC100 até 2050 – Rodada Base e Rodada de Sensibilidade.....                                  | 83 |
| Figura 39 – Impacto Setorial sobre o Crescimento do PIB na Adoção do Cenário BC25 até 2050 – Rodada Base e Rodada de Sensibilidade .....                                        | 74 |
| Figura 40 – Impacto Setorial sobre o Crescimento do PIB na Adoção do Cenário BC100 até 2050 – Rodada Base e Rodada de Sensibilidade.....                                        | 85 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Quadro 1 – Premissas dos Cenários REF e BC do Sistema Energético na Rodada Base .....                                                                               | 41  |
| Quadro 2 – Premissas dos Cenários REF e BC do Setor de Afolu, por Subsetores,<br>na Rodada Base.....                                                                | 42  |
| Quadro 3 – Premissas dos Cenários REF e BC do Sistema Energético na Rodada<br>de Sensibilidade .....                                                                | 43  |
| Quadro 4 – Premissas dos Cenários REF e BC do Setor de Afolu, por Subsetores,<br>na Rodada de Sensibilidade.....                                                    | 44  |
| Quadro 5 – Medidas, Barreiras de Implementação e Instrumentos de Política Pública<br>para Adoção do Cenário BCO relativo à Rodada Base .....                        | 89  |
| Quadro 6 – Medidas Adicionais, Barreiras de Implementação e Instrumentos de Política<br>Pública para Adoção do Cenário BCO relativo à Rodada de Sensibilidade ..... | 93  |
| Quadro 7 – Medidas, Barreiras de Implementação e Instrumentos de Política Pública<br>para Adoção do Cenário BC25 relativo às Rodadas Base e de Sensibilidade.....   | 96  |
| Quadro 8 – Medidas, Barreiras de Implementação e Instrumentos de Política Pública<br>para Adoção do Cenário BC100 relativo às Rodadas Base e Sensibilidade .....    | 102 |

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas  
AFOLU – Agricultura, florestas e outros usos do solo  
ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis  
ATER – Assistência técnica e extensão rural  
BEV – Veículos puramente a bateria  
CAC – captura e armazenamento de carbono  
CANASAT – Monitoramento da Cana-de-Açúcar por Imagens de Satélite  
CENÁRIO BC – Cenário de baixo carbono  
CENÁRIO BC+I – Cenário de baixo carbono com inovação  
CENÁRIO REF – Cenário de referência  
CH<sub>4</sub> – Metano  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono  
CO<sub>2</sub>e – Dióxido de carbono  
CSP – Energia solar-térmica  
DSGE – Modelo de equilíbrio geral dinâmico  
E&P – Extração e produção  
EGC – Modelo de equilíbrio geral computável  
FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo  
FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas  
FV – Energia solar fotovoltaica centralizada  
GEE – Gases de efeito estufa  
GLD – Gerenciamento pelo lado da demanda  
GLP – Gás liquefeito de petróleo  
GWP – Potencial de aquecimento global  
IAEA – Agência Internacional de Energia Atômica  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IIASA – Instituto Internacional de Análise de Sistemas Aplicados  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática  
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
MCIDADES – Ministério das Cidades  
MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

MIP – Matriz de insumo-produto  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
MP – Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão  
MT – Ministério dos Transportes  
MtCO<sub>2</sub>e – Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente  
MTD – Melhores tecnologias disponíveis  
N<sub>2</sub>O – Óxido nitroso  
NDC – Contribuição Nacionalmente Determinada ao Acordo de Paris  
O&M – Operação e manutenção  
P&D – Pesquisa e desenvolvimento  
PAC – Programa de Aceleração do Crescimento  
PDE 2024 – Plano Decenal de Energia 2024  
PIB – Produto interno bruto  
pkm – Passageiro quilômetro transportado  
PLANAVEG – Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa  
PLANO ABC – Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura  
PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico  
PMDBBS – Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite  
PNLT – Plano Nacional de Logística e Transportes  
PNMC – Plano Nacional de Mudanças Climáticas  
PNMC – Política Nacional sobre Mudança do Clima  
PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos  
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos  
PRA – Programa de Regularização Ambiental  
QAV – Querosene de aviação  
RSU – Resíduos sólidos urbanos  
SINAFLOR – Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais  
SOSMA – SOS Mata Atlântica  
TCN – Terceira Contribuição Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima  
TI – Terras indígenas  
UC – Unidades de conservação  
UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima  
US\$/tCO<sub>2</sub>e – Dólares por tonelada de dióxido de carbono equivalente



# Sumário executivo

## SUMÁRIO EXECUTIVO

O projeto “Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil”, iniciativa do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) executada em parceria com a ONU Meio Ambiente, tem por objetivo ajudar o governo brasileiro a reforçar sua capacidade técnica de apoiar a implementação de ações de mitigação de emissões de GEE em diversos setores (indústria; energia; transportes; edificações; agricultura, florestas e outros usos do solo; gestão de resíduos).

Entre 2014 e 2017, foram mobilizados instituições e pesquisadores pertencentes à Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais – Rede Clima, que ficaram responsáveis por elaborar os estudos técnicos cujos resultados estão sintetizados nesta publicação. Foi construída e aplicada uma metodologia integrada de construção de cenários de mitigação de emissões para, partindo disso, mensurar impactos da sua adoção na economia.

O projeto considera um exercício inédito, em nível nacional, de modelagem integrada de trajetórias de mitigação de emissões. O procedimento metodológico trouxe robustez às projeções apresentadas na medida em que garantiu tanto consistência macroeconômica quanto identificação de potenciais setoriais aditivos de abatimento. Ademais, apresentou as oportunidades de mitigação por uma lógica de custo-efetividade, ressaltando os impactos que sua implementação traria para diferentes agregados econômicos e sociais, entre os quais produto interno bruto (PIB), PIB *per capita*, pessoal ocupado, produto por trabalhador, renda do trabalho e salário médio.

A partir de um cenário de referência (REF), que considera as metas constantes de políticas públicas governamentais, assim como planos oficiais de expansão setorial, foram construídos cenários de baixo carbono (BC) que abrangem a aplicação de melhores tecnologias disponíveis (MTD) para redução de emissões, considerando diferentes níveis de valores de carbono: 0, 10, 25, 50 e 100 dólares por tonelada de dióxido de carbono equivalente (US\$/tCO<sub>2</sub>e). O cenário de baixo carbono com valor de carbono nulo (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, entre outras). Os demais cenários BCx (em que x é o valor do carbono) 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.

Foram realizadas duas rodadas de modelagem, que consequentemente resultaram em dois conjuntos de trajetórias de emissões. O primeiro conjunto de cenários de emissões é denominado rodada base. Por sua vez, na rodada de sensibilidade, são testadas variações no conjunto de premissas básicas do estudo.

A análise de impactos econômicos testou a implementação dos cenários BC0, BC25 e BC100, tendo em vista os seguintes critérios:

- O cenário BC0 abrange medidas que demandam menor esforço para implementação, pois são viáveis economicamente, mas não são implementadas devido a barreiras não econômicas;
- O cenário BC25 apresenta atividades de baixo carbono em vias de apresentarem atratividade econômica, demandando precificação de carbono compatível com valores verificados na segunda fase do comércio de permissões de emissões da União Europeia – EU-ETS;
- Ao nível de 100 US\$/tCO<sub>2</sub> (BC100), estão abrangidas medidas que demandam tributação alta de carbono, que, caso fosse implementada, resultaria no maior potencial de mitigação de emissões de GEE no período 2020-2050.

A partir da definição dos cenários a serem analisados, foram testadas três possibilidades de reciclagem do tributo de carbono de 25 e 100 US\$/tCO<sub>2</sub> na economia: i) sem reciclagem da receita do tributo; ii) com reciclagem da receita para o governo; iii) com reciclagem da receita para famílias. Essa hipótese não se aplicou ao cenário com valor de carbono nulo (BC0), dado que este compreende medidas que são viáveis economicamente sem a internalização de um tributo de carbono.

A rodada base mostra que as emissões crescem aproximadamente 37% no período 2020-2050. A adoção dos cenários BC0, BC25 e BC100 permitiria mitigar emissões consideravelmente com relação ao cenário REF. Os potenciais de redução de emissões, em 2030, seriam de 7%, 22% e 28% e, em 2050, de 18%, 31% e 42%, respectivamente.

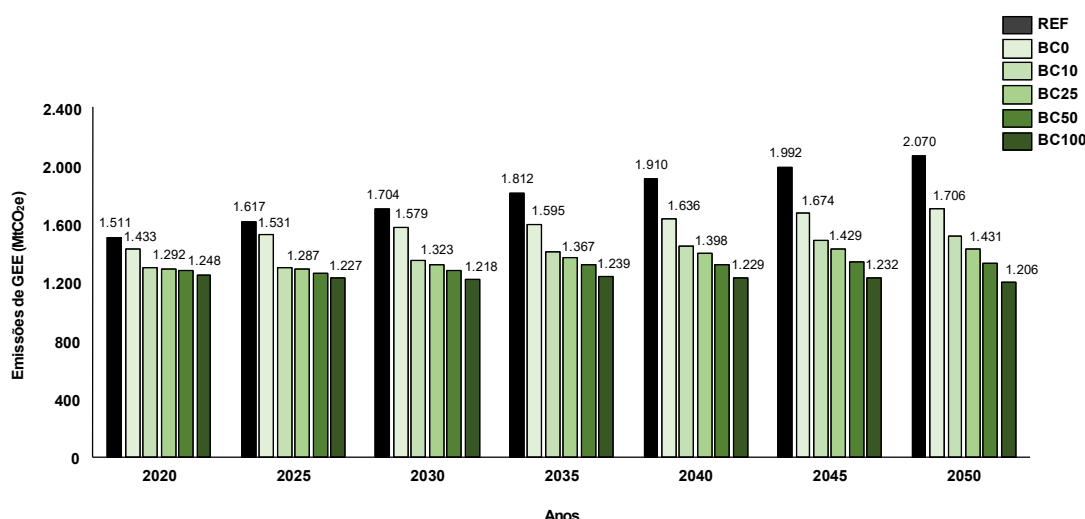


Figura 1 – Cenários de Emissões Totais – Rodada Base

A rodada de sensibilidade avalia o impacto de medidas adicionais de baixo carbono que seriam implementadas, a partir de 2030: i) adição de 20% de biodiesel ao diesel; ii) adição de 10% de bioquerosene ao querosene de aviação (QAV); iii) adição de 10% de biodiesel ao bunker marítimo; iv) participação mínima de 10% de energia solar no grid nacional por meio da inserção de energia solar centralizada (FV) e solar-térmica (CSP); v) venda exclusiva de veículos elétricos, tanto veículos puramente a bateria (BEV) quanto veículos híbridos e híbridos plug-in; vi) redução de 7% na demanda de passageiro quilômetro transportado (pkm) em relação ao cenário REF; vii) implementação ou não, em função de indisponibilidade comercial, da captura e armazenamento de carbono (CAC); viii) eliminação total no consumo de biomassa lenhosa proveniente de florestas nativas até 2050.

Os resultados mostram que a eletrificação no setor de transportes, em cenários de valor de carbono de 25 e 100 US\$/tCO<sub>2</sub>, pode trazer efeitos adversos sobre as emissões no longo prazo, o que demonstra a importância de formular políticas de mitigação segundo uma lógica de solução ótima de mínimo custo para o sistema energético e setor de agricultura, florestas e outros usos do solo (Afolu). Em 2030, a adoção das medidas por instrumentos de comando e controle reduziria as emissões nos cenários BC0, BC25 e BC100, com relação ao cenário REF, em 12%, 26% e 30%. Entretanto, em 2050, não haveria ganho de mitigação no cenário BC0 e, nos cenários BC25 e BC100, esse potencial reduziria, com relação à rodada base, para 29% e 40%, respectivamente.

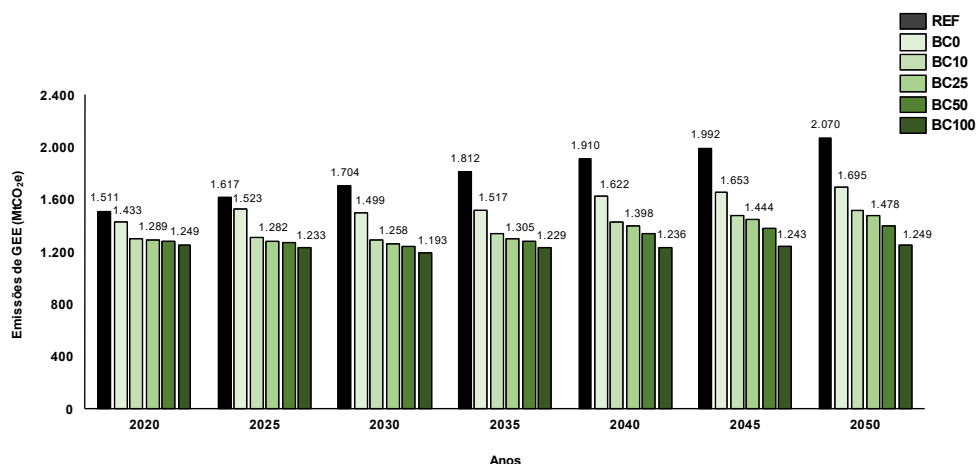


Figura 2 – Cenários de Emissões Totais – Rodada de Sensibilidade

A implementação dos cenários BC0 e BC25 pouco impactaria os indicadores de PIB, emprego e renda até 2050. Na rodada base, por exemplo, a variação média anual do PIB (%), perante um crescimento médio projetado nesse indicador de 1,86% ao ano entre 2020 e 2050, seria somente de -0,01% e -0,10% ao ano nos cenários BC0 e BC25, respectivamente.

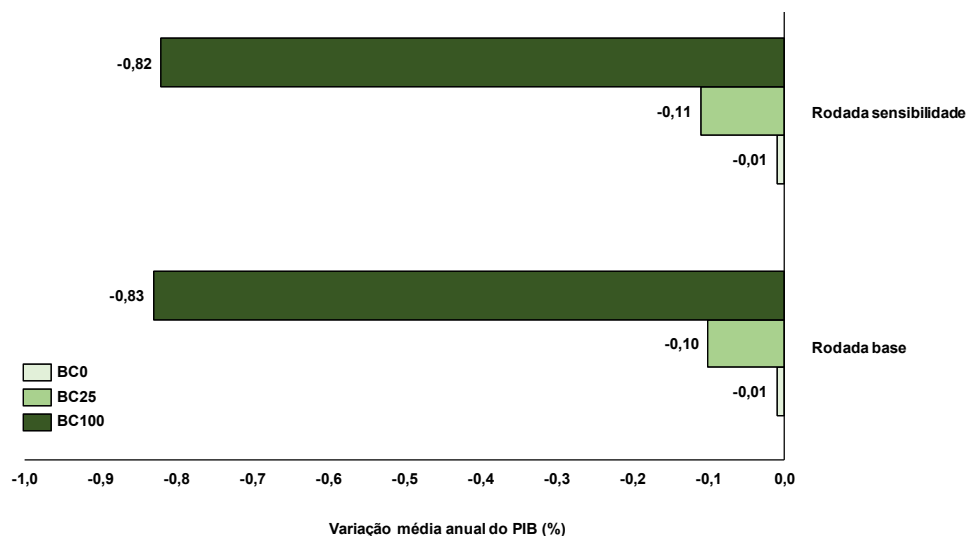


Figura 3 – Impacto sobre o Crescimento do PIB na Adoção dos Cenários BC0, BC25 e BC100 de 2020 a 2050 – Rodada Base e Rodada de Sensibilidade

Nota: Os valores foram obtidos a partir dos desvios médios anuais no período de 2020 a 2050, decorrentes da implementação dos cenários BC0, BC25 e BC100 com relação ao cenário REF de projeções do PIB.



Os setores de mineração, ferro-gusa e aço, elétrico e de petróleo e gás, por outro lado, seriam significativamente afetados mediante a internalização de um valor de carbono de 25 US\$/tCO<sub>2</sub> na economia. Em virtude do poder de encadeamento desses setores com atividades a jusante, é imprescindível elaborar instrumentos de política pública que amenizem potenciais efeitos de transmissão do custo carbono, viabilizando a implementação das opções de mitigação nesses setores.

Por essa razão, foram testados os mecanismos de reciclagem de tributação de carbono anteriormente citados. Os resultados revelaram que a reciclagem do tributo para o consumo do governo nos cenários BC25 e BC100 e para famílias no cenário BC100 tende a contrabalançar o efeito negativo do tributo. A reciclagem para o governo seria preferencial na medida em que o efeito sobre o PIB seria um desvio positivo médio anual de 0,06% a 0,20% ao ano entre 2020 e 2050, nos cenários BC25 e BC100, respectivamente. Ou seja, a adoção dos mecanismos levaria ao aumento do PIB.

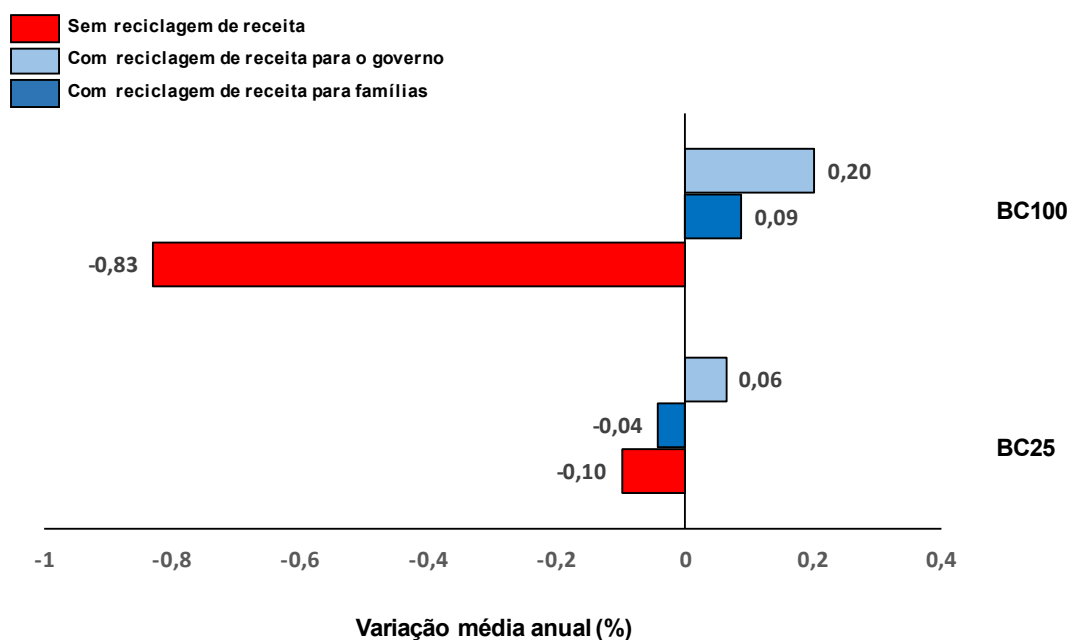
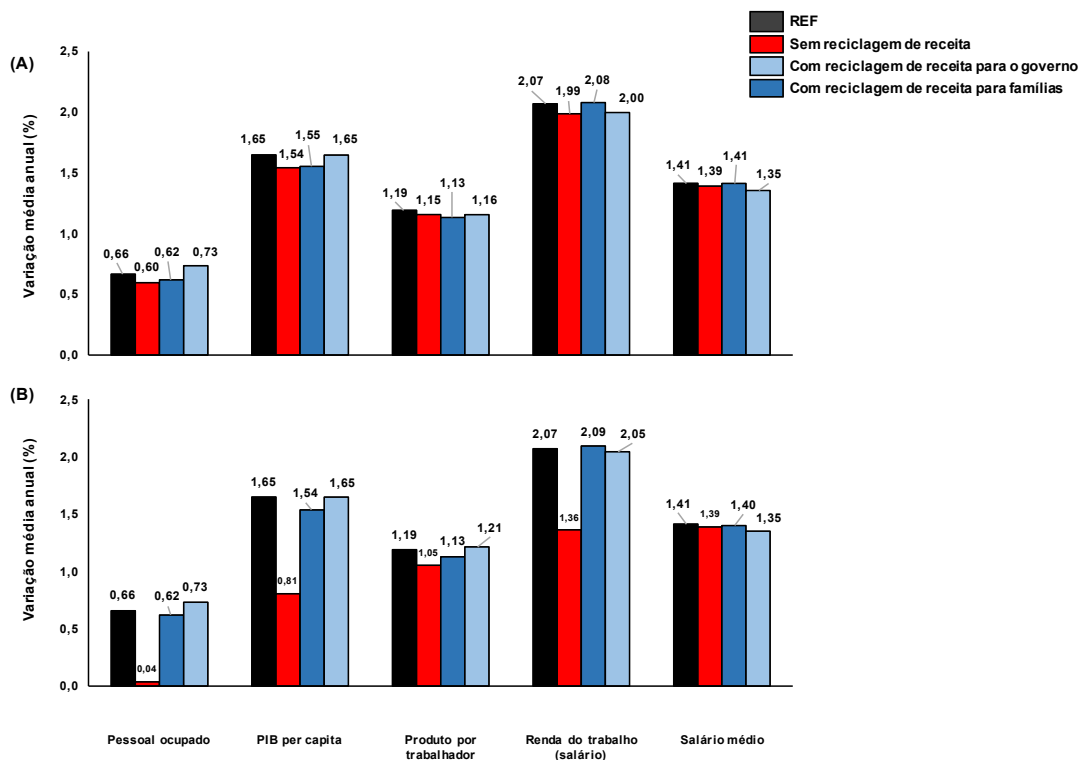


Figura 4 – Impacto sobre o Crescimento do PIB na Adoção dos Cenários BC25 e BC100, até 2050, sem e com Reciclagem da Receita da Tributação de Carbono

Nota: Os valores foram obtidos a partir dos desvios médios anuais no período de 2020 a 2050, decorrentes da implementação dos cenários BC25 e BC50 com relação ao cenário REF de projeções do PIB.

Em termos dos indicadores de emprego e renda, a reciclagem do tributo para o governo seria vantajosa, com relação ao cenário REF, em termos do PIB setorial, PIB *per capita* e produto por trabalhador. A reciclagem para famílias é preferencial perante os indicadores de renda do trabalho e salário médio. Portanto, o ideal seria a adoção de um mecanismo misto de reciclagem para famílias e reciclagem para governo, e, para setores em que ambos os mecanismos se mostraram pouco efetivos, seria necessário adotar outros instrumentos. No caso dos setores de petróleo e gás natural, mineração e siderurgia, por exemplo, poderia ser permitida a realização de offsets com o setor de Afolu, tendo em vista a potencialidade de redução de emissões oriundas da queda no desmatamento, intensificação do plantio de florestas comerciais e recuperação de áreas degradadas.



**Figura 5 – Variação Média Anual de Indicadores de Emprego e Renda até 2050, nos Cenários REF, BC25 e BC100, sem e com Reciclagem da Receita obtida com Tributo de Carbono**

(A) Indicadores nos cenários REF e BC25, sem e com reciclagem do tributo de carbono para o consumo das famílias e consumo do governo.

(B) Indicadores nos cenários REF e BC100, sem e com reciclagem do tributo de carbono para o consumo das famílias e consumo do governo.

A implementação dos cenários de baixo carbono analisados exige a remoção de barreiras, para o que devem ser aprimorados e/ou elaborados instrumentos de política pública. Assim, foram elencados subsídios que permitiriam que os cenários BC0, BC25 e BC100 fossem adotados.

Com relação ao cenário BC0, constatou-se ser fundamental a implementação dos seguintes instrumentos:

- Criação de um programa de depreciação obrigatória de equipamentos industriais de geração de calor e vapor;
- Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência energética para equipamentos, por meio da criação do Selo de Eficiência Energética Industrial;
- Estabelecimento de novos limites de emissões pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) de queima em *flare* em plataformas de petróleo, considerando a adoção da tecnologia de piloto de ignição;
- Inserção da lenha proveniente de florestas plantadas na Política de Garantia de Preços Mínimos;
- Definição de *benchmark* para novas plantas industriais;
- Inclusão de metas e prazos no Programa de Parcerias de Investimentos (PPI), visando à conclusão das obras de infraestrutura e à construção de terminais de integração modal;

- Certificação da madeira de florestamento e implementação em âmbito nacional do Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (Sinaflor);
- Regulamentação do biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos (RSU) e efluentes pela ANP;
- Revisão dos padrões do Selo Procel;
- Implementação de uma regulação específica para a remuneração da repotenciação em usinas hidrelétricas.

A implementação dos cenários BC25 e BC100 requer a precificação de carbono na economia. A opção da tributação do carbono, com mecanismos de reciclagem, é preferencial para setores com elevada carbono-intensidade, como é o caso dos segmentos industriais, energético e de transportes. Para o setor de Afolu, no qual a precificação pode levar a aumento no preço dos alimentos sem necessariamente reduzir suas emissões, uma forma de incentivo seria a criação de linhas de crédito, por exemplo, no Plano ABC, para investimento em atividades de baixo carbono.

Além dos instrumentos já citados, posto que o cenário BC25 é adicional, são necessários os seguintes mecanismos de política pública:

- Criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética”;
- Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento de arcabouço regulatório de baixo carbono que inclua a realização de inventários de emissões e auditorias energéticas;
- Criação de leilões específicos com preços-teto diferenciados para geração elétrica baseada em fontes renováveis de energia;
- Taxação de veículos ineficientes e redução de impostos para veículos eficientes (feebate);
- Obrigatoriedade da etiquetagem relativa à eficiência energética para veículos novos e usados;
- Implementação e operacionalização do Cadastro Ambiental Rural (CAR) com sensoramento remoto para fiscalização eletrônica do desmatamento;
- Vinculação da isenção e da redução do Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural (ITR) à regularização por meio da restauração florestal;
- Condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados à realização de investimentos nos órgãos de ATER (assistência técnica e extensão rural) e à regulamentação do Programa de Regularização Ambiental (PRA);
- Criação de um centro nacional de apoio a municípios para a gestão de baixo carbono dos resíduos sólidos.

A implementação do cenário BC100 é permeada por uma série de incertezas, entre as quais disponibilidade comercial e viabilidade econômica das tecnologias. Por outro lado, o incentivo por meio de instrumentos de política pública à adoção do cenário seria fundamental para transição a uma economia de baixo carbono. Adicionalmente aos cenários anteriores, sua implementação requer:

- Desoneração de impostos para importação dos veículos elétricos e componentes das torres eólicas;
- Criação da linha de crédito “Financiamento à Transição de Mobilidade de Baixo Carbono”, com taxas subsidiadas de juros para aquisição dos veículos elétricos;

- Criação da linha de crédito “Financiamento a plantas-piloto – Captura de Carbono”;
- Realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) voltados à aerogeradores mais aptos a operar nas condições de vento brasileiras;
- Criação de laboratórios para testar em menor escala os impactos do armazenamento de CO<sub>2</sub> em su-midouros geológicos e projetos de rede de dutos para coleta de CO<sub>2</sub> a partir das fontes estacionárias;
- Elaboração e implementação de projetos-piloto de captura de CO<sub>2</sub>;
- Proposta de estrutura regulatória que contenha um conjunto de informações e procedimentos (etapas de um projeto, agentes atuantes e órgãos fiscalizadores) para a implementação segura e eficaz de técnicas de CAC no Brasil com o foco principal nas etapas de transporte e armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>;
- Aumento da alocação orçamentária do MCTIC visando o fomento à pesquisa, desenvolvimento e demonstração de tecnologias críticas de baixo carbono;
- Cursos de formação técnica que permitam que profissionais tenham a capacidade de desenvolver e dar assistência a produtos relacionados com a implantação de rede de carbodutos e armazena-mento geológico no Brasil.

A análise dos instrumentos mostrou que a adoção do cenário BC100 é extremamente complexa e, mesmo os cenários BC0 e BC25 são desafiadores. Portanto, deve ser promovido amplo debate com a sociedade civil e o setor privado, em particular com atores do setor financeiro, dado o patamar de investimentos demandado para adoção das medidas de baixo carbono avaliadas nesses cenários.



# Introdução

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as mudanças climáticas causaram impactos nos sistemas naturais e humanos em todos os continentes e em todos os oceanos. A influência humana no sistema climático é clara, e as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE) são as maiores da história. O aquecimento do sistema climático é inequívoco: os oceanos estão mais quentes, a quantidade de neve e gelo diminuiu e há elevação no nível do mar (IPCC, 2014a).

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), é “extremamente provável” que a alta concentração dos GEE seja a causa dominante do aquecimento observado desde meados do século XX. A continuidade das emissões de GEE nos patamares atuais levará a mais aquecimento e alterações nos componentes do sistema climático, aumentando a probabilidade de impactos severos e irreversíveis para pessoas e ecossistemas (IPCC, 2014b).

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática (UNFCCC) foi instituída durante a Earth Summit (Cúpula da Terra), em 1992, no Rio de Janeiro. O objetivo principal da Convenção é estabilizar as concentrações de GEE em um nível que impeça a interferência antropogênica perigosa no sistema climático. Esse objetivo deve ser atingido dentro de um prazo que permita a adaptação dos ecossistemas e o desenvolvimento sustentável e que não ameace a produção de alimentos.

O Acordo de Paris é o acordo climático global mais recente, realizado durante a 21ª Conferência das Partes (COP21) da UNFCCC, em 2015. O objetivo central do Acordo é fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima e reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças.

O Acordo foi aprovado pelos 195 países que compõem a UNFCCC para reduzir emissões de GEE, com o objetivo de conter o aumento da temperatura média global em menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais, além de enviar esforços para limitar esse aumento a 1,5°C até 2100. O Brasil depositou o instrumento de ratificação do Acordo em setembro de 2016, que passou a vigorar no plano internacional em novembro de 2016. Nesse Acordo, o país assumiu o compromisso de adotar medidas para redução de emissão de GEE por meio de uma Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC).

É nesse contexto que surge o projeto “Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil”, iniciativa do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) executada em parceria com a ONU Meio Ambiente, cujo objetivo é ajudar o governo brasileiro a reforçar sua capacidade técnica de apoiar a implementação de ações de mitigação de emissões de GEE em diversos setores (indústria; energia; transportes; edificações; agricultura, florestas e outros usos do solo; gestão de resíduos).

Entre 2014 e 2017, foram mobilizados instituições e pesquisadores pertencentes à Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais – Rede Clima, que ficaram responsáveis por elaborar os estudos técnicos cujos resultados estão sintetizados nesta publicação. O objetivo foi construir e aplicar uma metodologia integrada de construção de cenários de mitigação de emissões de GEE para, partindo disso, mensurar impactos da sua adoção na economia. Com isso, podem-se superar limitações de estudos anteriores realizados no Brasil (DE GOUVELLO, 2010; LA ROVERE et al., 2016) que, ao avaliarem oportunidades de abatimento exclusivamente em âmbito setorial, super e subestimaram potenciais e custos de abatimento, respectivamente (ROCHEDO et al., 2015; LUCENA et al., 2016; MCTIC, 2017a).

Trata-se de uma iniciativa absolutamente inédita em âmbito nacional devido ao engajamento de atores na sua elaboração e, principalmente, devido à técnica de modelagem integrada adotada na construção dos cenários de emissões de GEE para o período de 2010 a 2050 e na análise dos impactos econômicos decorrentes da sua implementação. A técnica de integração de modelos permitiu analisar o efeito da não aditividade de potencial de mitigação em todos os setores avaliados, garantindo robustez aos cenários setoriais de abatimento de emissões.

A modelagem integrada de cenários de mitigação de emissões de GEE partiu de condições de contorno provenientes de um modelo de consistência macroeconômica (modelo de equilíbrio geral dinâmico – DSGE) que gerou informações para a elaboração dos cenários econômicos junto a um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) intitulado Modelo Efes (KANCZUK, 2001; HADDAD; DOMINGUES, 2016). No Efes, foram projetadas as variáveis-chave usadas para a construção de cenários setoriais de oferta e demanda de energia, assim como uso e mudanças no uso do solo. Os modelos setoriais forneceram parâmetros técnico-econômicas e curvas de demanda de energia que viabilizaram a integração das projeções nos modelos MSB8000, Otimizagro e Efes. Essa integração foi do tipo soft-link, o que exigiu a transposição de resultados entre os modelos (SOARES-FILHO et al., 2009; SPENCER et al., 2015; HADDAD; DOMINGUES, 2016). Para o MSB8000, foi feita uma integração desse tipo com os modelos setoriais de demanda, Otimizagro e Efes.

No que se refere à interação da demanda de energia com o modelo Otimizagro, fez-se necessário verificar, por exemplo, eventuais restrições de uso do solo para expansão da produção de lenha e carvão vegetal provenientes de florestas plantadas, assim como cana-de-açúcar e soja. O Otimizagro foi aplicado para projetar as diferentes atividades agropecuárias com base em critérios de rentabilidade potencial, aptidão física e favorabilidade climática. Ademais, foi aplicado para construir mapas de evolução de uso e mudanças no uso do solo, bem como para projetar as emissões de GEE do setor.

Por fim, para o procedimento iterativo com o modelo Efes, fizeram-se necessárias rodadas para convergir projeções de crescimento da produção de insumos energéticos. Além disso, coube aos modelos MSB8000 e Otimizagro gerar coeficientes de intensidades de energia e carbono dos diferentes setores analisados, em cenários sem e com internalização de preços de carbono na economia, visando à mensuração, pelo modelo Efes, dos desvios em termos de PIB, nível de emprego e renda. Da mesma forma, a demanda de energia final do setor agropecuário no MSB8000 convergiu com os resultados de uso do solo do Otimizagro.

Com horizonte de projeção de 2011 a 2050 e tendo 2010 como ano-base, foram desenvolvidos cenários de emissões de GEE: i) cenário de referência (REF); ii) cenários de baixo carbono (BC). O

cenário REF abrange as metas constantes de políticas públicas governamentais, assim como planos oficiais de expansão setorial. Os cenários BC abrangem a aplicação de melhores tecnologias disponíveis (MTD) que produzam efeitos de mitigação de emissões e consideram diferentes níveis de valores de carbono na função objetivo dos modelos de otimização, assim gerando um conjunto de cenários BC.

Esses procedimentos e premissas de modelagem são explorados com detalhe no primeiro capítulo. No capítulo 2, serão apresentados os cenários de emissões, separadamente para a rodada base e rodada de sensibilidade dos modelos citados. Uma vez identificadas as ações de baixo carbono mais custo-efetivas a serem priorizadas setorialmente, no terceiro capítulo, mensuram-se os impactos econômicos e sociais decorrentes da implementação dos cenários BC no período de 2020 a 2050. O quarto capítulo apresenta os subsídios à implementação dos cenários e, por fim, seguem-se as conclusões do estudo.





# Procedimentos metodológicos e premissas adotadas

Capítulo

**1**

# 1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E PREMISSAS ADOTADAS

A implementação de ações de mitigação das emissões apresenta custos e oportunidades para os setores econômicos do país. A identificação da custo-efetividade das opções mitigadoras requer uma abordagem integrada que combine medidas para reduzir o consumo de combustíveis fósseis e emissões provenientes do uso e mudanças no uso do solo.

Com esse propósito, foram construídas trajetórias de baixo carbono para o Brasil até 2050. Para tanto, foi empregada a metodologia de cenários, que é amplamente utilizada para a investigação de oportunidades de redução de emissões de GEE (DE GOUVELLO, 2010; HENRIQUES JR, 2010; BORBA et al., 2012; LA ROVERE et al., 2016; MCTIC, 2017a).

Denomina-se cenário o procedimento de análise dos efeitos de estados futuros possíveis. De forma geral, os cenários representam a concepção de um futuro possível, sendo necessário conceber as premissas e condições para que esse futuro ocorra. Por isso, a construção de cenários está inerentemente associada a um conjunto de premissas formuladas pelo analista. No contexto deste estudo, portanto, os cenários não devem ser interpretados como previsões, pois objetivam descrever efeitos de estados futuros possíveis, condicionados ao conjunto de premissas consideradas.

Cenários podem ser formulados de forma quantitativa ou qualitativa. Neste estudo, adota-se uma construção quanti-qualitativa, visto que as trajetórias de emissões e impactos da implementação de cenários sobre indicadores de emprego e renda constituem ponto de partida para a análise de barreiras e proposição de instrumentos de política pública para adoção dos cenários de baixo carbono.

A grande vantagem na aplicação da metodologia surge ao serem formulados cenários capazes de avaliar possíveis variações nas premissas necessárias. A partir desse procedimento, é possível avaliar, de forma sistemática, as incertezas no presente. Os cenários permitem avaliar os efeitos da introdução de uma nova política ou a introdução de uma nova tecnologia em um setor específico, por exemplo. A aplicação prática das informações advindas da análise dos cenários pode ser utilizada para auxiliar as atividades de planejamento, avaliar robustez e vulnerabilidades estruturais, verificar efeitos em possíveis atividades, seja no curto, no médio ou no longo prazo, e auxiliar a elaboração de instrumentos de política econômica, mercadológica, social e/ou ambiental.

Outra característica da metodologia que começa a se tornar evidente é a necessidade de se utilizarem cenários para uma análise comparativa de forma relativa. Isto é, os cenários, de forma individual e absoluta, pouco informam. A grande aplicação dos cenários está justamente na avaliação das mudanças que ocorrem ao se variar um conjunto de premissas. Dessa forma, é extremamente

importante definir uma base de comparação comum. O cenário que serve de base de comparação é designado neste estudo como referencial. Ou seja, é um cenário elencado para se tornar a base de comparação para os demais, neste particular, cenários de baixo carbono.

O primeiro conjunto de trajetórias de emissões construído neste estudo é denominado “rodada base”. Adicionalmente, serão testadas variações no conjunto de premissas, cujos resultados intitulam-se “rodada de sensibilidade”. Nesta, será realizada análise de sensibilidade para testar o comportamento do sistema energético, e consequente impacto sobre o setor de agricultura, florestas e outros usos do solo (Afolu), ambos em termos de emissões. Finalmente, serão mensurados efeitos sobre indicadores econômicos provenientes da adoção dos cenários de baixo carbono, segundo as duas rodadas de modelagem integrada.

A seguir, serão brevemente descritas as ferramentas que foram aplicadas para a construção dos cenários, quais sejam MSB8000, Otimizagro e Efes. Em seguida, serão descritos os procedimentos metodológicos considerados para integração da modelagem e, por fim, as premissas gerais e específicas dos conjuntos de trajetórias de emissões.

## 1.1 MODELO MSB8000

O modelo MESSAGE (Model for Energy Supply System Alternatives and their General Environmental Impacts) foi desenvolvido originalmente no International Institute for Applied System Analysis (IIASA) para a otimização de um sistema energético (com suas demandas e suas ofertas) (GRITSEVSKYI; NAKICENOV, 2000; IAEA, 2007). Atualmente, é utilizado por diversos grupos de pesquisa ao redor do mundo, sendo aplicado para setores energéticos há décadas, tanto para balanços de energia quanto para balanços de massa (CLARKE et al., 2014; RIAHI et al., 2014; DEN ELZEN et al., 2015; LUCENA et al., 2016).

O princípio matemático do MESSAGE é a otimização de uma função-objetivo sujeita a um conjunto de restrições que definem a região viável que contém as soluções possíveis do problema (IAEA, 2007). O valor da função objetivo ajuda a escolher a melhor solução, de acordo com um critério específico, usualmente, a minimização do custo. Numa classificação mais geral, o MESSAGE é um modelo de programação inteira mista (permite que algumas variáveis sejam definidas como inteiras), utilizado para a otimização de um sistema de energia.

Ao criar um modelo nessa ferramenta, o usuário define o horizonte de tempo e a complexidade estrutural desejada, sendo possível detalhar alguns setores e agregar outras informações quando necessário. A taxa de desconto é única para todos os setores, e o modelo de otimização é intertemporal (*perfect foresight*), o que significa que o modelo enxerga todo o período de análise, antes de tomar uma decisão. Por exemplo, se em 2030 houver a necessidade de expansão do sistema elétrico e a fonte eólica for a mais barata, o modelo decide pela construção de parques eólicos alguns anos antes para que, em 2030, exista capacidade de geração instalada para atender essa demanda.

O modelo foi projetado para formular e avaliar alternativas de estratégias para o suprimento de energia, em consonância com restrições como limites de investimentos, disponibilidade e preço de combustíveis, regulação ambiental e taxas de penetração de mercado para novas tecnologias, dentre outras. Aspectos ambientais podem ser avaliados contabilizando-se e, se necessário, limitando-se as emissões de poluentes por diversas tecnologias em vários níveis da cadeia energética. Isso ajuda a avaliar o impacto de regulações ambientais no desenvolvimento do sistema energético.

A ferramenta é estruturada por cadeias e insumos energéticos, contemplando desde os recursos existentes, passando pelos níveis de energia primária, secundária e final, até chegar à demanda energética (Figura 1).

Como recursos energéticos existentes, citam-se, por exemplo, as reservas de óleo e gás natural. Nos níveis de energia primária, o gás natural primário é oriundo tanto dos recursos domésticos quanto de importações. Os níveis secundários incluem gás natural secundário e eletricidade proveniente de térmicas a gás natural. O nível final de energia desconta as perdas de energia no transporte e distribuição de gás natural e óleo, por exemplo, e as perdas de transmissão e distribuição de eletricidade. O último nível contempla as demandas energéticas de todos os setores consumidores – transportes, indústria, resíduos, residencial e agricultura – e o autoconsumo do setor energético.

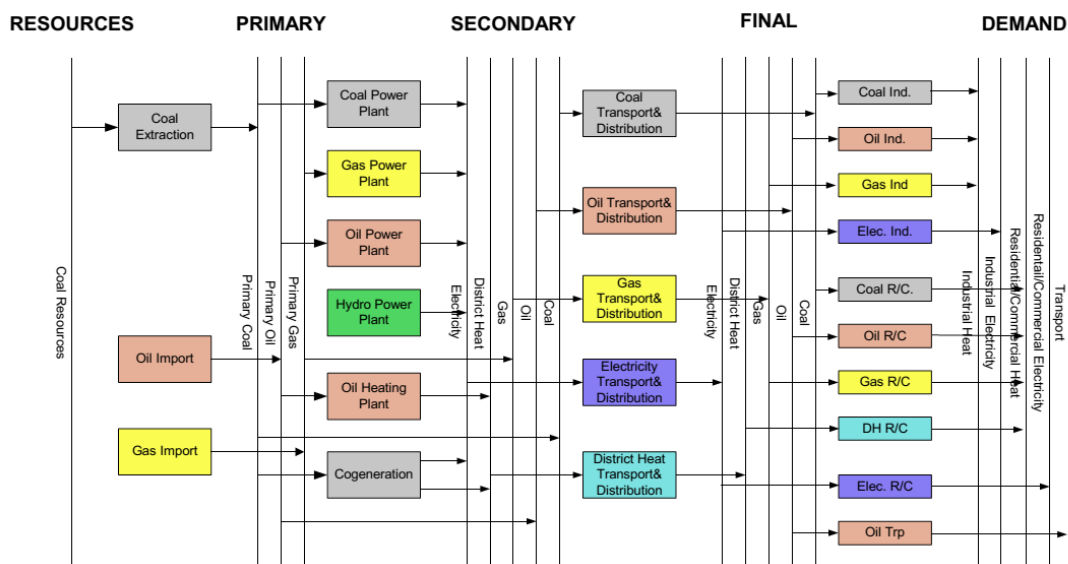


Figura 1 – Estrutura Básica de Níveis da Ferramenta

Os insumos energéticos se transformam de um nível para o outro por meio de tecnologias cujos parâmetros são eficiência, capacidade histórica instalada, custo de investimento e operação e manutenção fixo e variável, fator de capacidade, vida útil e tempo de construção (Figura 2).

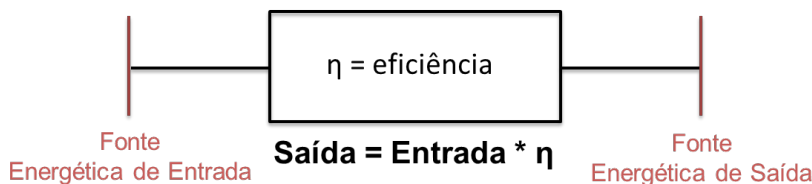


Figura 2 – Representação da Tecnologia na Ferramenta

As medidas de abatimento também são representadas na ferramenta. São divididas em três grandes grupos: conversão, consumo e processo. As medidas de abatimento de conversão se referem, por exemplo, à substituição de combustível, ao aumento de eficiência em fornos e caldeiras e à conversão de um energético em uma utilidade – calor, vapor e eletricidade. As medidas de consumo se referem à redução do consumo energético, que podem ser alcançadas com o isolamento de linhas e substituição

de motores/equipamentos elétricos. As medidas de processo constituem substituição de processos existentes por outros mais eficientes no atendimento à demanda de um produto.

A ferramenta utiliza restrições com o objetivo de tornar os resultados de modelagem aderentes à realidade. Para isso, limita-se a seleção do modelo visando representar falhas de mercado que não são captadas por um modelo de programação linear. A inclusão de restrições pode não alterar necessariamente a função objetivo, ou seja, pode não alterar a solução previamente encontrada. Porém, frequentemente, a adição de uma restrição altera de fato a função objetivo, tornando o problema mais difícil de ser resolvido. As restrições mais utilizadas no modelo são sobre capacidade instalada, capacidade em construção e uso de uma tecnologia em determinado período.

A ferramenta citada foi completamente reconfigurada para a construção dos cenários do sistema energético, iniciando a versão MESSAGE-Brasil 8000 (MSB8000), que objetiva melhor detalhamento regional dos fluxos de oferta e demanda de energia, assim como endogeneizar a eficiência energética e opções de mitigação de emissões de GEE em setores de uso final de energia (LUCENA et al., 2016; ROCHEDO et al., 2015; 2016; SORIA et al., 2016).

As figuras 3, 4 e 5 indicam as modificações que foram realizadas na ferramenta para este estudo. Primeiramente, detalharam-se as curvas de carga e de oferta, tanto em base horária quanto a partir da regionalização da oferta e demanda de eletricidade. Além disso, foi significativamente detalhado o nível de *commodities*, visando representar todas as cadeias de recursos energéticos, energia primária, energia secundária, energia final e energia útil.



Figura 3 – Modificações da Ferramenta em Termos de Detalhamento Temporal

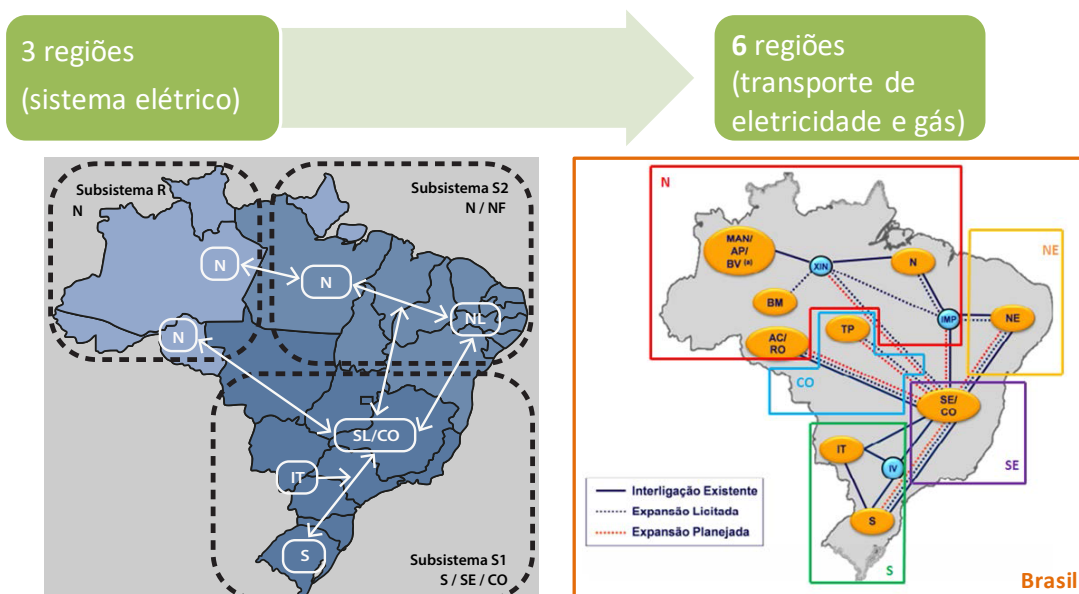


Figura 4 – Modificações da Ferramenta em Termos de Detalhamento Espacial

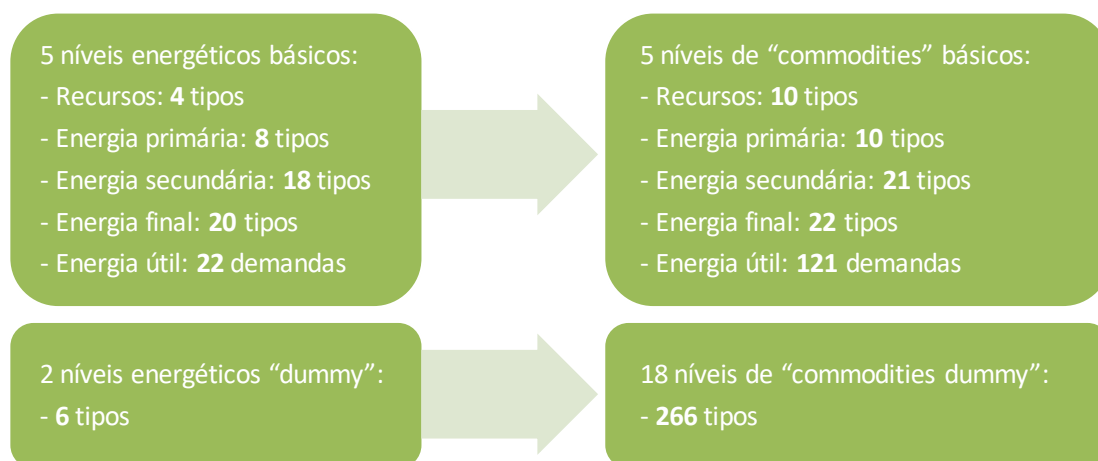


Figura 5 – Modificações da Ferramenta em Termos de Detalhamento de *Commodities*

Assim, esse detalhamento espacial e regional, associado a um aumento considerável da base tecnológica do modelo (Figura 6), levou a que se expandisse a complexidade estrutural da ferramenta, assim como o número de recursos e produtos descritos em termos de tecnologias de baixo carbono consideradas nos cenários referencial e de baixo carbono.

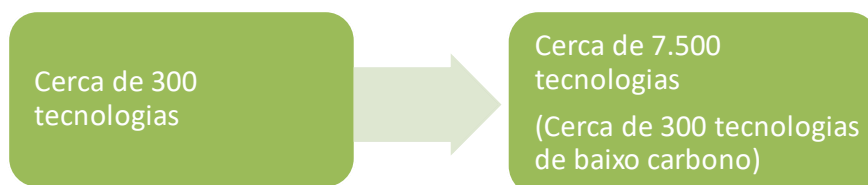


Figura 6 – Modificações da Ferramenta em Termos de Detalhamento Tecnológico

Claro está que a entrada de dados na ferramenta torna-se um enorme desafio tanto para as restrições do modelo e suas variáveis técnico-econômicas<sup>1</sup> quanto para os dados de entrada setoriais (demanda por serviços energéticos e opções de mitigação de emissões de GEE). Posteriormente, serão detalhados os procedimentos adotados para realizar a interface de dados que viabilizaram a construção dos cenários integrados de baixo carbono do estudo.

## 1.2 PLATAFORMA OTIMIZAGRO

A competição por terras no setor agropecuário, a necessidade de conservação de florestas e a implementação de estratégias de mitigação de GEE visando ao cumprimento de metas de redução das emissões, aliadas à pressão política sobre a legislação vigente (Código Florestal), trazem à tona a necessidade de criação de instrumentos capazes de facilitar a conciliação de interesses à primeira vista tão divergentes de forma a transformá-los em estratégias complementares (SOARES-FILHO et al., 2012).

A plataforma integrada de modelagem de uso e mudança no uso da terra, emissões de GEE e custos de abatimento de emissões para todo o território brasileiro, denominada Otimizagro, que foi aplicada para a construção de cenários do setor de Afolu por constituir ferramenta de gestão territorial. Como modelo de otimização do uso da terra, a plataforma é capaz de modelar cenários de planejamento de expansão e de melhoramento agrícola, bem como opções de mitigação de emissões de GEE no setor de Afolu.

Esse modelo simula nove cultivos temporários principais: soja, cana-de-açúcar, milho, algodão, trigo, feijão, arroz, mandioca e fumo. Desses, os três primeiros juntos somam 77% da área cultivada por lavouras temporárias no Brasil. Dentre os cultivos permanentes, são considerados: café arábica, café robusta, laranja, cacau e banana. Os dois conjuntos de cultivos são selecionados não apenas pela sua importância atual, mas também por serem objeto das projeções do *Outlook Brasil 2022* (FIESP/ICONE, 2012) e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) sobre expansão em área, produção e produtividade para 2023/2024 (MAPA, 2014). O Otimizagro também simula as culturas de inverno, como trigo, e as de safrinha, como feijão e milho. Além disso, a simulação inclui a expansão de floresta plantada e a necessidade de recomposição da vegetação nativa, como estipulado pelo Código Florestal.

Para simulação da expansão das culturas e florestas plantadas, o modelo utiliza mapas de rentabilidade potencial, aptidão física e de favorabilidade climática. Em tais análises, a rentabilidade das principais culturas, como a de soja, é dependente da infraestrutura atual e planejada. Nesse caso, são calculadas superfícies de custo de transporte sobre os vários modais das áreas produtivas até os portos e centros de armazenamento e consumo.

O Otimizagro faz a alocação das culturas com base em unidades espaciais, a saber: o país como um todo ou grandes regiões; estados, microrregiões do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) ou municípios; e células *raster* com 500 m x 500 m de resolução espacial. Uma base de dados compreensiva sobre o Brasil compõe o mapa inicial. Essa base conta com os remanescentes florestais nos seis biomas obtidos dos levantamentos: Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia, Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS (MMA, 2012), TerraClass (INPE, 2014) e SOS Mata Atlântica (SOSMA, 2015). A esse mapa são adicionadas as manchas urbanas de acordo com os distritos censitários do IBGE, corpos d'água e áreas protegidas (incluindo terras indígenas, unidades de conservação de uso sustentável e proteção integral).

---

1 Aqui se incluem dados de eficiência termodinâmica, capacidade instalada, custos fixos e variáveis, disponibilidade, tempo de vida, tempo de construção etc.

A alocação de cada cultura para o ano inicial do modelo é baseada nas estimativas municipais de área plantada e de área de floresta plantada por estado (ABRAF, 2012; IBGE, 2012). As culturas são alocadas usando-se critérios de aptidão física e climática, rentabilidade, dinâmica temporal da cultura e logística. Para a localização das manchas de soja, milho e cana-de-açúcar, também é utilizado o mapa de culturas agrícolas do Monitoramento da Cana-de-Açúcar por Imagens de Satélite (Canasat). Para desagregar as projeções em área, o Otimizagro calcula o potencial de cada microrregião. A partir daí, o modelo faz a alocação do incremento ou decremento anual de cada cultura com base em um mapa de probabilidade que consiste na integração das variáveis supracitadas. A alocação espacial se dá por meio de um mecanismo de autômato celular desenvolvido na plataforma de modelagem Dinamica EGO (SOARES-FILHO et al., 2013), que visa à agregação de manchas compatíveis com as observadas em mudança de uso e uso da terra.

O modelo inclui os seguintes processos:

- a) Cálculo das taxas de mudança no uso da terra por microrregião sob cenário de demanda agropecuária;
- b) Simulação das mudanças de uso da terra em dois passos anuais. O primeiro para cultura de verão e o segundo para culturas de inverno ou safrinha, com base em demandas de terras por microrregião;
- c) Extravasamento de demandas não alocadas no passo anterior para as regiões vizinhas, para o que se utiliza a área residual da etapa anterior como dado de entrada;
- d) Estimativa das emissões de GEE resultantes;
- e) Cálculo do custo por emissões evitadas.

Além dos mapas de uso da terra, o modelo produz como saída agregada a cada passo anual: área total por tipo de uso da terra; área desmatada por bioma; emissões de CO<sub>2</sub> por bioma; e custo por emissões evitadas. Em suma, o Otimizagro é um modelo espacialmente explícito (Figura 7 e Figura 8) que simula as conversões de uso da terra, trajetórias de desmatamento e regeneração florestal.

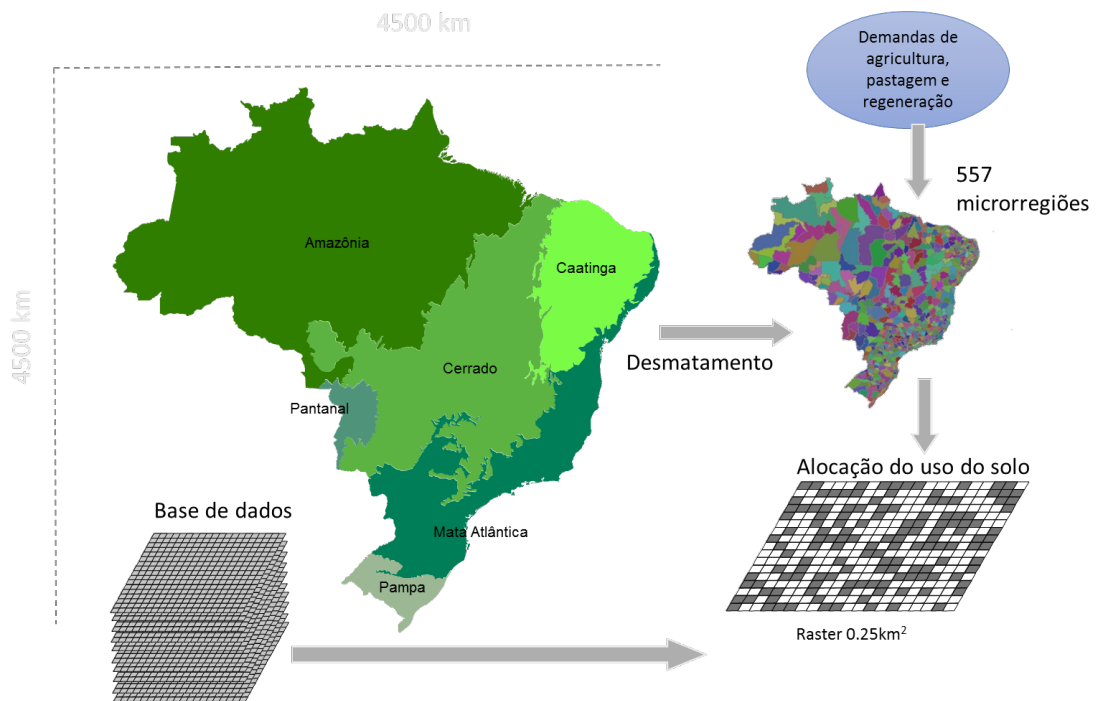


Figura 7 – Estrutura Espacial da Ferramenta



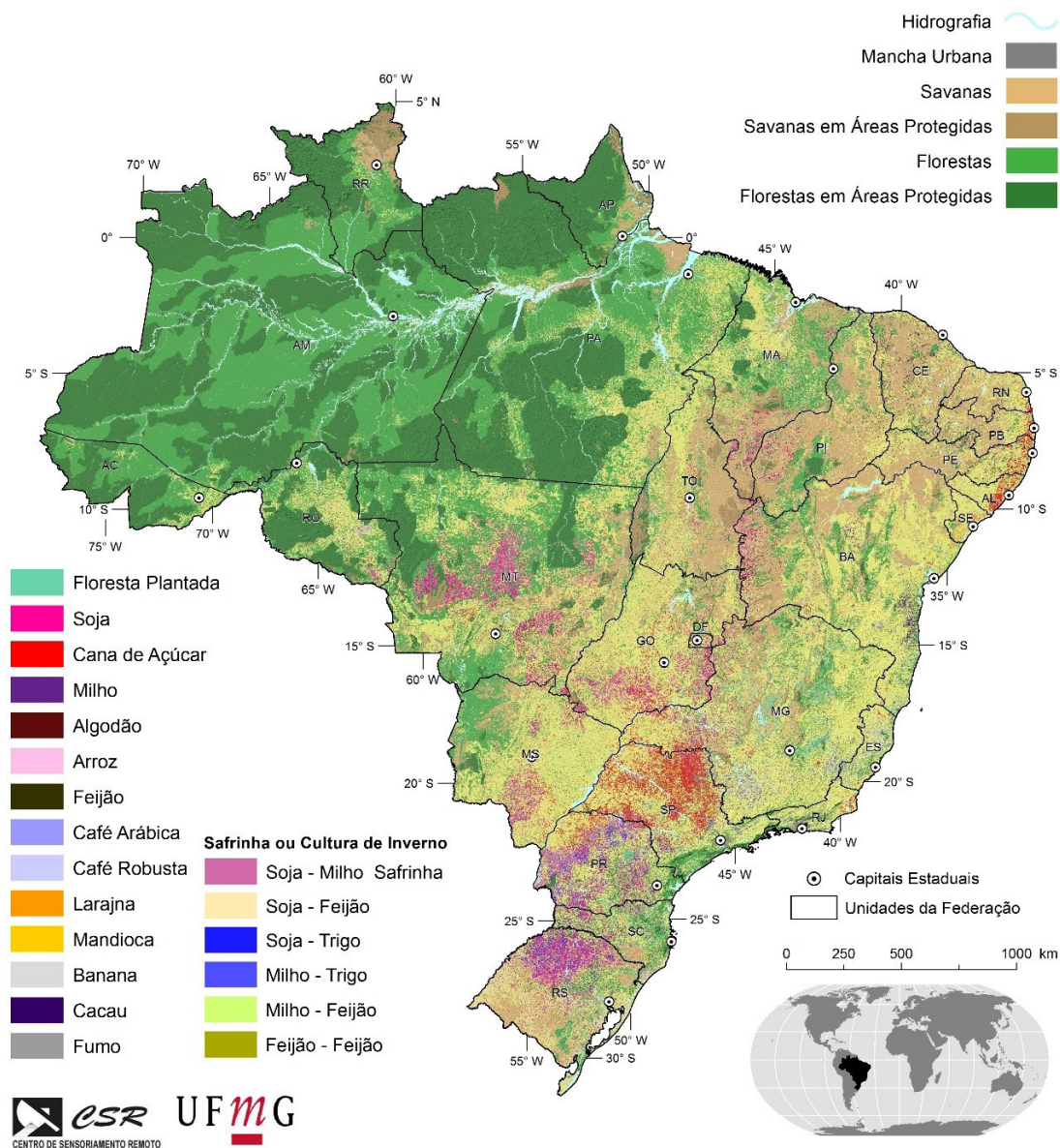


Figura 8 – Mapa de Uso da Terra (2012) Construído como Entrada para o Modelo Otimizagro

Como ressaltado, o modelo pode construir cenários de emissões de GEE, incluindo mensuração do cálculo de custos de abatimento, componente desenvolvido no âmbito deste estudo. Os cenários elaborados podem incluir, entre outras premissas, as metas de expansão agrícola de recomposição da vegetação nativa do Código Florestal e pelo Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – Planaveg (MMA, 2014), de redução de desmatamento do Plano Nacional de Mudanças Climáticas – PNMC (BRASIL, 2008) e estratégias de baixo carbono do Plano ABC (MAPA, 2012). Nesse aspecto, é importante destacar que a modelagem do setor de Afolu pode ser integrada aos demais setores econômicos, como indústria, energia, transporte e resíduos, o que traz robustez aos resultados (MCTIC, 2017a).

Essa interação é relevante, já que os setores produtivos dependem da disponibilidade de terra para atender as suas demandas. Por exemplo, a partir da demanda de biocombustíveis pelo setor de transportes, pode ser verificada a possibilidade de expansão da produção de cana-de-açúcar e soja para essa finalidade. Outro ponto de interação é a demanda de carvão e lenha pelos setores industrial e residencial. Essa demanda pode ser usada como entrada para o módulo de florestas plantadas, que gera, da mesma forma, um limite máximo de produção visando ao atendimento da demanda naqueles setores.

Descrição mais detalhada do Otimizagro, assim como procedimentos de modelagem de uso do solo e interação com setores analisados neste estudo, pode ser encontrada na publicação *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para agricultura, florestas e outros usos do solo* (MCTIC, 2017b).

### 1.3 MODELO EFES

O modelo Efes foi desenvolvido no âmbito do Projeto Sipape (Sistema Integrado de Planejamento e Análise de Políticas Econômicas), desenvolvido na Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (Fipe), cujo objetivo geral é a especificação e implementação de um sistema de informações integrado para projeção macroeconômica, setorial, regional e análise de políticas econômicas. Como parte da estratégia de integração adotada neste estudo, esse modelo de equilíbrio geral computável (EGC) está integrado a um modelo macroeconômico (modelo de equilíbrio geral dinâmico – DSGE), o que permite a geração de resultados desagregados para 56 setores e 110 produtos, consistentes com cenários macroeconômicos preestabelecidos (HADDAD; DOMINGUES, 2001; KANCZUK, 2001; 2004).

Na estratégia de implementação do modelo, podem ser definidos, esquematicamente, os vários estágios de simulação para a obtenção dos cenários econômicos consistentes, considerando a integração dos vários módulos. A utilização do modelo Efes em projeções possibilita a produção de resultados estruturais e macroeconômicos sobre a evolução da economia brasileira no período em estudo.

A Figura 9 apresenta, esquematicamente, a estratégia de simulação para a obtenção das projeções dos cenários econômicos, considerando a integração dos vários módulos ou modelos a serem utilizados. O modelo DSGE fornece ao Efes o cenário macroeconômico de referência. Ao mesmo tempo, adiciona-se às simulações do modelo Efes um conjunto de cenários de mudanças tecnológicas e preferências. Finalmente, são adicionadas premissas sobre mercados externos e de crescimento do resto do mundo, respectivamente, nos blocos de “Projeções estruturais de especialista” e “Projeções econométricas”. Assim, o modelo parte da matriz de insumo-produto (MIP) de 2010, que, em conjunto com os demais parâmetros, origina MIP e projeções de variáveis endógenas, na versão calibrada para propósito deste estudo para o horizonte de 2015 a 2050.

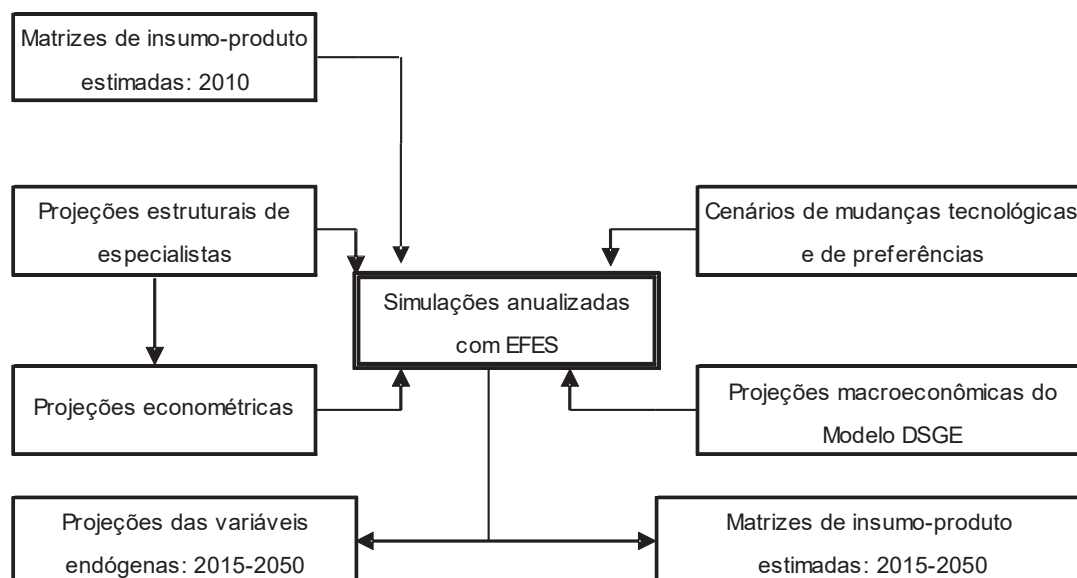


Figura 9 – Estratégia para Geração dos Cenários Econômicos

Uma importante etapa, antes da geração dos cenários futuros, refere-se às simulações históricas. As simulações históricas são utilizadas para a atualização do banco de dados do modelo e a determinação de tendências de mudanças tecnológicas e de preferências. O modelo foi calibrado, inicialmente, para 2007, ano mais recente para o qual estão disponíveis as informações completas necessárias para sua implementação. Entretanto, informações parciais vêm sendo liberadas para anos mais recentes (2008-2015), o que torna possível atualizar os coeficientes estruturais do modelo a partir desses dados.

Para o período histórico entre o ano-base considerado neste estudo, qual seja 2010, e os anos mais recentes, podem-se observar movimentos em muitas das variáveis que, normalmente, são determinadas endogenamente em modelos EGC. Para o caso brasileiro, são obtidas informações sobre a trajetória de variáveis, como: nível de atividade por setor produtivo, volumes de importação e exportação de bens, emprego de mão de obra por indústria, consumo das famílias, consumo do governo, investimento, remuneração dos fatores de produção, preços básicos dos bens domésticos, preços dos bens importados e variações em variáveis de política econômica (e.g. alíquotas de impostos, tarifas etc.).

Para acomodar as novas variáveis exógenas, devem-se endogeneizar algumas variáveis exógenas. O resultado final dessas simulações permitiu atualizar o banco de dados para um ano mais recente. No ambiente de projeção, o modelo Efes é alimentado por projeções macroeconômicas do modelo DSGE, a partir de 2014. Como insumo ao modelo Efes, fazem parte também projeções demográficas, que são obtidas no IBGE.

Deve-se ressaltar também que as projeções do modelo não representam previsões, *stricto sensu*, para a economia brasileira. Os resultados derivados do modelo refletem trajetórias das variáveis endógenas para cenários exógenos específicos. A grande vantagem desse instrumental refere-se à sua flexibilidade na geração de cenários para a economia, dentro de um arcabouço teórico de equilíbrio geral totalmente baseado em fundamentos econômicos.

A Figura 10 e a Figura 11 listam as variáveis endógenas do modelo DSGE e sua correspondência com as variáveis exógenas no modelo Efes, assim como a interação entre os modelos DSGE e Efes, visando estimar impactos setoriais da adoção de cenários de baixo carbono, respectivamente.

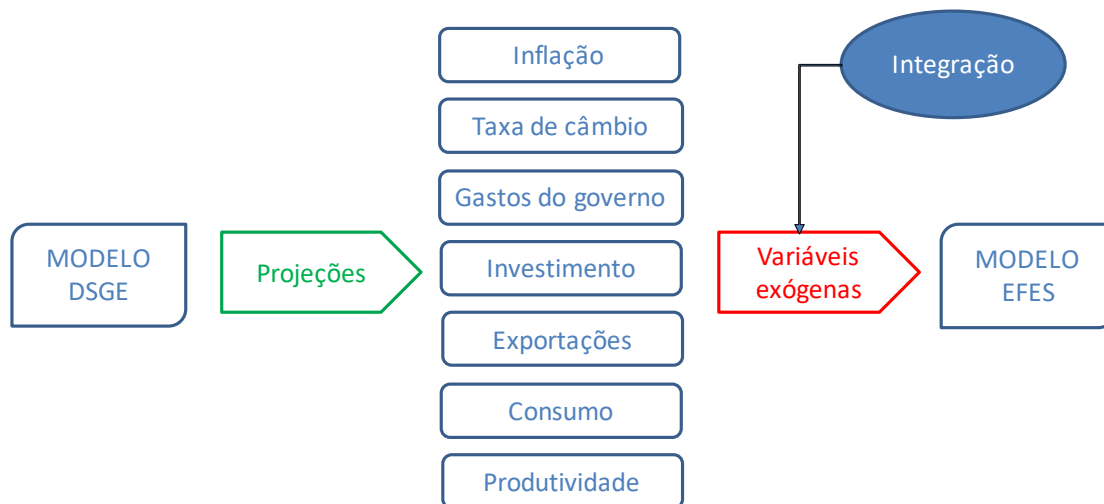


Figura 10 – Correspondências de Variáveis entre os Modelos DSGE e Efes

Em suma, o modelo DSGE gera projeções de variáveis econômicas, como inflação, taxa de câmbio, gastos do governo, entre outras, que são variáveis exógenas ao modelo Efes, cuja atribuição é gerar os cenários econômicos.

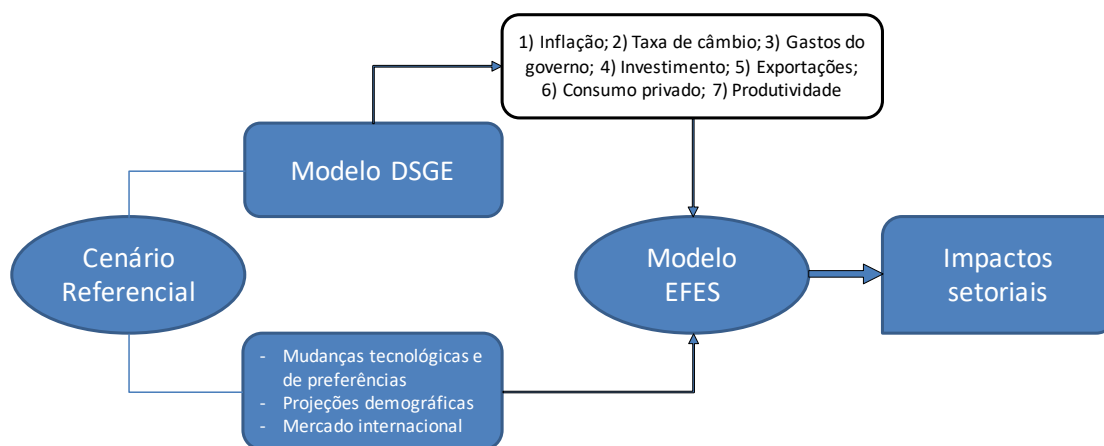


Figura 11 – Interação entre os Modelos DSGE e Efes

Projeções de valor adicionado, PIB, produção e níveis de emprego e renda, geradas pelo modelo Efes, são fundamentais para elaborar trajetórias de emissões de GEE, conforme será discutido a seguir. Essas projeções constituem uma linha de base de evolução dos agregados econômicos até 2050, a partir da qual são alimentados modelos setoriais e, posteriormente, avaliados impactos da implementação de cenários de baixo carbono. Ou seja, o modelo Efes mede, a partir de um cenário REF, o esforço econômico, no caso deste estudo, em termos de PIB, emprego e renda, decorrente da adoção setorial de atividades de baixo carbono.

Para mensurar o impacto da adoção dos cenários de baixo que serão posteriormente apresentados, foi acoplado um módulo ambiental e de precificação de carbono ao Efes, inspirado nos modelos MMRF-Green (ADAMS et al., 2000; ADAMS e PARMENTER, 2013) e BeGreen (MAGALHÃES, 2013). O modelo com essa especificação tem sido aplicado em estudos para mensurar impactos de trajetórias de baixo carbono na economia brasileira (MCTIC, 2017a). A especificação permite calcular impactos (agregados e setoriais) de valores de carbono internalizados na economia ou, alternativamente, calcular preços do carbono decorrentes da imposição de metas de emissões de GEE. A primeira opção é a relevante para o escopo deste estudo.

Resumidamente, o módulo ambiental inserido no modelo é responsável pela transformação do valor de carbono em alíquotas *ad-valorem*, que alimentam o núcleo do modelo. Assim, o esforço da internalização de um custo carbono se transforma em um imposto monetário que impacta as variáveis associadas a produtos e setores específicos do modelo. A resposta dos setores a esses valores implica na modificação endógena do uso de insumos e da produção setorial.

Conforme será discutido a seguir, esse custo foi informado em patamares pelos modelos MSB8000 e Otimizagro em termos de coeficientes que expressam intensidades de energia e de carbono. A Tabela 1 resume os níveis de valores de carbono analisados em cada cenário de mitigação de emissões, assim como as modificações inseridas nos coeficientes das equações do modelo Efes.

**Tabela 1 – Modificações das Equações no Modelo Efes por Níveis de Valor de Carbono**

| Parâmetros                                                 | Cenários        |                 |                  |                  |                  |                   |
|------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
|                                                            | REF             | BC0             | BC10             | BC25             | BC50             | BC100             |
| Valor de carbono (US\$)                                    | -               | 0               | 10               | 25               | 50               | 100               |
| Modificações de coeficiente setorial (i) de uso de energia | $A_{i,t}^{REF}$ | $A_{i,t}^{BC0}$ | $A_{i,t}^{BC10}$ | $A_{i,t}^{BC25}$ | $A_{i,t}^{BC50}$ | $A_{i,t}^{BC100}$ |
| Modificações de coeficientes setoriais (i) de emissões     | $B_{i,t}^{REF}$ | $B_{i,t}^{BC0}$ | $B_{i,t}^{BC10}$ | $B_{i,t}^{BC25}$ | $B_{i,t}^{BC50}$ | $B_{i,t}^{BC100}$ |

Nota: REF refere-se ao cenário de referência; BCx são os cenários de baixo carbono, em que “x” é o valor implícito de carbono para viabilização das atividades de baixo carbono; “t” refere-se ao intervalo de tempo do cenário, quais sejam 2016-2020; 2021-2025; 2026-2030; 2031-2035; 2036-2040; 2041-2045; 2046-2050; “i” é coeficiente setorial de energia e emissões dos setores (1 a 56).

Ao final desse processo de simulação, o resultado dos setores incorpora tanto os valores de carbono quanto as modificações de coeficientes de uso de energia e de emissões. Logicamente, o resultado de um setor depende da forma como foi afetado, direta e indiretamente, pelos choques de eficiência e de carbono. Setores com elevado coeficiente de emissões são negativamente afetados pela valoração de carbono. Setores de energia que produzem bens que se tornam menos necessários (redução de uso setorial) têm menor dinâmica de crescimento econômico. Por outro lado, setores que produzem bens energéticos que aumentam sua utilização pelos setores apresentam dinâmica maior.

Além dos efeitos diretos dos choques, o modelo capta as respostas setoriais em termos de alterações em insumos produtivos e fatores primários (capital e trabalho). A mudança no coeficiente de energia representa mudança no uso de insumos energéticos por unidade de produto, o que resulta em alterações na demanda por fatores primários, como capital e trabalho, e insumos. O efeito líquido dessas modificações depende da estrutura de custos dos setores e da magnitude dos choques, tanto de coeficientes de energia quanto de valores de carbono, e vão determinar a intensidade e a direção dos resultados setoriais, gerando “ganhadores” ou “perdedores” em termos de taxas de crescimento do PIB.

Assim, pode-se resumir o efeito dos choques nos setores em três componentes:

- i)** Efeito valor de carbono – representa aumento no custo de produção setorial e aumento de preços, com queda de demanda e de atividade;
- ii)** Efeito modificação de insumos energéticos – positivo se diminui a necessidade de certo insumo pelo setor; negativo se implica aumento na necessidade de certo insumo energético;
- iii)** Efeito substituição – positivo para setores produtores de insumos energéticos com aumento na intensidade de seu uso na economia; negativo para setores produtores de insumo energético com queda na intensidade de seu uso na economia.

O efeito total sobre o setor dependerá da interação desses efeitos. Setores mais intensivos em carbono tendem a apresentar um efeito negativo de redução de atividade, dados os maiores custos. Por outro lado, para setores que não emitem ou emitem pouco, os resultados podem ser positivos, dado que a redução do nível de atividade em setores diretamente afetados libera fatores produtivos a um menor custo. Esse pode ser o caso, por exemplo, de atividades do setor de serviços.

A internalização de valores de carbono na economia foi tratada neste estudo como um tributo. Assim, serão avaliados impactos econômicos sobre o PIB e indicadores de emprego e renda, decorrentes da adoção setorial de cenários de baixo carbono, segundo três casos: i) sem reciclagem da receita do tributo; ii) com reciclagem da receita para o governo; iii) com reciclagem da receita para famílias.

A situação (i) pode ser interpretada como um tributo de carbono cuja receita é absorvida pelo orçamento do setor público, sem retorno para famílias ou consumo do governo. Seria o caso, por exemplo, da utilização da receita do tributo para elevação do superávit primário. Entretanto, o efeito de elevação do superávit primário sobre a economia (queda de juros e elevação do investimento, por exemplo) não foi considerada neste estudo. Na situação (ii), tem-se a devolução da receita obtida com o tributo para o consumo do governo, e, na situação (iii), a receita é devolvida às famílias por meio de redução do imposto indireto sobre consumo de bens duráveis e não duráveis.

A seguir, serão descritos os procedimentos metodológicos adotados na modelagem integrada de cenários de baixo carbono. Finalmente, serão descritas as premissas gerais dos cenários REF e BC, assim como as premissas específicas adotadas para o setor de Afolu e sistema energético.

## 1.4 PROCEDIMENTOS DE INTEGRAÇÃO DA MODELAGEM E PREMISSAS ADOTADAS

A modelagem integrada de cenários de mitigação de emissões de GEE partiu de condições de contorno provenientes de um modelo de consistência macroeconômica (modelo de equilíbrio geral dinâmico – DSGE) que gerou informações para a elaboração dos cenários econômicos junto a um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) intitulado Modelo Efes (KANCZUK, 2001; HADDAD; DOMINGUES, 2016). No Efes, foram projetadas as variáveis-chave usadas para a construção de cenários setoriais de oferta e demanda de energia, assim como uso e mudanças no uso do solo, entre as quais: PIB, valor bruto da produção, valor adicionado, pessoal ocupado, renda do trabalho e produtividade dos fatores de produção.

Em virtude da correlação entre o nível de atividade econômica e emissões de GEE, foi importante considerar projeções de agregados macroeconômicos que reflitam, sobretudo no curto prazo, as condições presentes de conjuntura da economia brasileira e mundial. Por essa razão, foram elaborados, no período de 2014 a 2016, três cenários econômicos intitulados Fipe I, Fipe II e Fipe III.



Neste documento, diferentemente da modelagem setorial de opções de baixo carbono (MCTIC, 2017b; 2017c, 2017d; 2017e; 2017f; 2017g; 2017h; 2017i; 2017j; 2017k; 2017l; 2017m; 2017n; 2017o; 2017p; 2017q; 2017r; 2017s; 2017t; 2017u; 2017v), que adotou o cenário Fipe II, foi considerado o cenário mais recente (Fipe III), elaborado em maio de 2016.

Conforme demonstrado na Tabela 2 e na Tabela 3, esse cenário apresenta uma evolução do PIB (milhões de reais de 2013), em particular no período de 2016 a 2025, sensivelmente inferior à considerada nos cenários Fipe I e Fipe II. Destaca-se a indústria de transformação, para a qual se projeta variação média negativa do PIB de 0,2% ao ano no período de 2016 a 2020. Podem ser visualizadas no Anexo I, as taxas de crescimento dos 56 setores econômicos no período de 2016 a 2050.

**Tabela 2 – Taxas de Crescimento Médio do PIB Nacional (%)**

| Cenários/<br>Anos | 2016-2020 | 2021-2025 | 2026-2030 | 2031-2035 | 2036-2040 | 2041-2045 | 2046-2050 | 2016-2050 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fipe I            | 3,2       | 3,3       | 3,2       | 3,0       | 2,8       | 2,5       | 2,3       | 2,9       |
| Fipe II           | 2,3       | 2,7       | 2,5       | 2,3       | 2,1       | 1,9       | 1,8       | 2,2       |
| Fipe III          | 0,6       | 2,3       | 2,2       | 2,0       | 1,8       | 1,6       | 1,4       | 1,6       |

**Tabela 3 – Taxas de Crescimento Médio do PIB (%) por Macrossetores e Anos – Cenário Fipe III**

| Setores/Anos                | 2016-2020 | 2021-2025 | 2026-2030 | 2031-2035 | 2036-2040 | 2041-2045 | 2046-2050 | 2016-2050 |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Agropecuária                | 0,5       | 1,8       | 1,7       | 1,6       | 1,3       | 1,0       | 0,8       | 1,2       |
| Indústria extrativa mineral | 2,8       | 3,0       | 2,5       | 2,2       | 1,8       | 1,6       | 1,0       | 2,1       |
| Indústria de transformação  | -0,2      | 1,9       | 1,7       | 1,5       | 1,4       | 1,2       | 1,1       | 1,2       |
| Comércio                    | 0,4       | 1,8       | 1,8       | 1,8       | 1,6       | 1,4       | 1,2       | 1,4       |
| Serviços                    | 0,8       | 2,6       | 2,5       | 2,3       | 2,1       | 1,9       | 1,7       | 2,0       |

Esses dados, em conjunto com variáveis de caracterização e evolução dos setores, como perfil de produção, tecnológico, energético, uso do solo e de emissões de GEE, viabilizaram a modelagem setorial desagregada do tipo *bottom-up*. Foram desenvolvidos e aplicados modelos de otimização e simulação, subdivididos nos seguintes setores: industrial, energético, transportes, edificações (residenciais, comerciais e de serviços), Afolu e gestão de resíduos. Esses modelos setoriais representam o comportamento dos agentes, traduzindo-o em demanda energética e uso e mudanças no uso do solo. Todavia, a análise setorial não permite a detecção de não aditividades de potenciais de mitigação que podem derivar, por exemplo, da competitividade por insumos energéticos e tecnologias, visando à redução de emissões de GEE (LUCENA et al., 2016).

A técnica de integração de modelos permitiu analisar o efeito da não aditividade de potencial de mitigação em todos os setores avaliados, garantindo consistência aos cenários setoriais de abatimento de emissões. Ademais, a utilização dos modelos setoriais permitiu a elaboração de uma base de dados para viabilizar a integração das projeções nos modelos MSB8000, Otimizagro e Efes. Essa integração foi do tipo *soft-link*, o que exigiu a transposição de resultados entre os modelos (SOARES-FILHO et al., 2009; SPENCER et al., 2015; HADDAD; DOMINGUES, 2016). Para o MSB8000, foi feita uma integração desse tipo com os modelos setoriais de demanda, Otimizagro e Efes. Como essa técnica de integração requer um recurso iterativo para convergência, visando manter a consistência entre os modelos, fez-se necessário elaborar planilhas do tipo MS-Excel com esse propósito.

Objetivamente, o MSB8000 é um modelo de otimização da oferta de energia que, para fins do projeto, segue a ótica do menor custo total do sistema energético para atendimento da demanda de energia (LUCENA et al., 2016). O modelo compreende todos os setores consumidores e ofertantes de energia, quais sejam: agricultura, edificações, energético, industrial, gestão de resíduos e transportes. A demanda de energia foi informada pelos modelos setoriais, assim como os parâmetros técnico-econômicos das tecnologias empregadas tendencialmente e das opções que implicam reduções de emissões de GEE.

No que se refere à interação da demanda de energia com o modelo Otimizagro, fez-se necessário verificar, por exemplo, eventuais restrições de uso do solo para expansão da produção de lenha e carvão vegetal provenientes de florestas plantadas, assim como cana-de-açúcar e soja. O Otimizagro foi aplicado para projetar as diferentes atividades agropecuárias com base em critérios de rentabilidade potencial, aptidão física e favorabilidade climática. Ademais, foi aplicado para construir mapas de evolução de uso e mudanças no uso do solo, bem como para projetar as emissões de GEE do setor.

Por fim, para o procedimento iterativo com o modelo Efes, fizeram-se necessárias rodadas para convergir projeções de crescimento da produção de insumos energéticos. Além disso, coube aos modelos MSB8000 e Otimizagro gerar coeficientes de intensidades de energia e carbono dos diferentes setores analisados, em cenários sem e com internalização de preços de carbono na economia, visando à mensuração, pelo modelo Efes, dos desvios em termos de PIB, nível de emprego e renda. Da mesma forma, a demanda de energia final do setor agropecuário no MSB8000 convergiu com os resultados de uso do solo do Otimizagro.

A Figura 12 ilustra resumidamente as etapas de modelagem mencionadas.

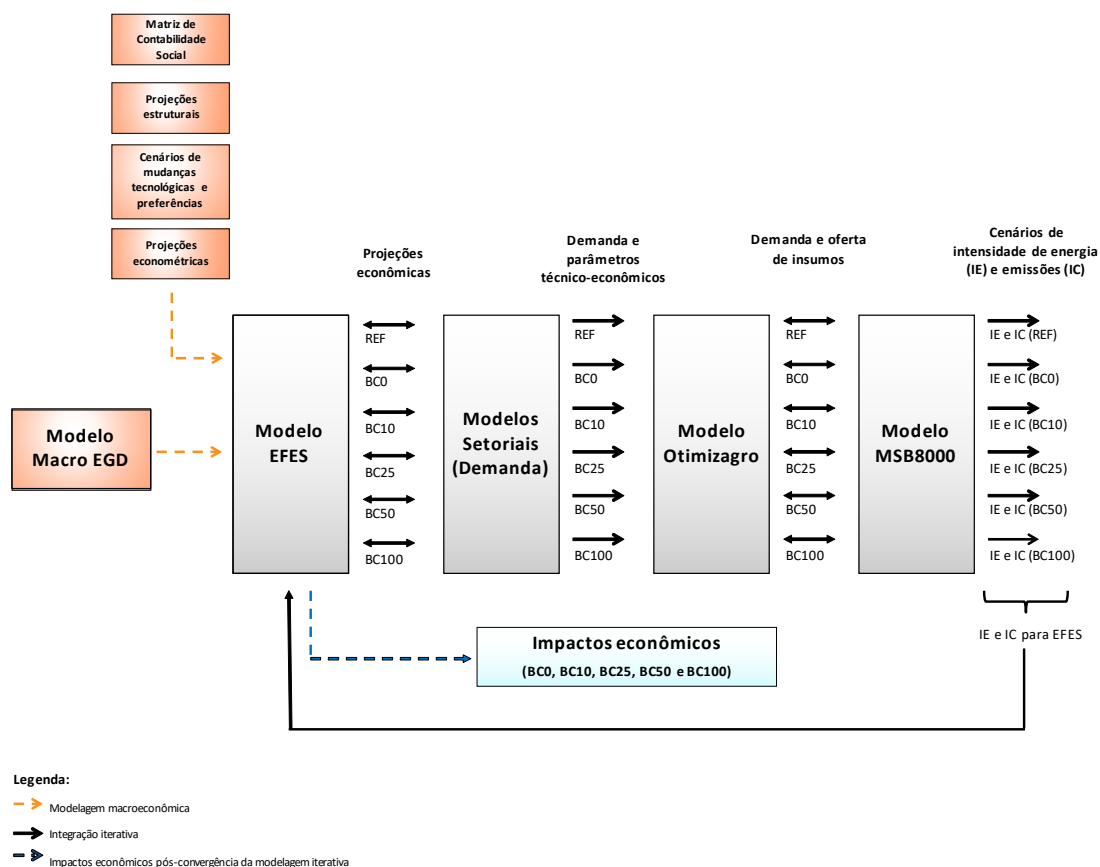


Figura 12 – Fluxograma das Etapas de Modelagem Aplicadas no Projeto



Com horizonte de projeção de 2011 a 2050 e tendo 2010 como ano-base, foram desenvolvidos cenários de emissões de GEE: i) cenário de referência (REF); ii) cenários de baixo carbono (BC).

O cenário REF abrange as metas constantes de políticas públicas governamentais, assim como planos oficiais de expansão setorial. Foram consideradas previsões relativas à expansão do sistema energético contidas no Plano Decenal de Energia 2024 (PDE 2024), bem como o alcance das metas contidas nos planos setoriais da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e no Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC) (MMA, 2008; MAPA, 2012; EPE, 2015). Também foram considerados: Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), entre outros (MMA; 2006; 2010; MT, 2012; MCIDADES, 2013; MP, 2017).

Os cenários BC abrangem a aplicação de melhores tecnologias disponíveis (MTD) que produzam efeitos de mitigação de emissões e consideram diferentes níveis de valores de carbono na função objetivo dos modelos de otimização, quais sejam: 0, 10, 25, 50 e 100 dólares por tonelada de dióxido de carbono equivalente (US\$/tCO<sub>2</sub>e). Nesse caso, o cenário de baixo carbono com valor de carbono nulo (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, como assimetria de informação, diferença de custo de oportunidade do capital, custos de transação, acesso a crédito, *lock-in* tecnológico, poder de mercado de agentes, entre outras. Por sua vez, os outros cenários BCx (em que “x” é o valor do carbono na função objetivo da otimização) abrangem as medidas de valor de carbono nulo e oportunidades adicionais de mitigação que demandam um valor implícito de carbono para sua viabilização. Cenários que exigiriam maiores patamares de valor de carbono foram desprezados, em função da acentuada incerteza relativa à disponibilidade das tecnologias. Logo, não se enquadrariam no conceito de MTD.

Ainda no que se refere a premissas gerais, foram utilizados dados da Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (TCN) para calibragem do ano-base, assim como para equalização dos fatores de emissão e transições de uso do solo (MCTIC, 2016). Foram consideradas as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O relativas a combustão, tratamento e disposição de resíduos, processos energéticos e industriais, emissões fugitivas e emissões decorrentes do uso e mudanças no uso do solo. Foi utilizada a métrica *Global Warming Potential* 100 Anos (GWP-100), contida no 5º relatório de avaliação (AR5) do IPCC, para contabilizar as emissões por unidade de dióxido de carbono equivalente (IPCC, 2014a; 2014b). Finalmente, foram utilizadas projeções de crescimento populacional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013) e, para o setor de Afolu e sistema energético, foram consideradas taxas de desconto reais de 8% e 10% ao ano, respectivamente.

As diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para inventários nacionais preveem a contabilização das emissões e remoções antrópicas de GEE. Assim, a partir da criação e manutenção de unidades de proteção de vegetação nativa, essas áreas passam a ser consideradas “florestas manejadas”, e o sequestro de carbono que ocorre nessas áreas é considerado remoção antrópica. A TCN considera, em sua metodologia, a remoção de carbono em unidades de conservação (UC) e terras indígenas (TI) para a contabilização das emissões líquidas. Para o cálculo das remoções, a TCN utilizou valores distintos para cada bioma, obtidos por meio de revisão bibliográfica (MCTIC, 2016).

Optou-se por desconsiderar nesse estudo as remoções em UC e TI. Adotou-se essa premissa em face da inexistência de consenso científico quanto à capacidade da Amazônia de manter seu papel de sumidouro de carbono em um contexto de mudanças climáticas (GATTI et al., 2014). Os inventários contidos nas comunicações nacionais se referem à remoção que ocorreu no passado em condições climáticas conhecidas. Porém, com o advento das mudanças climáticas até 2050 e a maior incidência de secas, existe a possibilidade de que as florestas passem a ser emissoras líquidas de GEE (DAVIDSON et al., 2012). Além disso, mesmo sem um efeito substancial causado pelas mudanças climáticas, existe a possibilidade de que a floresta atinja o clímax e se torne carbono-neutra, como já verificado em algumas florestas temperadas (CANADELL, 2007).

Conforme mencionado, serão realizadas duas rodadas de modelagem: i) rodada base; ii) rodada de sensibilidade. No Quadro 1 e no Quadro 2, estão demonstradas as premissas consideradas na construção dos cenários REF e BC do sistema energético, e do setor de Afolu, por subsetor, relativos à rodada base.

**Quadro 1 – Premissas dos Cenários REF e BC do Sistema Energético na Rodada Base**

| Setor              | Principais premissas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | Cenário REF                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Cenário BC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Sistema energético | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expansão do sistema energético a mínimo custo;</li> <li>• Inserção das tecnologias disponíveis na linha de base;</li> <li>• Desconsideração da adoção de políticas adicionais de mitigação;</li> <li>• Preço médio de óleo tipo Brent de 70 US\$/barril entre 2010 e 2050;</li> <li>• Predomínio da ótica setorial sobre a modelagem;</li> <li>• Trajetória de curto prazo aderente com a expansão em curso e prevista do sistema energético.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expansão do sistema energético, considerando diferentes patamares de valor de carbono;</li> <li>• Inserção das melhores tecnologias e práticas produtivas disponíveis;</li> <li>• Internalização de diferentes patamares de valor de carbono na economia;</li> <li>• Preço médio de óleo tipo Brent de 70 US\$/barril entre 2010 e 2050;</li> <li>• Liberdade de seleção da evolução do perfil tecnológico e da otimização do sistema energético, segundo uma lógica de mitigação das emissões de GEE;</li> <li>• Percentual de adição do biodiesel ao diesel como resultado da otimização do sistema energético;</li> <li>• Participação de energia solar na geração elétrica como resultado da otimização do sistema energético;</li> <li>• Decisão da inserção de bioquerosene no querosene de aviação e biodiesel no <i>bunker</i> marítimo, como resultado da otimização do sistema energético;</li> <li>• Entrada de veículos elétricos, veículos híbridos e híbridos <i>plug-in</i> a partir da custo-efetividade da tecnologia;</li> <li>• Inexistência de restrições na modelagem à origem da lenha para fins energéticos;</li> <li>• Disponibilidade comercial da captura e armazenamento de carbono a partir de 2035;</li> <li>• Crescimento médio da demanda de passageiro quilômetro transportado nos modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e aéreo de 2,6% ao ano no período de 2013 a 2050.</li> </ul> |

Quadro 2 – Premissas dos Cenários REF e BC do Setor de Afolu, por Subsetores, na Rodada Base

| Subsetor            | Principais premissas                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     | Cenário REF                                                                                                                                                                                                                          | Cenário BC                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Agricultura         | 80% das áreas de produção de soja, milho, algodão, arroz, feijão e trigo com sistemas conservacionistas.                                                                                                                             | Aumento para 90% dessas áreas com sistemas conservacionistas, o que resulta em 41 milhões hectares em 2050.                                                                                                                                                                             |
|                     | Meta do Plano ABC para área ocupada com sistemas integrados até 2020 e manutenção da proporção de adoção entre 2021 e 2050.                                                                                                          | Meta do Plano ABC até 2020 e aumento de 50% na meta da área ocupada entre 2021 e 2050.                                                                                                                                                                                                  |
|                     | Aplicação da fertilização biológica de nitrogênio (FBN) em 100% das áreas plantadas de soja e 10% nas áreas de cultivo de arroz, feijão, milho e trigo.                                                                              | Ampliação da FBN para 30% nas áreas de arroz, feijão, milho e trigo e inclusão do cultivo de cana-de-açúcar, o que resulta em 47 milhões de hectares em 2050.                                                                                                                           |
| Pecuária            | Projeção do rebanho de corte, visando ao atendimento da expectativa de demanda por carne das projeções do agronegócio: 2013/2014 a 2023/2024, com redução no crescimento de 2031 a 2050.                                             | Manutenção da produção de carne, porém com aumento de produtividade (intensificação) da pecuária bovina de corte. Para tanto, consideram-se incrementos de 16% e 27% no confinamento e de 35% e 37% na reforma de pastagens em 2025 e 2030, respectivamente, em relação ao cenário REF. |
| Florestas plantadas | Demanda setorial por lenha proveniente de florestas nativas de 53% no período de 2011 a 2050.                                                                                                                                        | Diminuição da proporção de lenha proveniente de floresta nativa para 10% em 2050.                                                                                                                                                                                                       |
| Florestas nativas   | Metas de redução no desmatamento de 80% e 40% nos biomas Amazônia e Cerrado, respectivamente, aplicadas à meta de desmatamento verificado no período de 2002 a 2010, e proibição da supressão da vegetação nativa na Mata Atlântica. | Idem ao anterior, com somente desmatamento legal na Amazônia e aplicação de meta de redução de 40% no desmatamento dos biomas Caatinga e Pantanal e de 58% no bioma Pampas.                                                                                                             |
|                     | Recuperação do passivo ambiental de 12,5 milhões de hectares em 20 anos e recuperação adicional de 4,5 milhões de hectares entre 2035 e 2050.                                                                                        | Ampliação da recomposição de vegetação nativa para 21 milhões de hectares até 2050.                                                                                                                                                                                                     |

A rodada de sensibilidade utilizou algumas premissas para testar o comportamento do sistema energético brasileiro e setor de Afolu em situações que não ocorreram na rodada base. Os pressupostos adotados se relacionam aos setores de energia, transportes, indústria e à opção de captura e armazenamento de carbono (CAC) e reflexos destes sobre o setor de Afolu.

No setor energético, foi implementado o aumento do *blend* do biodiesel no diesel para o valor de 20% a partir de 2030. Além disso, foram estabelecidos os percentuais mínimos de 10% de bioquerosene no querosene de aviação (QAV) e 10% de biodiesel no *bunker* marítimo. Ainda, para o setor de eletricidade, foi considerada a participação mínima de 10% de energia solar no *grid* nacional. Todas essas premissas entrariam em vigor a partir de 2030.

No setor de transportes, foi considerada uma premissa geral de redução da demanda de passageiro quilômetro transportado (pkm). Em 2050, haveria redução de 7% do pkm em relação ao cenário REF. No que se refere à venda de automóveis, seguindo uma tendência global do setor automobilístico em direção à eletrificação dos transportes, foi considerado que, a partir de 2030, só haverá a venda de veículos elétricos, tanto veículos puramente a bateria (BEV) quanto veículos híbridos e híbridos *plug-in*.

No setor industrial, foi considerada uma evolução gradual do consumo de biomassa lenhosa

exclusivamente oriunda de florestas plantadas, que atingiria 100% em 2050.

Além disso, foi feita uma sensibilidade acerca da implementação da CAC, por causa de barreiras enfrentadas por essa tecnologia, como restrições de aceitação pública e barreiras regulatórias. Sendo assim, na análise de sensibilidade foram analisados dois cenários, considerando todas as premissas citadas. No primeiro, considerou-se a não implementação do CAC e, no segundo, foi considerada a implementação do CAC a partir de 2035.

No caso do setor de Afolu, a análise de sensibilidade é reflexo das premissas consideradas no sistema energético. As principais mudanças incorporadas são: i) aumento da demanda de soja, em média, de 10%, decorrente do mandato de biodiesel; ii) substituição mais rápida da biomassa nativa pela lenha de florestas plantadas, que resulta em aumento da área de florestas em 1 milhão de hectares em 2050; iii) diminuição 3,5% no diferencial da área agrícola, entre os cenários REF e BC em 2050, decorrente da queda na demanda por etanol dado pela maior eletrificação veicular.

O Quadro 3 e o Quadro 4 sintetizam as demais premissas adotadas nos cenários REF e BC do sistema energético e setor de Afolu, relativos à rodada de sensibilidade.

**Quadro 3 – Premissas dos Cenários REF e BC do Sistema Energético na Rodada de Sensibilidade**

| Setor              | Principais premissas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | Cenário REF                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Cenário BC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Sistema energético | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expansão do sistema energético a mínimo custo;</li> <li>• Inserção das tecnologias disponíveis na linha de base;</li> <li>• Desconsideração da adoção de políticas adicionais de mitigação;</li> <li>• Preço médio de óleo tipo Brent de 70 US\$/barril entre 2010 e 2050;</li> <li>• Predomínio da ótica setorial sobre a modelagem;</li> <li>• Trajetória de curto prazo aderente com a expansão em curso e prevista do sistema energético.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expansão do sistema energético, considerando diferentes patamares de valor de carbono;</li> <li>• Inserção das melhores tecnologias e práticas produtivas disponíveis;</li> <li>• Internalização de diferentes patamares de valor de carbono na economia;</li> <li>• Preço médio de óleo tipo Brent de 70 US\$/barril entre 2010 e 2050;</li> <li>• Liberdade limitada de seleção da evolução do perfil tecnológico e da otimização do sistema energético, segundo uma lógica de mitigação das emissões de GEE;</li> <li>• Mistura mínima de 10% de bioquerosene no QAV e 10% de biodiesel no <i>bunker</i> marítimo a partir de 2030;</li> <li>• Mistura mínima 20% do biodiesel ao diesel a partir de 2030;</li> <li>• Participação mínima de 10% de energia solar na geração elétrica a partir de 2030;</li> <li>• Redução média de 7% na demanda de passageiro quilômetro transportado nos modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e aéreo, em 2050;</li> <li>• Venda exclusiva de veículos novos, em 2030, dos tipos elétrico, híbridos e híbridos <i>plug-in</i>;</li> <li>• Evolução gradual do consumo de biomassa lenhosa proveniente de florestas plantas pelo setor industrial, até atingir 100% em 2050;</li> <li>• Não implementação da CAC até 2050;</li> <li>• Aplicação da CAC a partir de 2035.</li> </ul> |

Quadro 4 – Premissas dos Cenários REF e BC do Setor de Afolu, por Subsetores, na Rodada de Sensibilidade

| Subsetor            | Principais premissas                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     | Cenário REF                                                                                                                                                                                                                          | Cenário BC                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Agricultura         | 80% das áreas de produção de soja, milho, algodão, arroz, feijão e trigo com sistemas conservacionistas.                                                                                                                             | Aumento para 90% dessas áreas com sistemas conservacionistas. Como altera a produção de soja e cana com relação à rodada base, tem-se 4,2 milhões a mais neste sistema.                                                                                                                 |
|                     | Meta do Plano ABC para área ocupada com sistemas integrados até 2020 e manutenção da proporção de adoção entre 2021 e 2050.                                                                                                          | Meta do Plano ABC até 2020 e aumento de 50% na meta da área ocupada entre 2021 e 2050.                                                                                                                                                                                                  |
|                     | Aplicação da fertilização biológica de nitrogênio (FBN) em 100% das áreas plantadas de soja e 10% nas áreas de cultivo de arroz, feijão, milho e trigo.                                                                              | Ampliação da FBN para 30% nas áreas de arroz, feijão, milho e trigo e inclusão do cultivo de cana-de-açúcar. Em face das alterações na produção e cana e soja, a alocação de área de FBN é 4,8 milhões maior, em 2050, com relação à rodada base.                                       |
| Pecuária            | Projeção do rebanho de corte, visando ao atendimento da expectativa de demanda por carne das projeções do agronegócio: 2013/2014 a 2023/2024, com redução no crescimento de 2031 a 2050.                                             | Manutenção da produção de carne, porém com aumento de produtividade (intensificação) da pecuária bovina de corte. Para tanto, consideram-se incrementos de 16% e 27% no confinamento e de 35% e 37% na reforma de pastagens em 2025 e 2030, respectivamente, em relação ao cenário REF. |
| Florestas plantadas | Demanda setorial por lenha proveniente de florestas nativas de 53% no período de 2011 a 2050.                                                                                                                                        | Extinção do uso energético de lenha proveniente de floresta nativa em 2050.                                                                                                                                                                                                             |
| Florestas nativas   | Metas de redução no desmatamento de 80% e 40% nos biomas Amazônia e Cerrado, respectivamente, aplicadas à meta de desmatamento verificado no período de 2002 a 2010, e proibição da supressão da vegetação nativa na Mata Atlântica. | Idem ao anterior, com somente desmatamento legal na Amazônia e aplicação de meta de redução de 40% no desmatamento dos biomas Caatinga e Pantanal e de 58% no bioma Pampas.                                                                                                             |
|                     | Recuperação do passivo ambiental de 12,5 milhões de hectares em 20 anos e recuperação adicional de 4,5 milhões de hectares entre 2035 e 2050.                                                                                        | Ampliação da recomposição de vegetação nativa para 21 milhões de hectares até 2050.                                                                                                                                                                                                     |





# Potenciais das ações de mitigação de emissões de GEE

Capítulo

**2**

## 2 POTENCIAIS DAS AÇÕES DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE

Os cenários REF e BC de emissões de GEE serão apresentados separadamente para a rodada base e rodada de sensibilidade. Serão discriminados por setores e subsetores e abrangerão o período de projeção, por quinquênio, de 2020 a 2050.

Ademais, serão apresentadas as opções, em termos de potencial de mitigação ( $\text{MtCO}_2\text{e}$ ), para os diferentes cenários de baixo carbono. A análise focará nos cenários BC0, BC25 e BC100, visto que:

- O cenário BC0 abrange medidas que demandam menor esforço para implementação, pois são viáveis economicamente, mas não são implementadas devido a outras barreiras;
- O cenário BC25 apresenta atividades de baixo carbono em vias de apresentarem atratividade econômica, demandando precificação de carbono compatível com valores verificados na segunda fase do comércio de permissões de emissões da União Europeia – EU-ETS (THE CLIMATE GROUP, 2013);
- Ao nível de 100  $\text{US\$/tCO}_2\text{e}$  (BC100) estão abrangidas medidas que demandam tributação alta de carbono e que resultam no maior potencial de mitigação para MTD no período 2020-2050.
- Cumpre enfatizar que as emissões de GEE do sistema energético, em grande medida, derivam do consumo de combustíveis fósseis. Por esse motivo, as projeções de emissões de setor serão antecedidas pelos cenários de consumo de energia primária e geração de eletricidade.

### 2.1 RODADA BASE

As emissões totais do sistema energético e do setor de Afolu, no cenário REF, crescem aproximadamente 37% no período 2020-2050. Particularmente, o crescimento das emissões é oriundo do setor elétrico, que passa a expandir, sobretudo, com base em usinas termelétricas a carvão em função do deplecionamento do potencial hidrelétrico, segundo uma lógica de atendimento à demanda de energia por mínimo custo.

O cenário BC0, a partir de 2035, permitiria mitigar as emissões significativamente com relação ao cenário REF. O potencial máximo de abatimento seria alcançado em 2050, qual seja de 18%. A implementação de um tributo de carbono de 25  $\text{US\$/tCO}_2$  levaria a uma redução de emissões relevante a partir de 2025, qual seja de 20% com relação ao cenário REF. Interessantemente, a implementação do cenário é compatível com a meta da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil ao Acordo de Paris naquele ano.

A NDC brasileira tem como meta redução de emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005 (tendo como referência as emissões reportadas na Segunda Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC), em 2025, com possível esforço para chegar à redução de 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030, o que equivale a um teto de emissões de 1.300 e 1.200  $\text{MtCO}_2\text{e}$  em 2025 e 2030, respectivamente (MRE, 2015).



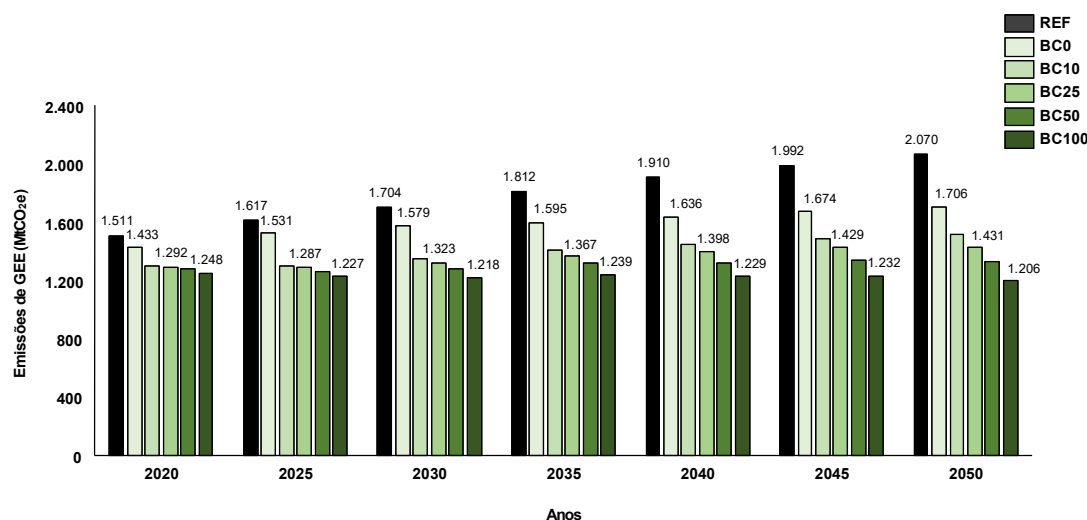


Figura 13 – Cenários de Emissões Totais para o Setor de Afolu e Sistema Energético – Rodada Base

O compromisso de redução de emissões de 2030, conforme a Figura 13, seria alcançado apenas com a introdução de instrumento de precificação superior a 50 US\$/tCO<sub>2</sub>. Todavia, a NDC adotou remoções de carbono que foram desconsideradas neste estudo, em UC e TI. No período de 2002 a 2010, essas remoções totalizaram 2,14 milhões de GgCO<sub>2</sub>e, o que corresponde a 268 MtCO<sub>2</sub>e sequestrados anualmente, dos quais 230 MtCO<sub>2</sub>e foram sequestrados na Amazônia, visto que 86% da área da UC e TI consideradas nesse período pertencem a esse bioma.

Conclui-se que, ao considerar remoções, as metas poderiam ser cumpridas com menor esforço econômico, conforme a Figura 14. No caso, a meta de 2025 seria cumprida no cenário BC0 e a meta de 2030, no cenário BC10. A publicação *Trajetórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para alcance das metas brasileiras no Acordo de Paris* aponta o papel que cada setor econômico pode desempenhar, segundo uma ótica de custo-efetividade, para o cumprimento das metas de emissões de GEE para 2025 e 2030 (MCTIC, 2017a).

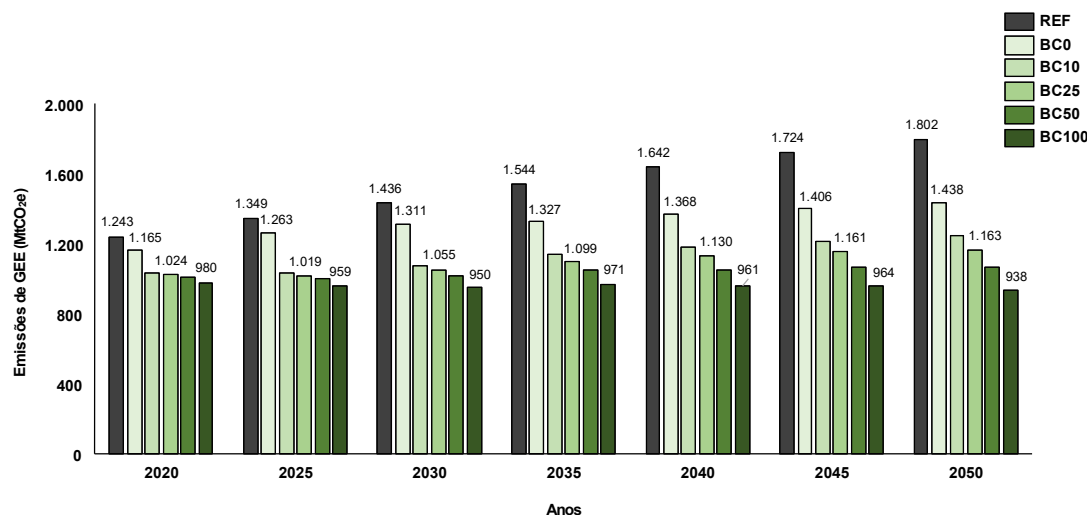


Figura 14 – Cenários de Emissões Totais para o Setor de Afolu e Sistema Energético com Remoções em UC e TI – Rodada Base

Conforme discutido na seção 1.4, optou-se por desconsiderar as remoções por UC e TI neste estudo. Diante disso, a seguir, serão discriminados os resultados para o sistema energético e o setor de Afolu exclusivamente para as projeções contidas na Figura 13.

### 2.1.1 SISTEMA ENERGÉTICO

As projeções de emissões do sistema energético são resultantes do balanço de oferta e demanda de energia, modelados por meio do MSB8000. Para tanto, em primeiro lugar, foram obtidas projeções de consumo de energia primária para os diferentes cenários (Figura 15). Mantém-se, no cenário REF, o papel preponderante do óleo bruto como a principal fonte primária de energia consumida na matriz energética brasileira, com destaque para expansões do parque de refino que ocorrem entre 2020 e 2030. Não se notam alterações sensíveis, no cenário REF, na participação das fontes primárias de energia na matriz de consumo, salvo para o caso do carvão, cuja participação aumenta a partir de 2040 em detrimento da participação da hidroeletricidade e do gás natural. Essa tendência deriva do deplecionamento, a partir de 2030, do potencial hidrelétrico remanescente. Por fim, também ganham destaque a biomassa e a cana para fins energéticos.

Os resultados do cenário REF do sistema energético indicam que, na ausência das medidas de abatimento definidas setorialmente, o Brasil seguiria conservadoramente por uma matriz energética em que o papel das fontes fósseis oscilaria entre 50% e 60%, com um valor máximo em 2040, quando a oferta de óleo e gás também estaria no seu platô de produção (MCTIC, 2017p). Ademais, pode ser destacado o aumento na demanda por carvão que, conforme será descrito a seguir, decorre de geração termelétrica.

Nos cenários de baixo carbono, observa-se menor consumo de petróleo em refinarias e, portanto, menor expansão do parque refinador em prol de um maior processamento de cana-de-açúcar em destilarias para produção de etanol. Também se reduz o consumo de carvão devido a uma menor expansão da geração elétrica à base de termelétricas a carvão, a partir de 2030, sobretudo nos cenários BC25, BC50 e BC100.

Destaque-se que a adoção de tributo de carbono de 25 US\$/tCO<sub>2</sub> tornaria a matriz predominantemente renovável a partir 2030. Biomassa e cana-de-açúcar passariam a ter participação maior que óleo no consumo de energia primária em 2030 e que óleo e gás natural em 2050.

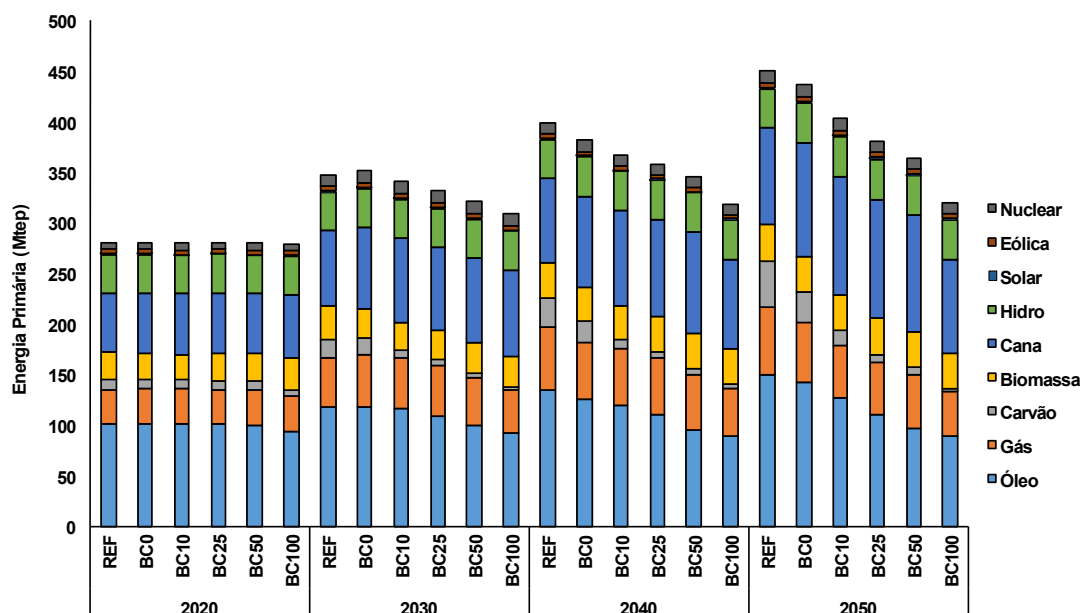


Figura 15 – Cenários de Consumo de Energia Primária pelo Sistema Energético – 2020 a 2050

Em virtude da representatividade do setor elétrico para o crescimento das emissões de GEE no cenário REF, os resultados referentes à geração de energia elétrica, por fonte de energia, estão apresentados na Figura 16. Destaca-se o aumento da participação da geração termelétrica à base de bagaço de cana e de combustíveis fósseis, em particular carvão. A expansão de sistemas fotovoltaicos distribuídos ocorre, mas ainda de forma modesta em termos absolutos, indicando que existem barreiras de mercado a essa opção energética. A geração eólica também cresce, todavia, assim como a energia solar, sua representatividade se mantém pequena com relação a outras fontes. Em 2050, a participação da hidroeletricidade no mix de geração elétrica atinge cerca de 53%, enquanto termelétricas a gás e a carvão passam a representar cerca de 19% do total da geração.

A internalização de um custo de carbono de até 25 US\$/tCO<sub>2</sub> na economia não seria capaz de alterar significativamente essa tendência, à exceção da substituição da geração termoeletrica a carvão por bagaço de cana. Interessantemente, patamares superiores de valor de carbono viabilizariam a entrada, embora modesta, a partir de 2040, de geração térmica a carvão importado com CAC.

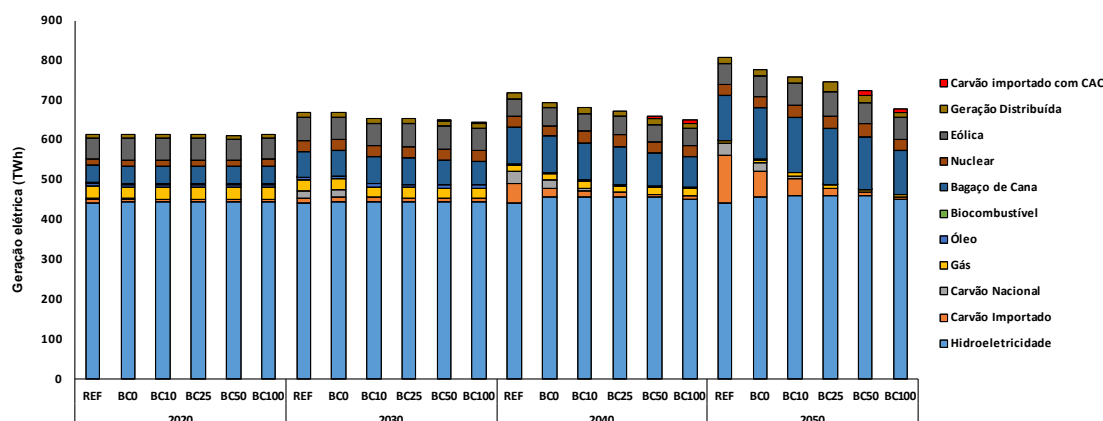


Figura 16 – Cenários de Geração de Energia Elétrica – 2020 a 2050

Devido à matriz de consumo de energia primária nos centros de transformação de energia (setor energético) e nos setores de consumo de energia final (transportes, edificações, gestão de resíduos, indústria e agricultura), as emissões de GEE, no cenário REF, crescem cerca de 69% entre 2020 e 2050 (Figura 17). O crescimento das emissões é induzido pelo setor elétrico, que passa a expandir com base em usinas termelétricas, em função do deplecionamento do potencial hidrelétrico, segundo uma lógica de atendimento à demanda de energia por mínimo custo. Por sua vez, o cenário BCO apresenta abatimento de emissões de 8% e 21% em 2025 e 2050, respectivamente. A adoção dos cenários BC25 e BC100 implicariam redução de emissões significativamente maiores. Por exemplo, a internalização de um valor de carbono entre 25 e 100 US\$/tCO<sub>2</sub> em 2030, potencialmente, implicaria redução de emissões entre 27% e 39% com relação ao cenário REF.

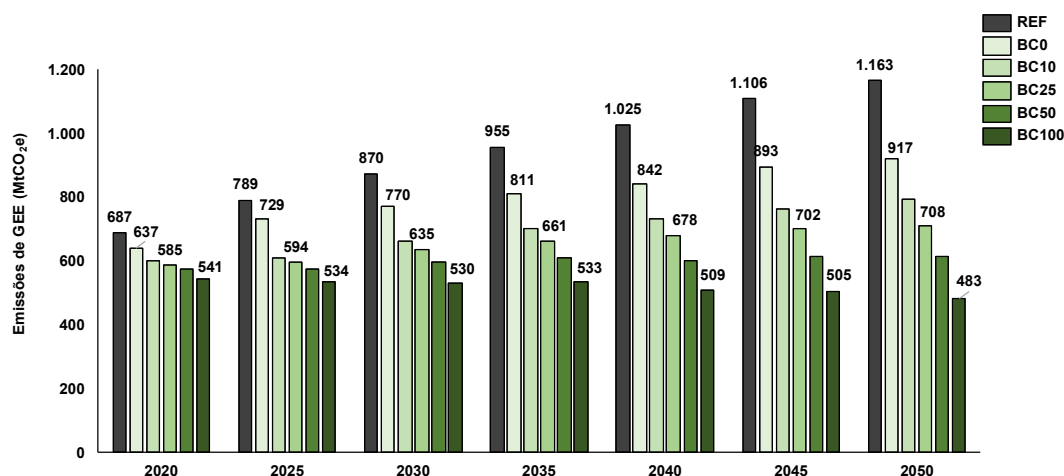


Figura 17 – Cenários de Emissões de GEE do Sistema Energético – Rodada Base

Discriminando os resultados por setor, inicialmente com relação ao cenário REF, é possível verificar que os setores transportes, industrial e energético responderiam por 54% das emissões totais do sistema energético, exclusivamente relacionadas ao consumo de combustíveis fósseis, em 2050.

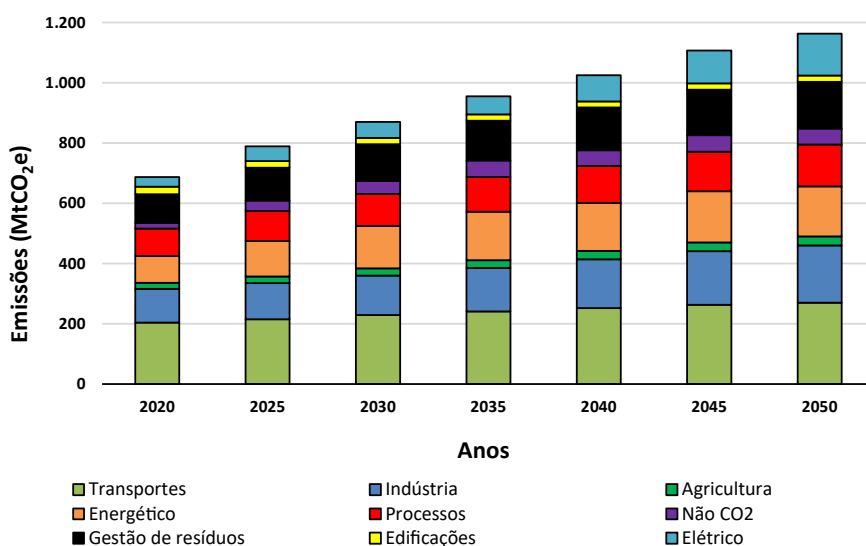


Figura 18 – Emissões Setoriais de GEE do Sistema Energético no Cenário REF

Nota: Não CO<sub>2</sub> refere-se a emissões de CH<sub>4</sub> relativas à operação em plataformas de petróleo, assim como transporte e distribuição de gás natural e carvão.

A seguir, serão discriminados e analisados os cenários BC0, BC25 e BC100 com o objetivo de apontar as MTD mais relevantes por setor em termos de potencial de abatimento de emissões.

Inicialmente, na Tabela 4 e na Tabela 5, estão demonstrados os cenários e potenciais de redução de emissão do sistema energético. No cenário BC0, entre 2020 e 2050, observam-se os maiores valores de redução de emissões nos setores gestão de resíduos e elétrico, sendo que a eficiência energética desempenha papel relevante para a mitigação nesses setores. Deve-se ressaltar que o valor nulo de carbono atribuído a esse cenário indica a viabilidade econômica das medidas de eficiência energética.

Por sua vez, destaca-se, no cenário BC25, o aumento do potencial de mitigação de emissões nos setores elétrico, energético e industrial com relação ao BC0, em particular, devido à adoção de medidas de eficiência energética, maior repotenciação de usinas hidrelétricas e inserção de biomassa nas termelétricas a carvão (cocombustão). Essas medidas têm o benefício de reduzir a atividade de extração de carvão, consequentemente, mitigando emissões na mineração.

No cenário BC100, aumenta consideravelmente o potencial de mitigação nos setores industrial, transportes e energético. Em grande medida, pode ser explicado pela viabilização, mediante tributação de carbono de 100 US\$/tCO<sub>2</sub>, das seguintes atividades de baixo carbono: aumento no uso de gás natural e captura de carbono na produção de hidrogênio do processo de amônia (setor químico); adoção de sistemas de fornos com cinco estágios de ciclones e captura de carbono (setor de cimento); aplicação de veículos híbridos no transporte de minérios (setor de mineração); eficiência de motores de caminhões e inserção de veículos elétricos a bateria (setor de transportes); aproveitamento eólico em ventos à altura de 100 metros (setor eólico); substituição da selagem a óleo pela selagem a gás no eixo do compressor centrífugo (setor de E&P de óleo e gás); captura de carbono em termelétricas a carvão nacional e carvão importado (setor elétrico).

O aumento das emissões no setor de edificações, em 2030 e 2040, decorre da substituição do gás natural por gás liquefeito de petróleo (GLP) na cocção. Trata-se de uma escolha da modelagem integrada que considerou mais custo-efetiva a redução de emissões no setor industrial por meio da disponibilização do gás natural para substituir carvão e óleo combustível para a geração de calor e vapor. E, no caso do setor de agricultura, decorre do aumento no consumo de biocombustíveis como estratégia de baixo carbono do setor de transportes, que implica aumento da demanda de fertilizantes e combustíveis fósseis para produção de cana-de-açúcar e soja.

É importante destacar que a implementação dessas medidas enfrenta barreiras que precisam ser removidas. Esse é o caso, por exemplo, da troca de queimadores para a geração de calor industrial, que demanda acesso ao capital para investimento, assim como capacitação técnica para empreender a medida. No caso das medidas dos cenários BC25 e BC100, uma barreira econômica está relacionada à necessidade da internalização de um valor de carbono na economia. No capítulo 4 deste documento, serão analisadas mais detalhadamente essas barreiras e propostos instrumentos de política pública para removê-las.

Tabela 4 – Cenários de Emissões do Sistema Energético, por Subsetores e não CO<sub>2</sub> em 2020, 2030, 2040 e 2050

| Setor/<br>Fonte<br>emissora      | Emissões de GEE (MtCO <sub>2</sub> e) |       |       |       |       |       |       |       |         |       |       |       |         |       |       |       |
|----------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
|                                  | 2020                                  |       |       |       | 2030  |       |       |       | 2040    |       |       |       | 2050    |       |       |       |
|                                  | REF                                   | BC0   | BC25  | BC100 | REF   | BC0   | BC25  | BC100 | REF     | BC0   | BC25  | BC100 | REF     | BC0   | BC25  | BC100 |
| Indústria                        | 111,8                                 | 108,5 | 101,6 | 87,5  | 131,5 | 110,9 | 89,7  | 72,9  | 162,0   | 134,2 | 102,1 | 76,7  | 190,0   | 152,3 | 117,1 | 71,2  |
| Agricultura                      | 20,0                                  | 20,0  | 20,2  | 20,7  | 23,9  | 23,8  | 24,6  | 25,9  | 27,4    | 27,3  | 29,0  | 29,2  | 30,0    | 29,8  | 32,8  | 28,7  |
| Transportes                      | 203,7                                 | 198,6 | 192,3 | 178,0 | 228,6 | 208,6 | 195,7 | 173,1 | 251,9   | 216,2 | 203,8 | 173,6 | 269,3   | 225,5 | 209,4 | 177,6 |
| Edificações                      | 25,3                                  | 25,3  | 24,9  | 24,5  | 21,0  | 21,4  | 21,3  | 21,0  | 20,6    | 19,9  | 20,7  | 20,4  | 21,7    | 21,0  | 21,4  | 20,9  |
| Elétrico                         | 31,6                                  | 25,3  | 24,7  | 24,7  | 53,2  | 52,3  | 25,5  | 24,3  | 87,1    | 55,2  | 21,0  | 18,0  | 138,5   | 83,1  | 21,1  | 9,9   |
| Energético                       | 89,3                                  | 73,2  | 70,6  | 66,4  | 140,6 | 131,0 | 99,7  | 77,1  | 159,0   | 133,9 | 102,2 | 63,8  | 166,1   | 138,1 | 100,0 | 65,6  |
| Processos                        | 90,9                                  | 90,7  | 84,9  | 72,9  | 106,6 | 105,3 | 88,4  | 63,6  | 123,5   | 121,0 | 95,3  | 57,1  | 139,2   | 135,7 | 98,1  | 40,8  |
| Não CO <sub>2</sub> <sup>1</sup> | 19,2                                  | 9,4   | 8,8   | 8,7   | 42,2  | 33,0  | 12,6  | 10,9  | 51,8    | 36,4  | 15,0  | 16,3  | 53,2    | 36,1  | 13,5  | 18,7  |
| Gestão de resíduos               | 94,7                                  | 85,8  | 57,3  | 57,3  | 122,2 | 83,1  | 77,1  | 61,7  | 141,8   | 97,7  | 89,2  | 53,7  | 154,5   | 95,1  | 95,1  | 49,9  |
| Total                            | 686,5                                 | 636,8 | 585,3 | 540,7 | 869,8 | 769,4 | 634,6 | 530,5 | 1.025,1 | 841,8 | 678,3 | 508,8 | 1.162,5 | 916,7 | 708,5 | 483,3 |

<sup>1</sup> Emissões de CH<sub>4</sub> relativas à operação em plataformas de petróleo, assim como transporte e distribuição de gás natural e carvão.

Tabela 5 – Potenciais de Redução de Emissões do Sistema Energético, por Subsetores e não CO<sub>2</sub> em 2020, 2030, 2040 e 2050

| Setor/Fonte<br>emissora          | Mitigação de Emissões de GEE (MtCO <sub>2</sub> e) <sup>2</sup> |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                  | 2020                                                            |        |        | 2030   |        |        | 2040   |        |        | 2050   |        |        |
|                                  | BC0                                                             | BC25   | BC100  | BC0    | BC25   | BC100  | BC0    | BC25   | BC100  | BC0    | BC25   | BC100  |
| Indústria                        | -3,3                                                            | -10,2  | -24,3  | -20,6  | -41,8  | -58,6  | -27,8  | -59,9  | -85,3  | -37,7  | -72,9  | -118,8 |
| Agricultura                      | -                                                               | 0,2*   | 0,7*   | -0,1   | 0,7*   | 2,0*   | -0,1   | 1,6*   | 1,8*   | -0,2   | 2,8*   | -1,3   |
| Transportes                      | -5,1                                                            | -11,4  | -25,7  | -20,0  | -32,9  | -55,5  | -35,7  | -48,1  | -78,3  | -43,8  | -59,9  | -91,7  |
| Edificações                      | -                                                               | -0,4   | -0,8   | 0,4*   | 0,3*   | -      | -0,7   | 0,1*   | -0,2   | -0,7   | -0,3   | -0,8   |
| Elétrico                         | -6,3                                                            | -6,9   | -6,9   | -0,9   | -27,7  | -28,9  | -31,9  | -66,1  | -69,1  | -55,4  | -117,4 | -128,6 |
| Energético                       | -16,1                                                           | -18,7  | -22,9  | -9,6   | -40,9  | -63,5  | -25,1  | -56,8  | -95,2  | -28,0  | -66,1  | -100,5 |
| Processos                        | -0,2                                                            | -6,0   | -18,0  | -1,3   | -18,2  | -43,0  | -2,5   | -28,2  | -66,4  | -3,5   | -41,1  | -98,4  |
| Não CO <sub>2</sub> <sup>1</sup> | -9,8                                                            | -10,4  | -10,5  | -9,2   | -29,6  | -31,3  | -15,4  | -36,8  | -35,5  | -17,1  | -39,7  | -34,5  |
| Gestão de resíduos               | -8,9                                                            | -37,4  | -37,4  | -39,1  | -45,1  | -60,5  | -44,1  | -52,6  | -88,1  | -59,4  | -59,4  | -104,6 |
| Total                            | -49,7                                                           | -101,2 | -145,8 | -100,4 | -235,2 | -339,3 | -183,3 | -346,8 | -516,3 | -245,8 | -454,0 | -679,2 |

<sup>1</sup> Emissões de CH<sub>4</sub> relativas à operação em plataformas de petróleo, assim como transporte e distribuição de gás natural e carvão.

<sup>2</sup> As reduções de emissões para os cenários BC0, BC25 e BC100 foram calculadas subtraindo as emissões dos cenários REF dos respectivos anos (2020, 2030, 2040 e 2050).

\* Nesse cenário, o subsetor apresenta aumento de emissão.

Conforme demonstrado na Tabela 6, quase a totalidade da redução de emissões de GEE que ocorre no cenário BC0 do sistema energético deriva de:

- Ganhos de eficiência na conversão de energia térmica na indústria por medidas de custo fixo praticamente nulo e substituição de combustíveis;
- Redução de queima em *flare* por meio da instalação de piloto de ignição (STATOIL, 2010) e instalação de unidades de recuperação de vapor em plataformas de extração e produção (E&P) de óleo e gás;
- Ganhos de eficiência energética em refinarias de petróleo, especialmente na conversão de energia térmica;
- No setor elétrico, repotenciação de hidrelétricas e recuperação de calor nas usinas térmicas a óleo e gás natural;

- Redução da mineração de carvão em face das medidas de eficiência energética, sobretudo nos setores industrial e refino de petróleo;
- Degradação de biogás de aterro sanitário em *flare* e aproveitamento de biogás de resíduos sólidos urbanos e de estações de tratamento de efluentes para a produção de biometano e eletricidade;
- Mudança do modal individual para o coletivo, visando ao transporte de passageiros, e do transporte de carga de rodovias para ferrovias e hidrovias.

A internalização de tributo de carbono de 25 US\$/tCO<sub>2</sub> (BC25) viabilizaria uma série de opções adicionais de baixo carbono. Podem ser destacadas, em face do potencial de mitigação de emissões:

- 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;
- Cocombustão de biomassa com carvão em usinas termelétricas;
- Incineração de resíduos e ampliação da reciclagem de resíduos sólidos urbanos 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.

No cenário BC100, uma série de medidas que demandam maior patamar de precificação para se viabilizarem podem ser adotadas. Destacam-se:

- 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 termos de efeito atividade, particularmente, resultando em queda na demanda de insumos energéticos carbonointensivos. Por esse motivo, observa-se significativa queda nas emissões de geração elétrica e processos industriais (Tabela 5). No caso da redução de mineração de carvão, observa-se efeito indireto da queda na demanda termelétrica, que perde competitividade mediante tributação de carbono.

Tabela 6 – Principais Atividades de Baixo Carbono do Sistema Energético, por Setor e Segmento, nos Cenários BC0, BC25 e BC50 em 2030 e 2050

| Setor (segmento)              | Opções de mitigação                                                                    | Potencial de mitigação (MtCO <sub>2</sub> e) <sup>1</sup> |                 |                 |                 |                 |       |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
|                               |                                                                                        | 2030                                                      |                 |                 | 2050            |                 |       |
|                               |                                                                                        | BC0                                                       | BC25            | BC100           | BC0             | BC25            | BC100 |
| Indústria (outros)            | Eficientização na recuperação de calor e vapor nos processos                           | 7,5                                                       | 9,1             | 15,2            | 13,5            | 18,6            | 18,6  |
| Indústria (cimento)           | Eficientização na recuperação de calor nos processos                                   | 2,9                                                       | 3,5             | 3,5             | 2,9             | 3,5             | 3,5   |
| Indústria (cimento)           | Troca de combustíveis                                                                  | 1,0                                                       | 1,8             | 1,8             | 1,0             | 1,8             | 1,8   |
| Indústria (cimento)           | Adição de carboneto de escória na produção de cimento                                  | NA <sup>3</sup>                                           | 0,8             | 0,8             | NA <sup>3</sup> | 0,8             | 0,8   |
| Indústria (outros)            | Eficientização de fornos e otimização de processos                                     | 2,4                                                       | 11,6            | 21,4            | 13,0            | 25,4            | 25,4  |
| Indústria (químico)           | Eficientização na recuperação de calor nos processos                                   | 1,4                                                       | 2,4             | 2,4             | 1,4             | 2,4             | 2,4   |
| Indústria (químico)           | Eficientização na recuperação de vapor nos processos                                   | 1,0                                                       | 1,9             | 1,9             | 1,0             | 1,9             | 1,9   |
| Indústria (químico)           | Otimização de sistemas motores                                                         | NA <sup>3</sup>                                           | 0,3             | 0,3             | NA <sup>3</sup> | 0,3             | 0,3   |
| Indústria (químico)           | Aumento do uso de gás natural em caldeiras e fornos                                    | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 0,7             | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 0,7   |
| Indústria (químico)           | Captura de carbono na produção de amônia                                               | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 1,2   |
| Indústria (cimento)           | Troca de combustíveis                                                                  | NA <sup>3</sup>                                           | 0,2             | 0,2             | NA <sup>3</sup> | 0,2             | 0,2   |
| Indústria (cimento)           | Captura de carbono por absorção química                                                | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 15,0  |
| Indústria (cimento)           | Adoção de sistemas de fornos com cinco estágios de ciclone                             | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 1,2             | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 1,2   |
| Indústria (siderurgia)        | Eficientização na recuperação de calor nos processos                                   | 1,7                                                       | 2,2             | 2,2             | 2,2             | 2,2             | 2,2   |
| Indústria (siderurgia)        | Injeção de carvão pulverizado                                                          | NA <sup>3</sup>                                           | 0,4             | 0,4             | NA <sup>3</sup> | 0,4             | 0,4   |
| Indústria (siderurgia)        | Aplicação de fornos Scope 21                                                           | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 0,3             | 0,3             | 0,3             | 0,3   |
| Indústria (siderurgia)        | Captura de carbono em plantas integradas na <i>Top Gas Recycling Blast Furnace</i>     | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 10,0  |
| Indústria (siderurgia)        | Captura de carbono em plantas integradas na unidade de cogeração                       | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 6,0   |
| Indústria (outros)            | Troca de combustíveis                                                                  | 2,4                                                       | 5,3             | 5,3             | 2,4             | 5,3             | 5,3   |
| Indústria (mineração)         | Uso de veículos híbridos                                                               | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 0,5             | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 0,5   |
| Energia (E&P de óleo e gás)   | Redução de <i>flare</i> <sup>2</sup> e instalação de unidades de recuperação de vapor  | 3,2                                                       | 10,4            | 10,4            | 3,2             | 10,4            | 10,4  |
| Energia (E&P de óleo e gás)   | Implementação de programas de inspeção e manutenção em plataformas                     | NA <sup>3</sup>                                           | 0,6             | 0,6             | NA <sup>3</sup> | 0,6             | 0,6   |
| Energia (E&P de óleo e gás)   | Substituição da selagem a óleo pela selagem a gás no eixo do compressor centrífugo     | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 2,2             | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 2,2   |
| Energia (E&P de óleo e gás)   | Captura de carbono na produção de gás por membranas com 45% de teor de CO <sub>2</sub> | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 23,0  |
| Energia (E&P de óleo e gás)   | Aplicação da rota de <i>gás-to-liquids</i>                                             | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 0,3             | 0,3             | 0,3   |
| Energia (mineração de carvão) | Drenagem de gás por perfurações com combustão em <i>flare</i> ou motores               | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 0,6             | 0,6             | 0,6   |
| Energia (mineração de carvão) | Remoção e recuperação do metano do ar de ventilação                                    | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 0,4             | 0,4             | 0,4   |
| Energia (refino)              | Eficientização na recuperação de calor e vapor nos processos                           | 3,4                                                       | 7,9             | 7,9             | 3,4             | 7,9             | 7,9   |



| Setor (segmento)          | Opções de mitigação                                                                            | Potencial de mitigação (MtCO <sub>2</sub> e) <sup>1</sup> |                 |                 |                 |                 |       |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
|                           |                                                                                                | 2030                                                      |                 |                 | 2050            |                 |       |
|                           |                                                                                                | BC0                                                       | BC25            | BC100           | BC0             | BC25            | BC100 |
| Energia (refino)          | Eficientização no consumo de hidrogênio                                                        | 2,1                                                       | 3,9             | 3,9             | 2,1             | 3,9             | 3,9   |
| Energia (refino)          | Eficientização elétrica em motores                                                             | 0,7                                                       | 1,2             | 1,2             | 0,7             | 1,2             | 1,2   |
| Energia (refino)          | Captura de carbono em unidades de geração de hidrogênio                                        | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 7,0   |
| Energia (refino)          | Captura de carbono m unidades de craqueamento catalítico                                       | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 8,0   |
| Energia (biocombustíveis) | Captura de carbono em destilarias a etanol do processo de fermentação                          | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 2,0   |
| Energia (elétrico)        | Instalação de caldeiras supercríticas nas termelétricas a carvão                               | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 0,5             | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 3,6   |
| Energia (elétrico)        | Inserção de biomassa (cocombustão) nas termelétricas a carvão                                  | NA <sup>3</sup>                                           | 1,5             | 1,5             | NA <sup>3</sup> | 7,6             | 7,6   |
| Energia (elétrico)        | Repotenciação de usinas hidrelétricas                                                          | 0,9                                                       | 0,9             | 0,9             | 7,9             | 7,9             | 7,9   |
| Energia (elétrico)        | Adoção de usinas termelétricas a biomassa                                                      | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 0,9   |
| Energia (elétrico)        | Redução da mineração de carvão                                                                 | 8,2                                                       | 24,9            | 24,9            | 31,4            | 37,8            | 45,1  |
| Energia (elétrico)        | Recuperação de calor em termelétricas a óleo e gás natural                                     | 0,4                                                       | 0,4             | 0,4             | 0,4             | 0,4             | 0,4   |
| Energia (elétrico)        | Geração eólica em ventos a 100 metros                                                          | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 0,7             | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 9,5   |
| Energia (elétrico)        | Captura de carbono em termelétrica operando com carvão nacional                                | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 14,1  |
| Energia (elétrico)        | Captura de carbono em termelétrica operando com carvão importado                               | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 12,3  |
| Energia (elétrico)        | Captura de carbono por pós-combustão em termelétricas a gás natural                            | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 9,7   |
| Transportes (rodoviário)  | Implementação de automóveis elétricos a bateria                                                | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 5,0             | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 5,4   |
| Transportes (rodoviário)  | Eficientização de motores de caminhões médios, semipesados e pesados                           | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 8,5             | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 8,5   |
| Transportes (rodoviário)  | Eficientização de motores de ônibus urbano a diesel                                            | 2,9                                                       | 5,3             | 5,3             | 2,9             | 5,3             | 5,3   |
| Transportes (rodoviário)  | Eficientização de motores de ônibus rodoviário e micro-ônibus                                  | 1,1                                                       | 1,1             | 1,1             | 1,1             | 1,1             | 1,1   |
| Transportes (rodoviário)  | Eficientização de veículos comerciais leves a gasolina, <i>flex-fuel</i> e diesel              | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 3,4             | 5,3             | 7,1   |
| Transportes (rodoviário)  | Eficientização de automóveis a gasolina                                                        | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 1,0             | 1,5             | 3,2   |
| Transportes (rodoviário)  | Eficientização de automóveis <i>flex-fuel</i>                                                  | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 3,5             | 5,5             | 7,8   |
| Transportes (rodoviário)  | Eficientização de motocicletas e gasolina e <i>flex-fuel</i>                                   | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 0,5             | 1,1             | 1,9   |
| Transportes (ferroviário) | Eficientização de trens por meio da redução do arrasto aerodinâmico, compactação de carga etc. | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 1,7             | NA <sup>3</sup> | 1,6             | 2,4   |
| Transportes (aéreo)       | Redução de peso e melhoria na eficiência dos motores das aeronaves                             | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 3,7             | NA <sup>3</sup> | 2,5             | 3,7   |
| Transportes (aquaviário)  | Eficientização das embarcações                                                                 | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 2,4             | NA <sup>3</sup> | 2,4             | 3,9   |
| Transportes (cargas)      | Mudança modal (rodoviário de cargas para ferroviário e hidroviário)                            | 4,9                                                       | 4,9             | 4,9             | 10,5            | 10,8            | 12,3  |
| Transportes (cargas)      | Eficientização de motores de caminhões leves                                                   | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 0,9             | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 0,9   |
| Transportes (passageiros) | Mudança modal (automóveis para ônibus e metrô)                                                 | 11,1                                                      | 18,9            | 21,4            | 20,9            | 22,1            | 25,8  |
| Edificações (residencial) | Eficientização de fogões a GLP e gás natural                                                   | 0,1                                                       | 0,1             | 0,1             | 0,1             | 0,1             | 0,3   |

| Setor (segmento)                                                                                            | Opções de mitigação                                                | Potencial de mitigação (MtCO <sub>2</sub> e) <sup>1</sup> |                   |                    |                   |                    |                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
|                                                                                                             |                                                                    | 2030                                                      |                   |                    | 2050              |                    |                    |
|                                                                                                             |                                                                    | BC0                                                       | BC25              | BC100              | BC0               | BC25               | BC100              |
| Edificações (residencial)                                                                                   | Eficientização de aquecedores a gás natural                        | 0,1                                                       | 0,1               | 0,1                | 0,1               | 0,1                | 0,5                |
| Gestão de resíduos (RSU)                                                                                    | Degradação de biogás de aterro sanitário com <i>flare</i>          | 19,9                                                      | 20,5              | 26,2               | 26,8              | 26,8               | 40,9               |
| Gestão de resíduos (RSU)                                                                                    | Compostagem da fração de RSU                                       | 1,2                                                       | 1,5               | 1,8                | 1,8               | 1,8                | 2,1                |
| Gestão de resíduos (RSU)                                                                                    | Aproveitamento de biogás para produção de biometano                | 7,9                                                       | 8,4               | 11,3               | 11,8              | 11,8               | 16,2               |
| Gestão de resíduos (RSU)                                                                                    | Aproveitamento de biogás para geração de eletricidade              | 6,1                                                       | 7,2               | 8,4                | 8,4               | 8,4                | 13,2               |
| Gestão de resíduos (efluentes)                                                                              | Aproveitamento de biogás de efluentes para geração de eletricidade | 2,4                                                       | 3,8               | 5,4                | 5,4               | 5,4                | 9,8                |
| Gestão de resíduos (RSU)                                                                                    | Difusão da biodigestão para produção de biometano                  | 1,2                                                       | 1,8               | 2,9                | 2,9               | 2,9                | 4,2                |
| Gestão de resíduos (RSU)                                                                                    | Incineração de resíduos                                            | NA <sup>3</sup>                                           | 0,8               | 1,7                | NA <sup>3</sup>   | NA <sup>3</sup>    | 1,7                |
| Gestão de resíduos (RSU)                                                                                    | Difusão da biodigestão para produção de eletricidade               | 0,4                                                       | 0,8               | 1,5                | 1,5               | 1,5                | 1,7                |
| Gestão de resíduos (RSU)                                                                                    | Ampliação da reciclagem de RSU <sup>4</sup>                        | NA <sup>3</sup>                                           | 0,2               | 0,8                | 0,8               | 0,8                | 0,8                |
| Outras atividades de baixo carbono menos representativas para a redução das emissões setoriais <sup>5</sup> |                                                                    | 1,9 <sup>6</sup>                                          | 68,6 <sup>7</sup> | 111,0 <sup>7</sup> | 54,3 <sup>6</sup> | 193,1 <sup>7</sup> | 222,2 <sup>7</sup> |
| <b>Total</b>                                                                                                |                                                                    | <b>100,4</b>                                              | <b>235,2</b>      | <b>339,3</b>       | <b>245,8</b>      | <b>454,0</b>       | <b>679,2</b>       |

<sup>1</sup> O potencial e as opções de mitigação referem-se aos cenários BC0, BC25 e BC100, para os anos de 2030 e 2050, respectivamente.

<sup>2</sup> Redução da queima em *flare* por meio da instalação de piloto de ignição.

<sup>3</sup> Medidas não selecionadas perante o valor de carbono implícito na função objetivo do modelo MSB8000.

<sup>4</sup> Aumento na reciclagem de RSU de 5% para 7% entre os cenários REF e BC.

<sup>5</sup> Abrange medidas com potencial de mitigação menor que 0,1 MtCO<sub>2</sub>e.

<sup>6</sup> Considera redução de emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> relativas à queda no efeito atividade em plataformas de petróleo e transporte e distribuição de gás natural no cenário BC0.

<sup>7</sup> Considera a diminuição de emissões de processos industriais e em plataformas de petróleo e distribuição de gás natural decorrentes da queda no efeito atividade, assim como medidas com potencial de mitigação menor que 0,1 MtCO<sub>2</sub>e.

RSU – Resíduos sólidos urbanos.

E&P – Extração e produção.

## 2.1.2 SETOR DE AFOLU

Para o setor de Afolu, entre 2020 e 2050, foi projetado um crescimento de aproximadamente 10% das emissões de GEE no cenário REF (Figura 19). O aumento menos acentuado das emissões nesse setor decorre da continuidade na implementação de ações de redução de emissões relacionadas ao Plano ABC e aos planos PPCDAm e PPCerrado, que objetivam alcançar as metas previstas pela Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (Lei nº 12.187/2009) de redução no desmatamento da Amazônia e do Cerrado (MAPA, 2012; MMA, 2008; 2017a; 2017b).

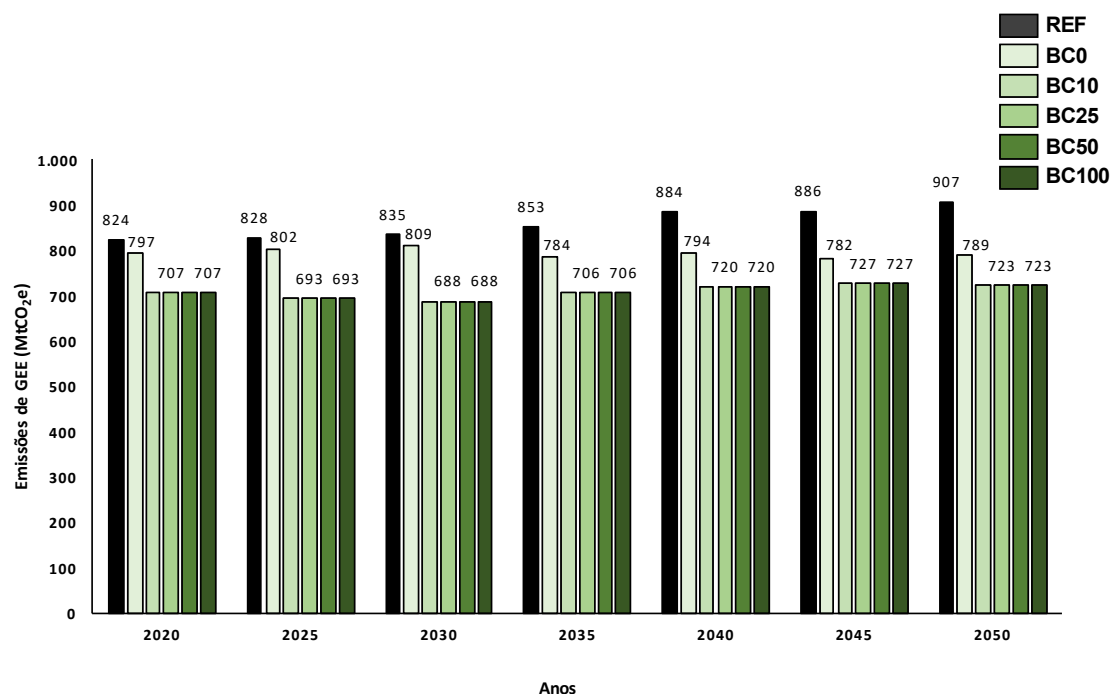


Figura 19 – Cenários de Emissões de GEE para o Setor de Afolu no Período – Rodada Base

No cenário BC0, seria possível reduzir as emissões, em relação ao cenário REF para o ano de 2050, em 13%. Interessantemente, 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\$/tCO<sub>2</sub>. Ou seja, o potencial máximo de mitigação do setor seria atingido em patamar inferior de precificação de carbono com relação ao sistema energético.

O diferencial de emissões entre os cenários BC0 e BC25 é explicado por duas medidas-chave que demandam a precificação de 25 US\$/tCO<sub>2</sub>: intensificação da pecuária e redução do desmatamento (2017a; 2017w).

Pelos motivos destacados, a discriminação de emissões e potenciais de mitigação a seguir abrangerá, exclusivamente, os cenários REF, BC0 e BC25.

No cenário BC0, o setor de Afolu reduz emissões de 3% a 13% entre 2020 e 2050. O potencial de mitigação máximo é atingido em 2050, qual seja 117 MtCO<sub>2</sub>e. A pecuária, medida em termos de fermentação entérica e manejo de dejetos, é o subsetor que mais contribui para reduzir emissões, em consequência da diminuição do rebanho pela estratégia de confinamento de animais (MCTIC, 2017w).

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<sub>2</sub> em 2050 (38% a menos com relação ao cenário REF). Tem destaque a medida de redução do desmatamento, em particular: 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 Pampas. A maior fonte de remoção de CO<sub>2</sub> pela biomassa é a recomposição da vegetação nativa, que, no cenário BC25, proporciona 99 MtCO<sub>2</sub>e em 2050. Quanto às emissões por mudanças no estoque de carbono no solo, destacam-se as remoções pela reforma de pastagens (solteira e em sistemas integrados), que, em média, sequestraram 40 MtCO<sub>2</sub>e no cenário.

Deve-se destacar que as emissões provenientes do uso de fertilizantes sintéticos e vinhaça, assim como queima e decomposição de resíduos agrícolas, são maiores nos cenários BCO e BC25, com relação ao cenário REF, em função dos seguintes aspectos: aumento da produção de biocombustíveis (setor de transportes); recuperação de pastagens degradadas e expansão de florestas plantadas (setor de Afolu); aproveitamento energético de resíduos agrícolas (setor de gestão de resíduos) (MCTIC, 2017r; 2017t; 2017w).

**Tabela 7 – Cenários de Emissões do Setor de Afolu, por Subsetores e Fontes Emissoras em 2020, 2030, 2040 e 2050**

| Setor/Fonte emissora                              | Emissões de GEE (MtCO <sub>2</sub> e) |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                                   | 2020                                  |              |              | 2030         |              |              | 2040         |              |              | 2050         |              |              |
|                                                   | REF                                   | BC0          | BC25         | REF          | BC0          | BC25         | REF          | BC0          | BC25         | REF          | BC0          | BC25         |
| 1. Mudanças de uso do solo                        | 339,8                                 | 311,2        | 252,1        | 298,0        | 269,8        | 188,9        | 286,2        | 257,6        | 183,0        | 252,8        | 224,2        | 157,9        |
| 2. Agropecuária (2a+2b+2c+2d+2e)                  | 484,6                                 | 485,4        | 454,7        | 536,2        | 539,5        | 499,5        | 599,2        | 536,6        | 536,6        | 653,7        | 565,1        | 565,1        |
| 2a. Fermentação entérica                          | 296,8                                 | 296,8        | 269,9        | 319,4        | 319,4        | 283,3        | 349,7        | 291,7        | 291,7        | 376,1        | 295,6        | 295,6        |
| 2b. Manejo de dejetos animais                     | 21,9                                  | 21,9         | 21,2         | 24,5         | 24,5         | 22,9         | 27,1         | 22,6         | 22,6         | 29,3         | 22,8         | 22,8         |
| 2c. Arroz                                         | 12,7                                  | 12,7         | 12,7         | 11,2         | 11,2         | 11,2         | 10,4         | 10,4         | 10,4         | 10,2         | 10,2         | 10,2         |
| 2d. Queima de resíduos                            | 4,9                                   | 4,9          | 5,9          | 3,3          | 4,0          | 4,0          | 1,9          | 2,3          | 2,3          | -            | -            | -            |
| 2e. Solos agrícolas (2e1+2e2+2e3+2e4+2e5)         | 148,4                                 | 149,2        | 145,1        | 177,8        | 180,5        | 178,1        | 210,1        | 209,7        | 209,7        | 238,1        | 236,6        | 236,6        |
| 2e1. Fertilizantes sintéticos                     | 34,7                                  | 34,7         | 36,5         | 48,7         | 50,6         | 57,7         | 63,5         | 78,3         | 78,3         | 75,4         | 95,0         | 95,0         |
| 2e2. Resíduos agrícolas                           | 14,4                                  | 15,0         | 15,0         | 17,4         | 18,2         | 18,2         | 20,0         | 20,9         | 20,9         | 21,8         | 22,7         | 22,7         |
| 2e3. Vinhaça                                      | 1,2                                   | 1,5          | 1,5          | 1,4          | 1,6          | 1,6          | 1,8          | 2,2          | 2,2          | 1,9          | 2,3          | 2,3          |
| 2e4. Animais em pastagem e adubo                  | 94,1                                  | 94,1         | 88,1         | 105,9        | 96,2         | 96,2         | 119,7        | 103,4        | 103,4        | 133,4        | 111,1        | 111,1        |
| 2e5. Manejo de dejetos animais (N <sub>2</sub> O) | 4,0                                   | 3,9          | 3,9          | 4,5          | 4,4          | 4,4          | 5,1          | 5,0          | 5,0          | 5,7          | 5,5          | 5,5          |
| <b>Total (1+2)</b>                                | <b>824,4</b>                          | <b>796,6</b> | <b>706,8</b> | <b>834,2</b> | <b>809,3</b> | <b>688,4</b> | <b>885,4</b> | <b>794,2</b> | <b>719,6</b> | <b>906,5</b> | <b>789,3</b> | <b>723,0</b> |

**Tabela 8 – Potenciais de Redução de Emissões do Setor de Afolu, por Subsetores e Fontes Emissoras em 2020, 2030, 2040 e 2050**

| Setor/Fonte emissora                              | Mitigação de Emissões de GEE (MtCO <sub>2</sub> e) <sup>1</sup> |               |              |               |              |               |               |               |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                                                   | 2020                                                            |               | 2030         |               | 2040         |               | 2050          |               |
|                                                   | BC0                                                             | BC25          | BC0          | BC25          | BC0          | BC25          | BC0           | BC25          |
| 1. Mudanças de uso do solo                        | -28,6                                                           | -87,7         | -28,2        | -109,1        | -28,6        | -103,2        | -28,6         | -94,9         |
| 2. Agropecuária (2a+2b+2c+2d+2e)                  | 0,8*                                                            | -29,9         | 3,3*         | -36,7         | -62,6        | -62,6         | -88,6         | -88,6         |
| 2a. Fermentação entérica                          | -                                                               | -26,9         | -            | -36,1         | -58,0        | -58,0         | -80,5         | -80,5         |
| 2b. Manejo de dejetos animais                     | -                                                               | -0,7          | -            | -1,6          | -4,5         | -4,5          | -6,5          | -6,5          |
| 2c. Arroz                                         | -                                                               | -             | -            | -             | -            | -             | -             | -             |
| 2d. Queima de resíduos                            | -                                                               | 1             | 0,7*         | 0,7*          | 0,4*         | 0,4*          | -             | -             |
| 2e. Solos agrícolas (2e1+2e2+2e3+2e4+2e5)         | 0,8*                                                            | -3,3          | 2,7*         | 0,3*          | -0,4         | -0,4          | -1,5          | -1,5          |
| 2e1. Fertilizantes sintéticos                     | -                                                               | 1,8*          | 1,9*         | 9,0*          | 14,8*        | 14,8*         | 19,6*         | 19,6*         |
| 2e2. Resíduos agrícolas                           | 0,6*                                                            | 0,6*          | 0,8*         | 0,8*          | 0,9*         | 0,9*          | 0,9*          | 0,9*          |
| 2e3. Vinhaça                                      | 0,3*                                                            | 0,3*          | 0,2*         | 0,2*          | 0,4*         | 0,4*          | 0,4*          | 0,4*          |
| 2e4. Animais em pastagem e adubo                  | -                                                               | -6,0          | -9,7         | -9,7          | -16,3        | -16,3         | -22,3         | -22,3         |
| 2e5. Manejo de dejetos animais (N <sub>2</sub> O) | -0,1                                                            | -0,1          | -0,1         | -0,1          | -0,1         | -0,1          | -0,2          | -0,2          |
| <b>Total (1+2)</b>                                | <b>-27,8</b>                                                    | <b>-117,6</b> | <b>-24,9</b> | <b>-145,8</b> | <b>-91,2</b> | <b>-165,8</b> | <b>-117,2</b> | <b>-183,5</b> |

<sup>1</sup> As reduções de emissões para os cenários BCO e BC25 foram calculadas subtraindo as emissões dos cenários REF dos respectivos anos (2020, 2030, 2040 e 2050).

\* Nesse cenário, o subsetor apresenta aumento de emissão.

Os modelos indicam que, relativo ao cenário BC0, para alcançar as reduções de emissão de GEE apresentadas na Tabela 8, as ações setoriais de mitigação a serem implementadas devem compreender:

- Expansão do plantio de florestas comerciais;
- Expansão dos sistemas integrados de cultivo (integração lavoura-pecuária, pecuária-floresta, lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais);
- Expansão da técnica de plantio direto;
- Maior aporte de nitrogênio via fertilização biológica.

Embora abranja inúmeras ações, a redução de emissões de GEE em 2030, no cenário BC0, é significativamente menor do que aquela estimada no cenário BC25. Dois fatores explicam essa tendência:

- i) Custo-efetividade da intensificação da pecuária e redução do desmatamento, atividades que apresentam o maior potencial de redução de emissões no setor;
- ii) Ampliação do cultivo agrícola, em particular de cana-de-açúcar e soja, em virtude da expansão prevista de biocombustíveis enquanto atividade de baixo carbono do setor de transportes.

Em 2050, o potencial de abatimento do cenário BC25 é significativamente maior que aquele medido em 2030. A intensificação da pecuária, assim como a redução no desmatamento e a recomposição da vegetação nativa são atividades-chave para ser atingido o potencial máximo de mitigação. Para diminuir o rebanho, propõe-se intensificar a produção bovina de corte por meio da estratégia do confinamento da pecuária bovina de corte, que abrangeria 19 milhões de cabeças em 2050. Por sua vez, a recomposição da vegetação nativa é de 21 milhões de hectares em 2050. Finalmente, proposta de redução do desmatamento abrange desmatamento legal na Amazônia, cumprimento da meta de desmatamento do Cerrado e criação de meta de redução de 40% no desmatamento dos biomas Caatinga e Pantanal e 58% no bioma Pampas.

Em suma, trata-se de promover ações relacionadas à redução do desmatamento associadas à expansão das áreas de vegetação nativa e florestas plantadas, assim como ao aumento do estoque de carbono no solo por meio da expansão dos sistemas integrados e da recuperação de pastagens degradadas.

Tabela 9 – Principais Atividades de Baixo Carbono do Setor de Afolu por Atividade, nos Cenários BC0 e BC25 em 2030 e 2050

| Setor (segmento)                                                                                        | Opções de mitigação                                                                                                                                                                | Potencial de mitigação (MtCO <sub>2</sub> e) <sup>1</sup> |              |                   |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|
|                                                                                                         |                                                                                                                                                                                    | 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. <sup>2</sup>                                                       | 2,1                                                       | 2,1          | 0,5               | 0,5               |
| Agricultura                                                                                             | Incremento de 200 mil hectares/ano, no período de 2021 a 2050, nos sistemas integrados. <sup>3</sup>                                                                               | 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. <sup>4</sup>                         | 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. <sup>5</sup>                            | NA <sup>9</sup>                                           | 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. <sup>6</sup>                                         | NA <sup>9</sup>                                           | 7,4          | NA <sup>9</sup>   | 12,3              |
| Mudanças no 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 Pampas. | NA <sup>9</sup>                                           | 47,7         | NA <sup>9</sup>   | 29,4              |
| Mudanças no uso do solo                                                                                 | Expansão do cultivo de florestas comerciais, que totalizariam 14 milhões de hectares em 2050. <sup>7</sup>                                                                         | 23,6                                                      | 23,6         | 8,7 <sup>11</sup> | 8,7 <sup>11</sup> |
| Mudanças no uso do solo                                                                                 | Ampliação da recomposição de vegetação nativa para 21 milhões de hectares até 2050. <sup>8</sup>                                                                                   | NA <sup>9</sup>                                           | 9,5          | NA <sup>9</sup>   | 25,5              |
| Emissões/remoções indiretas provenientes de atividades de baixo carbono de outros setores <sup>10</sup> |                                                                                                                                                                                    | -1,7                                                      | 7,0          | 5,7               | 4,8               |
| <b>Total</b>                                                                                            |                                                                                                                                                                                    | <b>24,9</b>                                               | <b>145,8</b> | <b>117,2</b>      | <b>183,5</b>      |

- 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.

## 2.2 RODADA DE SENSIBILIDADE

A rodada de sensibilidade considera uma visão alternativa à rodada base de potenciais das ações de mitigação e parte do pressuposto de que o sistema energético, em particular, toma decisão de antecipar a transição para uma economia de baixo carbono. Para tanto, avalia no modelo MSB8000 o impacto de uma série de políticas setoriais de baixo carbono em termos de emissões de GEE:

- Setor energético, a partir de 2030:
  - » Aumento do *blend* do biodiesel no diesel para 20%;
  - » Mandato mínimo de 10% de bioquerosene no querosene de aviação (QAV) e 10% de biodiesel no *bunker* marítimo;
  - » Participação mínima de 10% de energia solar no *grid* nacional.
- Setor de transportes:
  - » Redução de 7% na demanda de passageiro quilômetro transportado (pkm) em relação ao cenário REF;
  - » Venda exclusiva, a partir de 2030, de veículos elétricos, tanto veículos puramente a bateria (BEV) quanto veículos híbridos e híbridos *plug-in*.
- Setor industrial:
  - » Evolução gradual do consumo de biomassa lenhosa exclusivamente oriunda de florestas plantadas, que atingiria 100% em 2050.
- Opções transversais de mitigação de emissões:
  - » Não implementação do CAC, tendo como pressuposto a indisponibilidade comercial da tecnologia (s/CAC);
  - » Implementação do CAC a partir de 2035 (c/CAC).

No caso do setor de Afolu, a análise de sensibilidade é reflexo das premissas consideradas no sistema energético. As principais mudanças incorporadas são:

- Aumento da demanda de soja, em média, de 10%, decorrente do mandato de biodiesel;
- Substituição mais rápida da biomassa nativa pela lenha de florestas plantadas, que resulta em aumento da área de florestas em 1 milhão de hectares em 2050;
- Diminuição de 3,5% no diferencial da área agrícola, entre os cenários REF e BC em 2050, decorrente da queda na demanda por etanol determinada pela maior eletrificação veicular.

Podem-se observar as emissões totais do sistema energético, desconsiderando a adoção da CAC, e do setor de Afolu na Figura 20. Com relação à rodada base (Figura 13), as emissões do cenário REF são idênticas, na medida em que foram alterados pressupostos exclusivamente dos cenários de baixo carbono.

Diferenças nesses cenários começam a aparecer majoritariamente a partir de 2030, uma vez que esse é o ano de entrada da maioria das políticas de baixo carbono avaliadas.

No cenário BCO, a adoção das políticas testadas possibilita uma redução adicional de emissões em comparação com a rodada base. O maior potencial de abatimento ocorreria exatamente em 2030, quando a redução de emissões com relação ao cenário REF é de 12%, contra 7% na rodada base.

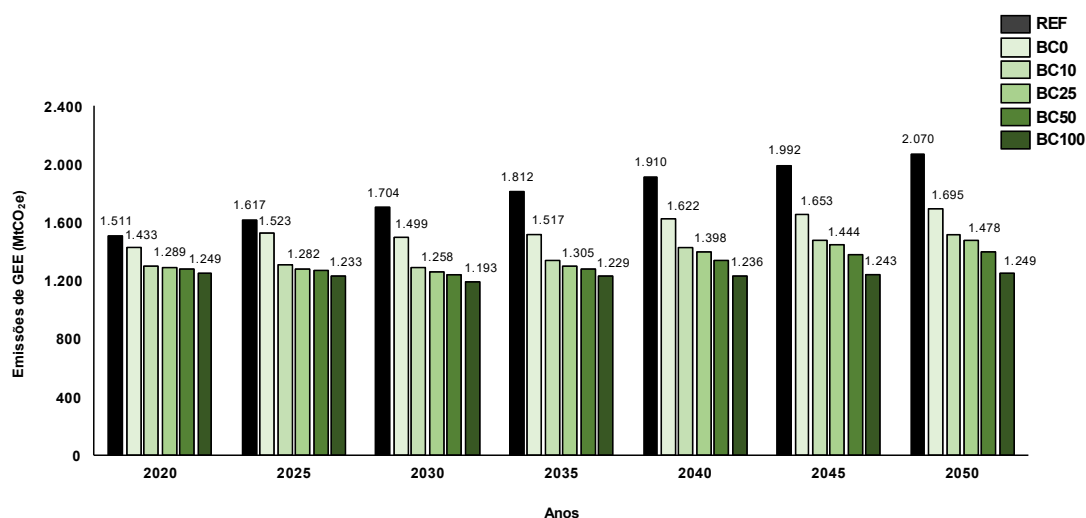


Figura 20 – Cenários de Emissões Totais para o Setor de Afolu e Sistema Energético – Rodada de Sensibilidade

Deve-se ressaltar que a CAC, conforme consta na Tabela 6, é viabilizada somente com patamares de valoração de carbono superiores a 25 US\$/tCO<sub>2</sub>. Para não gerar combinações adicionais de cenários, optou-se por avaliar o impacto dessa tecnologia apenas na discriminação das projeções de emissões do sistema energético.

A seguir, serão discriminados os resultados, comparativamente à rodada base, para o sistema energético e para o setor de Afolu. Os resultados serão expostos, considerando:

- Cenários da rodada base (base);
- Cenários da rodada de sensibilidade e sem CAC (s/ CAC);
- Cenários da rodada de sensibilidade e com CAC (c/ CAC).

### 2.2.1 SISTEMA ENERGÉTICO

Inicialmente, são analisados comparativamente os cenários de consumo de energia primária e geração de eletricidade. Optou-se por discriminar os resultados do cenário BC25 por se constituírem do patamar mínimo de valoração de carbono a partir do qual são viabilizadas tecnologias que têm impacto sobre o consumo de energia primária e a geração de eletricidade, quais sejam CAC, solar fotovoltaica centralizada (FV) e solar-térmica (CSP).

O consumo de energia primária é menor na rodada de sensibilidade. Os fatores que contribuem para isso são a eletrificação dos veículos e a redução do pkm no transporte de passageiros, que resultam em menor consumo de combustíveis fósseis nesse setor. Como exemplo, pode-se observar o cenário BC25, na Figura 21, a partir de 2030. Há diminuição do uso do óleo e da cana, respectivamente, para a produção de gasolina e etanol. Ao mesmo tempo, para suprir a demanda de eletricidade, há aumento do consumo de carvão e da energia solar.



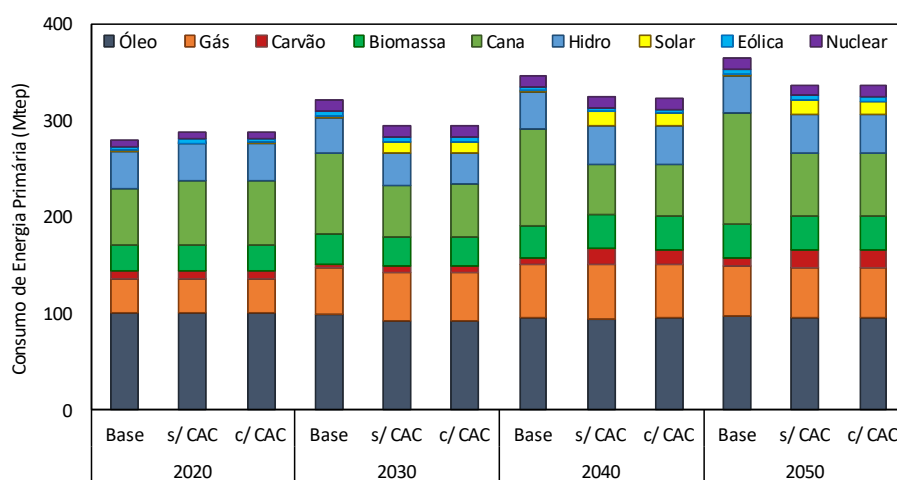


Figura 21 – Consumo de Energia Primária pelo Sistema Energético no Cenário BC25 da Rodada Base e Rodada de Sensibilidade (s/CAC e c/CAC)

De fato, há significativo aumento na demanda de energia elétrica, a partir de 2040, para atender a necessidade de abastecimento dos veículos elétricos. Considerando como exemplo o cenário BC25, é possível ver como o setor de eletricidade reage a esse aumento de demanda (Figura 22). Em 2030, inicia-se a produção de eletricidade a partir de painéis fotovoltaicos centralizados (FV) e, mais expressivamente, da energia heliotérmica – ou solar-térmica (CSP) – para atender a premissa de 10% de geração solar a partir desse ano. Com isso, há redução na geração hidrelétrica e nas térmicas a biomassa, com relação aos resultados da rodada base. A partir de 2040, há aumento da demanda de eletricidade, causada pelo aumento na frota de veículos elétricos. Aumenta-se ligeiramente a geração hidrelétrica, e aumenta-se consideravelmente a geração térmica a carvão. Outro efeito interessante de notar é a redução da geração elétrica a partir de bagaço de cana. Isso ocorre porque o aumento da frota de veículos elétricos causa a diminuição da frota de veículos *flex* e, por conseguinte, a redução da demanda de etanol e gasolina. Dessa forma, visto que uma menor quantidade de cana é usada para produzir etanol, reduz-se a geração elétrica a partir de bagaço de cana-de-açúcar.

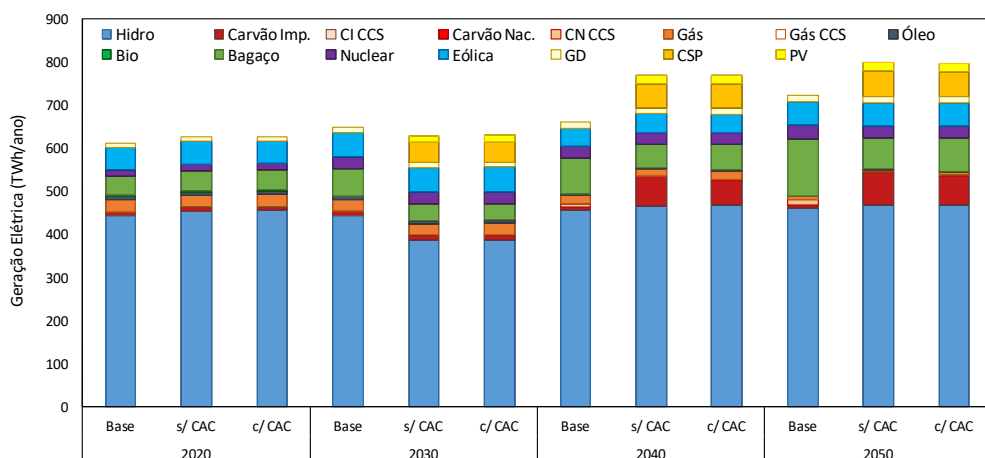


Figura 22 – Geração de Eletricidade no Cenário BC25 da Rodada Base e Rodada de Sensibilidade (s/CAC e c/CAC)

Legenda: Hidro = hidrelétricas; carvão imp. = carvão importado; CI CCS = térmicas operando com carvão importado e CAC; carvão nac. = carvão nacional; CN CCS = térmicas operando com carvão nacional e CAC; Gás CCS = térmicas a gás natural operando com CAC; bio = biocombustíveis; GD = geração distribuída; CSP = geração heliotérmica; PV = geração solar fotovoltaica centralizada..

Em decorrência do grande aumento de demanda de eletricidade, foram analisados diferentes tipos de armazenamento para a tecnologia de CSP nas diferentes regiões do Brasil. A Figura 23 mostra o grande potencial de aproveitamento heliotérmico do Nordeste, que chega a 35 TWh em 2050. Além disso, observa-se a predominância do armazenamento de 12h para essa região.

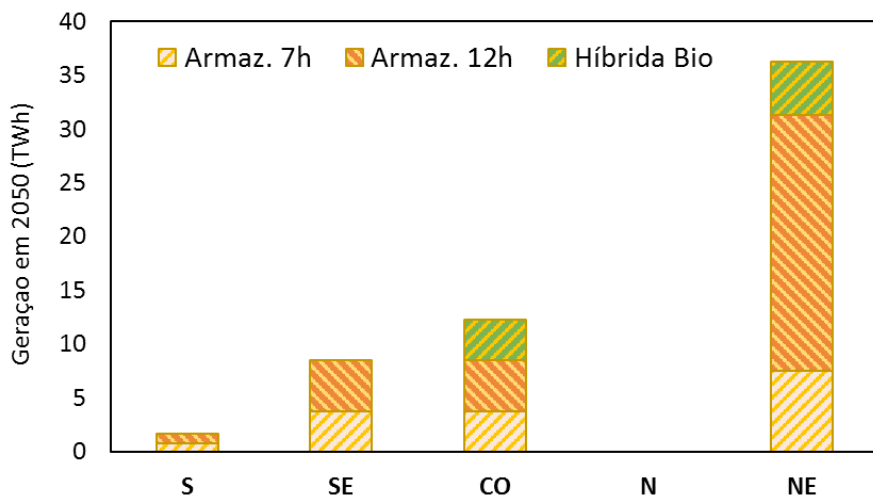


Figura 23 – Geração de Eletricidade por Diferentes Tecnologias CSP por Região em 2050

Nota: Armaz. 7h refere-se à tecnologia de cilindro parabólico de 50 MWe e 7,5 horas de armazenamento térmico; armazen. 12h abrange a tecnologia de cilindro parabólico de 100 MWe e 12 horas de armazenamento térmico; híbrido bio refere-se à tecnologia de cilindro parabólico de 30 MWe hibridizada com biomassa jurema-preta, cujo sistema de hibridização tenha capacidade de até 30% de bloco de potência.

Analisando-se ainda os cenários BC25 (base) e BC25 (s/CAC) em face do cenário REF (Figura 24), percebe-se que, no cenário BC25 (base), há redução da demanda elétrica em relação ao cenário REF, possibilitada pela entrada de medidas de eficiência nos diversos setores da economia. Entretanto, no cenário BC25 (s/CAC), a grande demanda de energia elétrica decorrente dos veículos elétricos ultrapassa essa redução proveniente das medidas de eficiência, o que eleva a demanda elétrica.

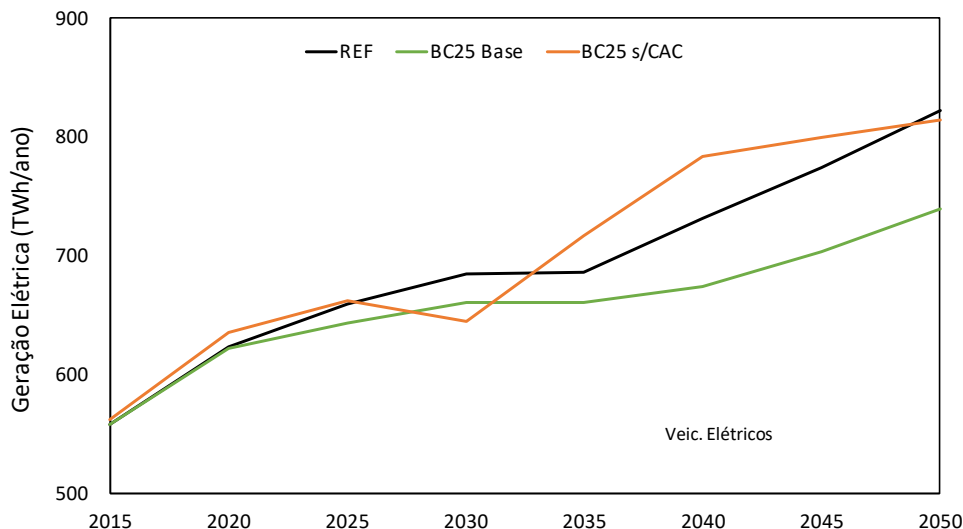


Figura 24 – Geração Elétrica nos Cenários REF, BC25 (base) e BC25 (s/CAC)

A Figura 25 apresenta as emissões de GEE comparativas entre os cenários de baixo carbono nas rodadas base e rodadas de sensibilidade (s/CAC e c/CAC). O menor patamar de emissões é atingido no cenário BC100, no qual as emissões são 59% inferiores ao cenário REF. Destaque-se que as emissões desse cenário não constam na figura porque são idênticas entre a rodada base e rodadas de sensibilidade.

A presença da CAC na análise de sensibilidade mostra que essa tecnologia não é muito relevante para um baixo custo de carbono, uma vez que seu custo elevado não permite que ele seja escolhido como medida de mitigação. No entanto, para altos custos de carbono, a entrada ou não de CAC tem maior impacto nas emissões do Brasil. No BC50, mesmo com a entrada da CAC, as emissões ainda são maiores que na rodada base. No BC100, a entrada da CAC determina que esse se torne o cenário com menor emissão.

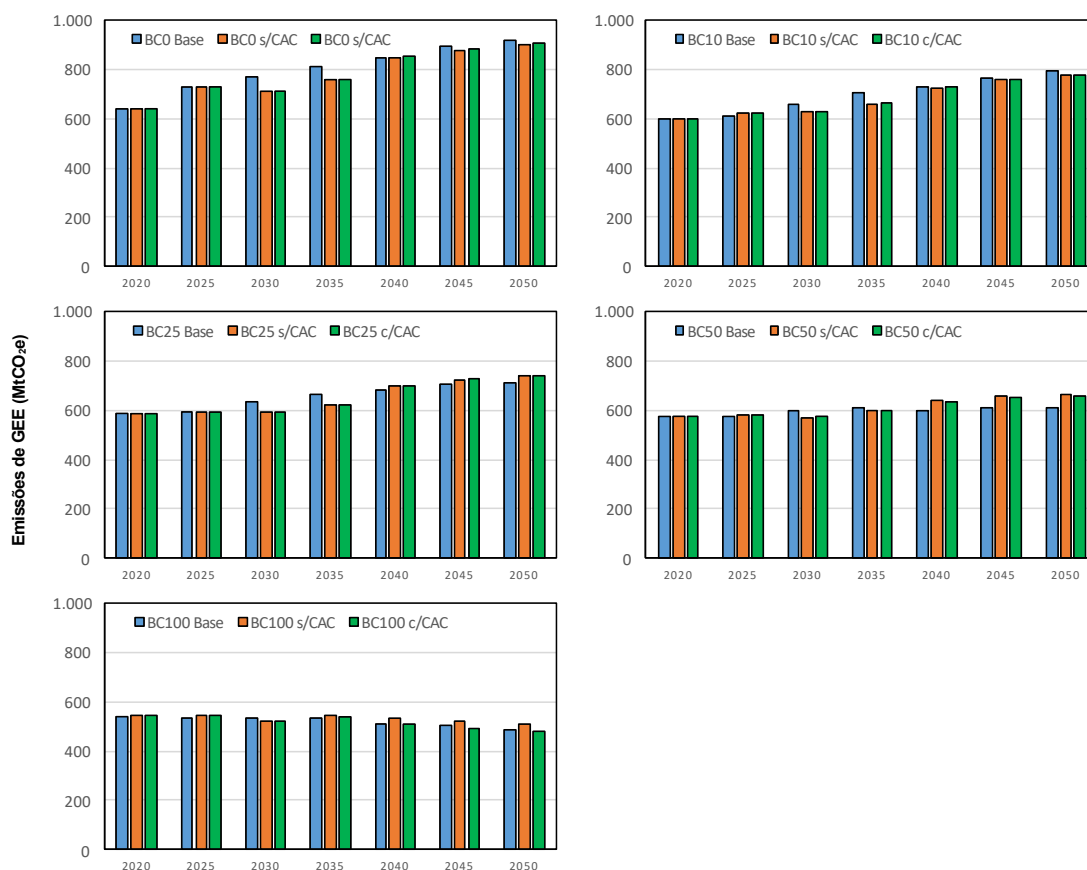


Figura 25 – Cenários de Emissões de GEE nas Rodadas Base, Sensibilidade s/CAC e c/CAC – 2020 a 2050

Quando se compara a mitigação acumulada durante todo o período de análise (Figura 26), percebe-se que, até um custo aproximado de 40 US\$/tCO<sub>2</sub>, as premissas consideradas na rodada de sensibilidade são capazes de ajudar na redução das emissões. Porém, a partir daí, essas premissas acabam por causar aumento de emissões, o que pode ser mais bem compreendido analisando-se as emissões setoriais.

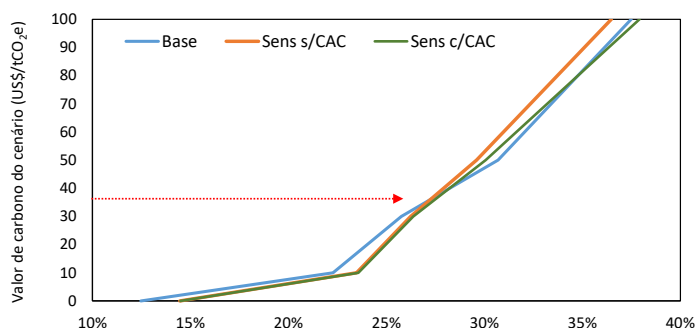


Figura 26 – Mitigação Acumulada até 2050, com Relação ao Cenário REF, por Faixas de Tributo de Carbono

A seguir, serão mostradas projeções das emissões setoriais para os setores de transporte, energético e elétrico, que são os setores impactados pelas premissas adotadas nesta rodada de sensibilidade. Novamente, os resultados focam os cenários de baixo carbono, visto que não há alterações entre as rodadas nas emissões do cenário REF.

As emissões do setor de transporte (Figura 27) têm reduções consideráveis, uma vez que há simultaneamente a eletrificação dos veículos leves e maior participação dos biocombustíveis nos combustíveis fósseis tanto no transporte de passageiros quanto no de carga. Adicionalmente, o setor ainda sofre o impacto de redução na demanda de pkm. Esses fatores levam à redução das emissões de GEE. A implementação do CAC, no entanto, não tem nenhum efeito nesse setor.

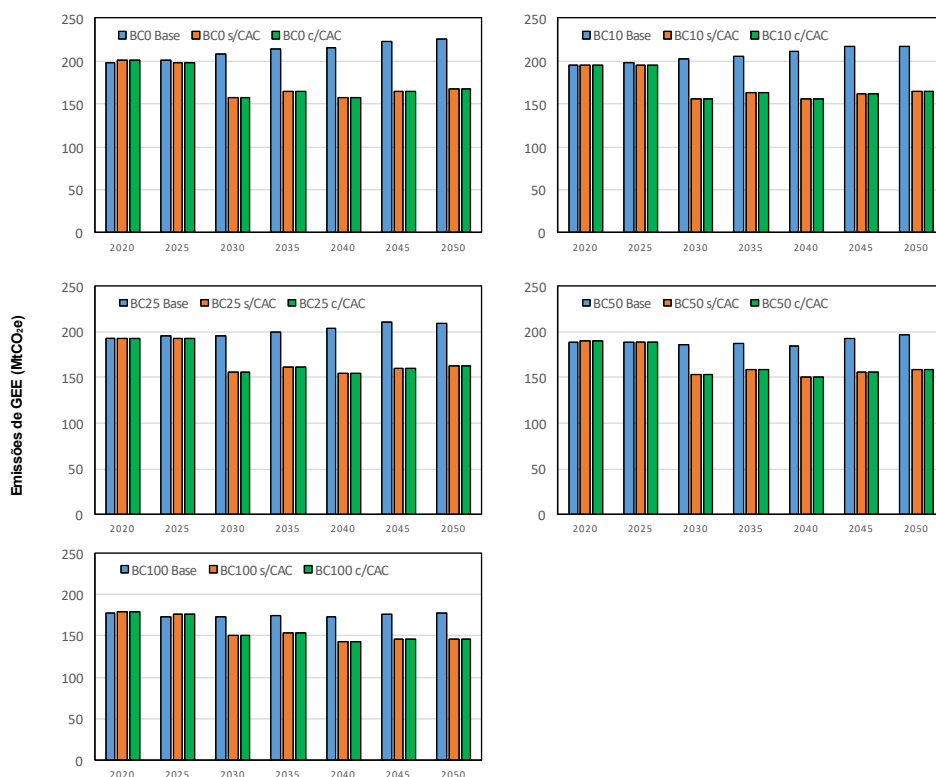


Figura 27 – Cenários de Emissões de GEE do Setor de Transportes nas Rodadas Base, Sensibilidade s/CAC e c/CAC – 2020 a 2050

Por outro lado, as emissões do setor de energia (incluindo o setor elétrico) aumentam drasticamente para todos os cenários de baixo carbono. A entrada de carros elétricos eleva a demanda por eletricidade, e, apesar da participação de 10% de energia solar na geração elétrica brasileira, faz-se necessário gerar eletricidade a partir de fontes fósseis. Esse efeito é parcialmente compensando pela disponibilidade de CAC (Figura 28). Ou seja, no cenário com captura de carbono, as emissões diminuem em relação aos cenários sem CAC, mas continuam maiores do que na rodada base.

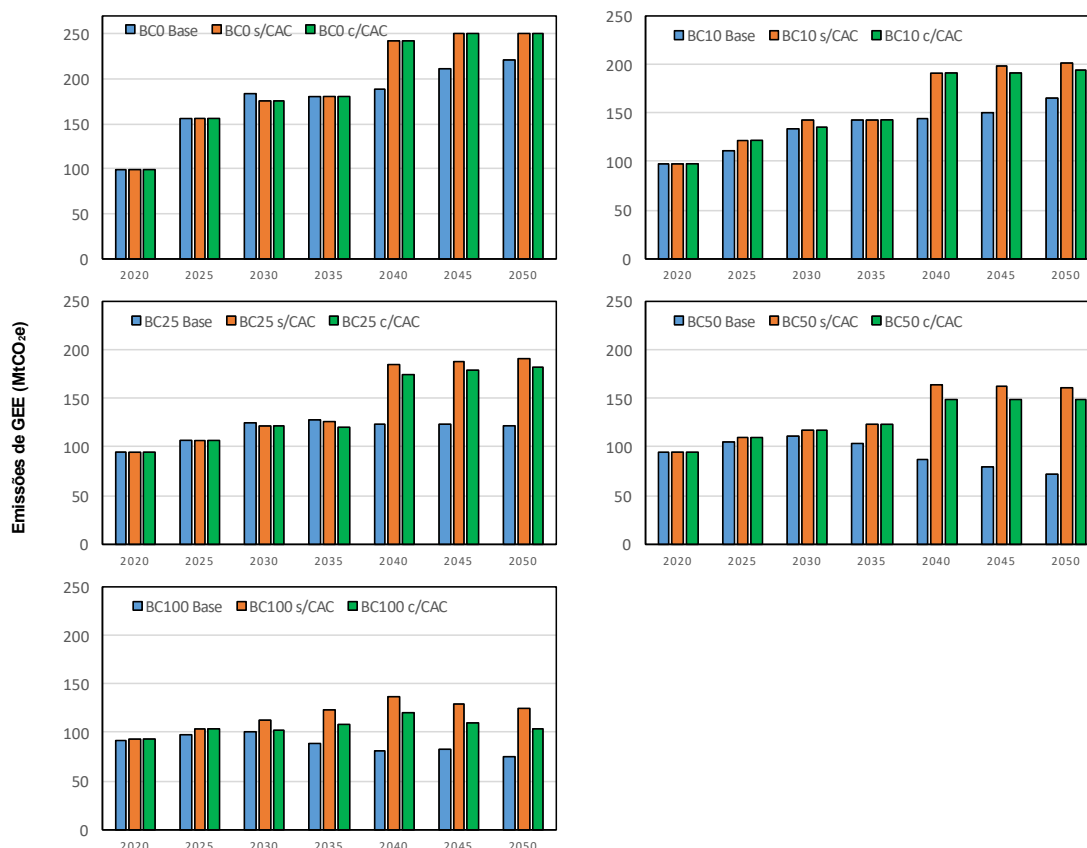


Figura 28 – Cenários de Emissões de GEE do Setor Energético e Elétrico nas Rodadas Base, Sensibilidade s/CAC e c/CAC – 2020 a 2050

Quando somadas as emissões dos setores de transportes e energia, percebe-se o efeito total das premissas adotadas (Figura 29). Para cenários com baixos valores de carbono (0 e 10 US\$/tCO<sub>2</sub>), a redução de emissões do setor de transportes compensa o aumento do setor de energia. Para altos valores de carbono, porém, as emissões de energia superam a redução do setor de transportes, o que demonstra que a opção de eletrificação no setor de transportes deve ser planejada com cautela.

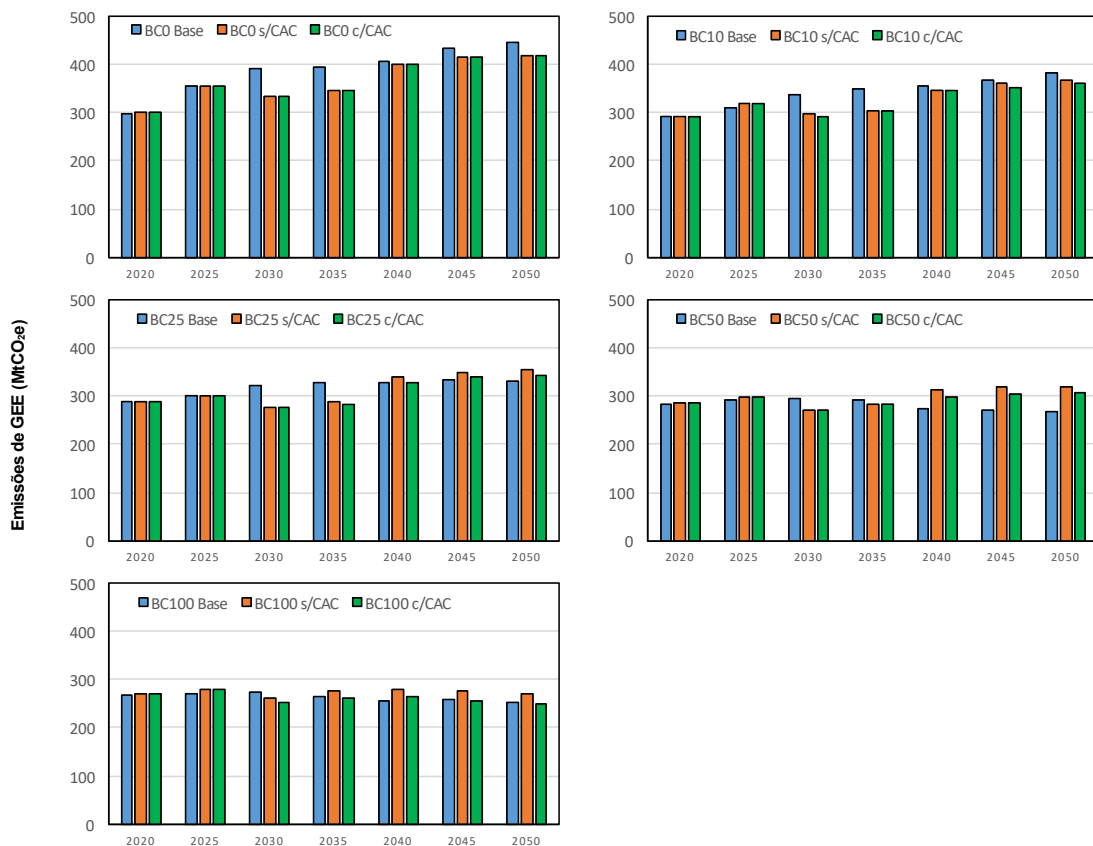


Figura 29 – Cenários de Emissões de GEE do Setor Energético, Elétrico e Transportes nas Rodadas Base, Sensibilidade s/CAC e c/CAC – 2020 a 2050

Por fim, podem ser verificados na Tabela 10 os potenciais de mitigação das medidas adicionais testadas no âmbito da rodada de sensibilidade.

A entrada de carros elétricos afeta completamente a estrutura de geração elétrica no setor energético. Primeiramente, a necessidade de produção de eletricidade em uma escala muito maior do que a verificada na rodada base. Segundo, a eletrificação dos transportes resulta em menor demanda de etanol, o que provoca menor disponibilidade de bagaço de cana-de-açúcar para a geração elétrica. Com isso, o sistema energético é colocado em uma situação em que é necessário gerar mais eletricidade, a partir de menor disponibilidade de bagaço, que é a segunda fonte renovável mais importante para a geração elétrica no longo prazo. Sendo assim, o setor energético necessita recorrer ao carvão para suprir a demanda elétrica, aumentando as suas emissões, principalmente no cenário sem a possibilidade de captura de carbono. A premissa de 10% de geração elétrica à base de energia solar alivia, mas não é capaz de balancear o aumento de emissões.

Dessa forma, por um lado, o setor de transportes apresenta boa redução de emissões devido à eletrificação dos veículos leves e à redução do consumo de combustíveis fósseis. Por outro lado, o setor energético, responsável pela geração de energia elétrica para todos os setores brasileiros, inclusive o setor de transportes, aumenta a geração térmica a carvão, elevando consideravelmente suas emissões. Por essas razões, as emissões na rodada de sensibilidade são maiores do que aquelas verificadas na rodada base para cenários com tributação de carbono a partir de 25 US\$/tCO<sub>2</sub>.

Tabela 10 – Principais Atividades Adicionais de Baixo Carbono do Sistema Energético, por Setor e Segmento, nos Cenários BCO, BC25 e BC50 da Rodada de Sensibilidade (2030 e 2050)

| Setor<br>(segmento)                                                                                       | Opções de mitigação                                                                    | Potencial de mitigação (MtCO <sub>2</sub> e) <sup>1</sup> |                 |              |                 |                 |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|
|                                                                                                           |                                                                                        | 2030                                                      |                 |              | 2050            |                 |              |
|                                                                                                           |                                                                                        | BCO                                                       | BC25            | BC100        | BCO             | BC25            | BC100        |
| Indústria (químico)                                                                                       | Captura de carbono na produção de amônia                                               | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 0,6          | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 0,6          |
| Indústria (cimento)                                                                                       | Captura de carbono por absorção química                                                | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 6,6          | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 6,6          |
| Indústria (siderurgia)                                                                                    | Captura de carbono em plantas integradas na <i>Top Gas Recycling Blast Furnace</i>     | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 6,0          | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 6,0          |
| Indústria (siderurgia)                                                                                    | Captura de carbono em plantas integradas na unidade de cogeração                       | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 6,0          | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 6,0          |
| Energia (E&P de óleo e gás)                                                                               | Captura de carbono na produção de gás por membranas com 45% de teor de CO <sub>2</sub> | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 12,0         | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 12,0         |
| Energia (refino)                                                                                          | Captura de carbono em unidades de geração de hidrogênio                                | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 4,0          | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 4,0          |
| Energia (refino)                                                                                          | Captura de carbono em unidades de craqueamento catalítico                              | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 5,0          | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 50,0         |
| Energia (biocombustíveis)                                                                                 | Captura de carbono em destilarias a etanol do processo de fermentação                  | NA <sup>3</sup>                                           | 2,0             | 2,0          | NA <sup>3</sup> | 2,0             | 2,0          |
| Energia (elétrico)                                                                                        | Captura de carbono em termelétrica operando com carvão nacional                        | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 8,0          | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 80,0         |
| Energia (elétrico)                                                                                        | Captura de carbono em termelétrica operando com carvão importado                       | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 7,3          | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 7,3          |
| Energia (elétrico)                                                                                        | Captura de carbono por pós-combustão em termelétricas a gás natural                    | NA <sup>3</sup>                                           | NA <sup>3</sup> | 5,4          | NA <sup>3</sup> | NA <sup>3</sup> | 5,4          |
| Energia (elétrico)                                                                                        | Produção de eletricidade a partir de painéis fotovoltaicos centralizados               | 5,4                                                       | 6,8             | 7,4          | 8,9             | 10,4            | 13,3         |
| Energia (elétrico)                                                                                        | Produção de eletricidade a partir da energia heliotérmica                              | 11,2                                                      | 13,4            | 15,6         | 19,6            | 21,4            | 23,2         |
| Energia (elétrico)                                                                                        | Redução da mineração de carvão <sup>2</sup>                                            | 2,2                                                       | 8,2             | 9,4          | 8,9             | 11,4            | 17,5         |
| Transportes (rodoviário)                                                                                  | Aumento da mistura de biodiesel ao diesel para 20%                                     | 1,9                                                       | 1,9             | 1,9          | 4,4             | 4,4             | 4,4          |
| Transportes (aéreo)                                                                                       | Adição de 10% de bioquerosene no QAV                                                   | 0,2                                                       | 0,5             | 1,1          | 0,5             | 0,9             | 1,8          |
| Transportes (aquaviário)                                                                                  | Adição de 10% de biodiesel no <i>bunker</i> marítimo                                   | 0,4                                                       | 0,4             | 0,4          | 1,8             | 1,8             | 1,8          |
| Transportes (todos)                                                                                       | Redução de 7% na demanda de pkm transportado                                           | 2,0                                                       | 3,3             | 5,5          | 4,4             | 6,0             | 9,2          |
| Transportes (rodoviário)                                                                                  | Implementação de automóveis elétricos a bateria                                        | 5,0                                                       | 5,0             | 5,0          | 5,4             | 5,4             | 5,4          |
| Transportes (rodoviário)                                                                                  | Implementação de automóveis híbridos e híbridos <i>plug-in</i>                         | 13,1                                                      | 13,1            | 13,1         | 13,9            | 13,9            | 13,9         |
| Atividades de baixo carbono adicionais listadas na Tabela 6                                               |                                                                                        | 90,3                                                      | 141,7           | 168,3        | 160,1           | 223,1           | 298,2        |
| Outras atividades de baixo carbono <sup>4</sup> e reduções/aumento de emissões indiretos <sup>5,6,7</sup> |                                                                                        | 27,3                                                      | 87,6            | 67,7         | 33,7            | 122,8           | 116,0        |
| <b>Total</b>                                                                                              |                                                                                        | <b>159,0</b>                                              | <b>278,9</b>    | <b>351,0</b> | <b>261,6</b>    | <b>423,5</b>    | <b>684,6</b> |

<sup>1</sup> O potencial e as opções de mitigação referem-se aos cenários BCO, BC25 e BC100 para os anos de 2030 e 2050, respectivamente. São discriminadas apenas as atividades adicionais avaliadas na rodada de sensibilidade.

<sup>2</sup> Considera o efeito da queda na demanda em face das medidas de eficiência energética e aumento no consumo em virtude da eletrificação no setor de transportes

<sup>3</sup> Medidas não selecionadas perante o valor de carbono implícito na função objetivo do modelo MSB8000.

<sup>4</sup> Considera medidas com potencial de mitigação menor que 0,1 MtCO<sub>2</sub>e.

<sup>5</sup> Considera redução de emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> relativas à queda no efeito atividade em plataformas de petróleo e transporte e distribuição de gás natural no cenário BCO.

<sup>6</sup> Considera a diminuição de emissões de processos industriais e em plataformas de petróleo e distribuição de gás natural decorrentes da queda no efeito atividade.

<sup>7</sup> Abrange efeito líquido nas emissões do setor elétrico decorrentes da eletrificação dos transportes.

## 2.2.2 SETOR DE AFOLU

A análise de sensibilidade, no setor de Afolu é determinada pelas medidas testadas junto ao sistema energético. Particularmente, são impactadas a produção e a área agrícola em função do mandato de biodiesel e da queda na demanda de etanol derivada da eletrificação dos transportes, assim como áreas alocadas para florestas comerciais, tendo em vista a eliminação do consumo de lenha proveniente de florestas nativas em 2050.

A partir dessas premissas, foram projetadas as emissões de GEE nos cenários REF e BC (Figura 30). Inicialmente, deve-se destacar que permanecem inalteradas as emissões do cenário REF. E, nos cenários de baixo carbono, verificam-se duas tendências: no período até 2045, observa-se diminuição média nas emissões com relação à rodada base de 2,2% e, em 2050, há aumento de 1,8%.

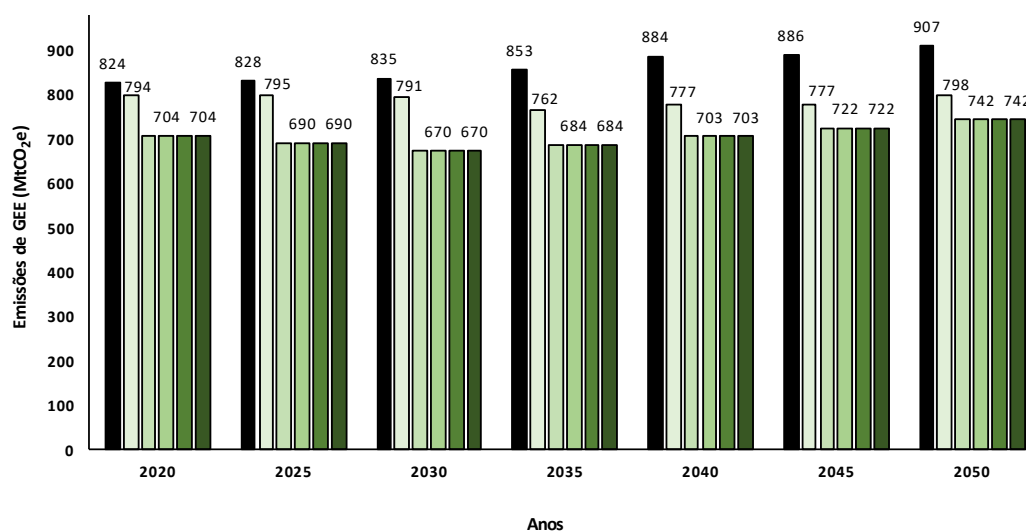


Figura 30 – Cenários de Emissões de GEE para o Setor de Afolu no Período – Rodada de Sensibilidade

Observando-se as emissões desagregadas, é possível entender esse comportamento das emissões (Tabela 11 e Tabela 12). As emissões da agricultura são semelhantes, o que decorre da diminuição da demanda de fertilizantes para cana, que é compensada pelo aumento da demanda desse insumo para as florestas plantadas. Exceção é o período de 2040-2050, quando ocorre maior queda na demanda de etanol em virtude da eletrificação dos transportes.

No caso das emissões da pecuária, praticamente, não ocorre alteração entre os resultados da rodada de sensibilidade e rodada base.

Quando analisadas as emissões provenientes da mudança no uso do solo, percebem-se emissões menores até 2035 e reversão desse padrão de 2036 a 2050, com emissões maiores nesse último período. Esse comportamento reflete a condição de expansão de florestas plantadas de 2012 até 2035 e quase uma condição de estabilização de 2035 a 2050. Dessa forma, há remoção maior de carbono em um primeiro momento e, assim, emissões líquidas, em média, 10% menores, depois, queda desse sequestro e emissões líquidas, em média, 18% maiores.

Finalmente, dado que a rodada de sensibilidade para o setor de Afolu é reflexo de medidas implementadas no sistema energético, não se altera qualitativamente o quadro das principais atividades de baixo carbono do setor (Tabela 9).



**Tabela 11 – Cenários de Emissões do Setor de Afolu, por Subsetores e Fontes Emissoras em 2020, 2030, 2040 e 2050 – Rodada de Sensibilidade**

| Setor/Fonte emissora                              | Emissões de GEE (MtCO <sub>2</sub> e) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                   | 2020                                  |       |       | 2030  |       |       | 2040  |       |       | 2050  |       |       |
|                                                   | REF                                   | BC0   | BC25  | REF   | BC0   | BC25  | REF   | BC0   | BC25  | REF   | BC0   | BC25  |
| 1. Mudanças de uso do solo                        | 339,8                                 | 308,6 | 249,3 | 298,0 | 253,8 | 173,0 | 286,2 | 266,9 | 193,0 | 252,8 | 233,0 | 178,0 |
| 2. Agropecuária (2a+2b+2c+2d+2e)                  | 484,6                                 | 485,4 | 454,7 | 536,2 | 537,2 | 497,0 | 599,2 | 510,1 | 510,0 | 653,7 | 565,0 | 564,0 |
| 2a. Fermentação entérica                          | 296,8                                 | 296,8 | 269,9 | 319,4 | 319,4 | 283,0 | 349,7 | 291,7 | 291,7 | 376,1 | 295,6 | 296,0 |
| 2b. Manejo de dejetos animais                     | 21,9                                  | 21,9  | 21,2  | 24,5  | 24,5  | 23,0  | 27,1  | 22,6  | 22,6  | 29,3  | 22,8  | 23,0  |
| 2c. Arroz                                         | 12,7                                  | 12,7  | 12,7  | 11,2  | 11,2  | 11,0  | 10,4  | 10,4  | 10,4  | 10,2  | 10,2  | 10,0  |
| 2d. Queima de resíduos                            | 4,9                                   | 4,9   | 5,9   | 3,3   | 4,0   | 3,0   | 1,9   | 2,3   | 2,3   | -     | -     | -     |
| 2e. Solos agrícolas (2e1+2e2+2e3+2e4+2e5)         | 148,4                                 | 149,2 | 145,1 | 177,8 | 178,2 | 177,0 | 210,1 | 183,7 | 183,7 | 238,1 | 236,6 | 235,0 |
| 2e1. Fertilizantes sintéticos                     | 34,7                                  | 34,7  | 36,5  | 48,7  | 50,6  | 56,0  | 63,5  | 53,2  | 53,2  | 75,4  | 95    | 93,0  |
| 2e2. Resíduos agrícolas                           | 14,4                                  | 15,0  | 15,0  | 17,4  | 18,2  | 19,0  | 20    | 20,9  | 20,9  | 21,8  | 22,7  | 23,0  |
| 2e3. Vinhaça                                      | 1,2                                   | 1,5   | 1,5   | 1,4   | 1,6   | 1,0   | 1,8   | 1,2   | 1,2   | 1,9   | 2,3   | 2,0   |
| 2e4 Animais em pastagem e adubo                   | 94,1                                  | 94,1  | 88,1  | 105,9 | 96,2  | 96,0  | 119,7 | 103,4 | 103,4 | 133,4 | 111,1 | 111,0 |
| 2e5. Manejo de dejetos animais (N <sub>2</sub> O) | 4,0                                   | 3,9   | 3,9   | 4,5   | 4,4   | 4,0   | 5,1   | 5,0   | 5,0   | 5,7   | 5,5   | 6,0   |
| Total (1+2)                                       | 824,4                                 | 794,0 | 704,0 | 834,6 | 791,0 | 670,0 | 884,4 | 777,0 | 703,0 | 906,5 | 798,0 | 742,0 |

**Tabela 12 – Variação Absoluta nas Emissões do Setor de Afolu, por Subsetores e Fontes Emissoras, entre a Rodada de Sensibilidade e Rodada Base**

| Setor/Fonte emissora                              | Mitigação de Emissões de GEE (MtCO <sub>2</sub> e) |      |       |       |       |       |      |       |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
|                                                   | 2020                                               |      | 2030  |       | 2040  |       | 2050 |       |
|                                                   | BC0                                                | BC25 | BC0   | BC25  | BC0   | BC25  | BC0  | BC25  |
| 1. Mudanças de uso do solo                        | -2,6                                               | -2,8 | -16,0 | -15,9 | 9,3*  | 10,0* | 8,8* | 20,1* |
| 2. Agropecuária (2a+2b+2c+2d+2e)                  | -                                                  | -    | -2,3  | -2,5  | -26,5 | -26,6 | -0,1 | -1,1  |
| 2a. Fermentação entérica                          | -                                                  | -    | -     | -0,3  | -     | -     | -    | 0,4   |
| 2b. Manejo de dejetos animais                     | -                                                  | -    | -     | 0,1*  | -     | -     | -    | 0,2   |
| 2c. Arroz                                         | -                                                  | -    | -     | -0,2  | -     | -     | -    | -0,2  |
| 2d. Queima de resíduos                            | -                                                  | -    | -     | -1,0  | -     | -     | -    | -     |
| 2e. Solos agrícolas (2e1+2e2+2e3+2e4+2e5)         | -                                                  | -    | -2,3  | -1,1  | -26,0 | -26,0 | -    | -1,6  |
| 2e1. Fertilizantes sintéticos                     | -                                                  | -    | -     | -1,7  | -25,1 | -25,1 | -    | -2,0  |
| 2e2. Resíduos agrícolas                           | -                                                  | -    | -     | 0,8*  | -     | -     | -    | 0,3*  |
| 2e3. Vinhaça                                      | -                                                  | -    | -     | -0,6  | -1,0  | -1,0  | -    | -0,3  |
| 2e4 Animais em pastagem e adubo                   | -                                                  | -    | -     | -0,2  | -     | -     | -    | -0,1  |
| 2e5. Manejo de dejetos animais (N <sub>2</sub> O) | -                                                  | -    | -     | -0,4  | -     | -     | -    | 0,5*  |

\* Nesse cenário, o subsetor apresenta aumento de emissão.





# Impactos econômicos e sociais da implementação dos cenários de baixo carbono

Capítulo

**3**

### 3 IMPACTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA IMPLEMENTAÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO

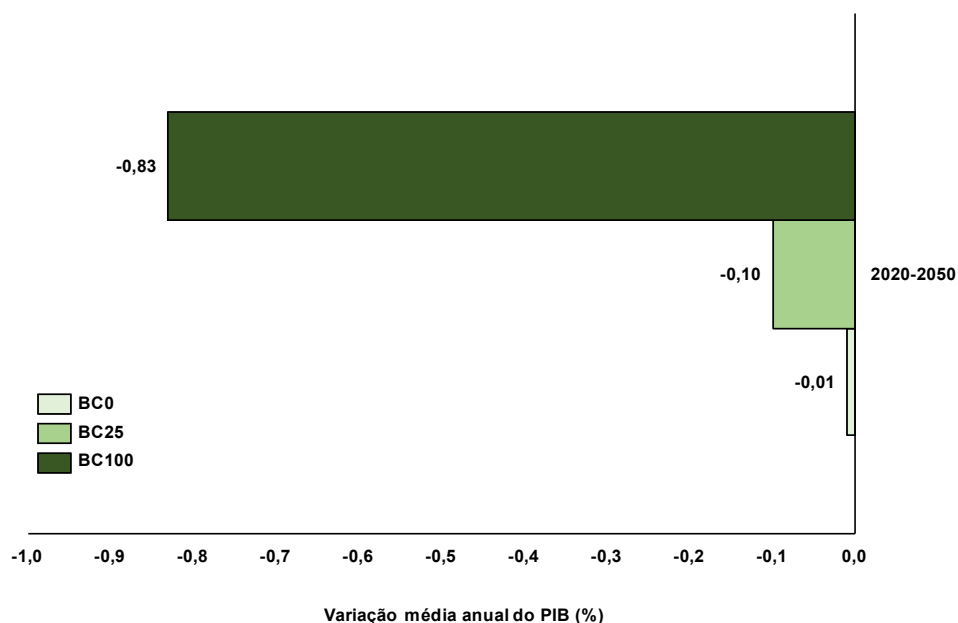
Uma vez identificadas as ações de baixo carbono mais custo-efetivas a serem priorizadas setorialmente, devem-se mensurar os impactos econômicos e sociais, tendo em vista a relevância para o estabelecimento do papel que cada setor poderia assumir na implementação dos cenários BC0, BC25 e BC100 no período de 2020 a 2050.

Serão avaliados os impactos sobre o PIB em nível agregado e segundo os setores mais e menos impactados. Além disso, serão mensurados efeitos decorrentes da implementação dos referidos cenários de baixo carbono em termos dos seguintes indicadores de emprego e renda: pessoal ocupado, PIB *per capita*, produto por trabalhador e salário médio. Esses resultados compreenderão a rodada base e a rodada de sensibilidade.

Três possibilidades de reciclagem do tributo de carbono de 25 e 100 US\$/tCO<sub>2</sub> serão analisadas, conforme discutido no capítulo 1: i) sem reciclagem da receita do tributo; ii) com reciclagem da receita para o governo; iii) com reciclagem da receita para famílias. Essa hipótese não se aplica com valor de carbono nulo (BC0), pois este compreende medidas que são viáveis economicamente sem a internalização de um tributo de carbono. Embora represente o cenário de menor esforço para implementação, existem barreiras que necessitam ser removidas por meio de instrumentos de política pública, aspecto que será analisado no próximo capítulo deste estudo.

#### 3.1 RODADA BASE

A projeção de crescimento médio do PIB no cenário REF, entre 2020 e 2050, é de 1,86% ao ano. A implementação dos cenários BC0 e BC25 pouco impactaria o crescimento do PIB (Figura 31). De fato, o cenário BC0 praticamente não afetaria as projeções no período, e a adoção do cenário BC25 levaria a uma redução média anual do PIB igual 0,1%. Por outro lado, a tributação 100 US\$/tCO<sub>2</sub>, que fomentaria a adoção do cenário BC100, reduziria o crescimento do PIB anual em cerca de 55%. Entretanto, trata-se de uma situação de improvável ocorrência, pois considera que toda receita obtida seria absorvida pelo orçamento do setor público.



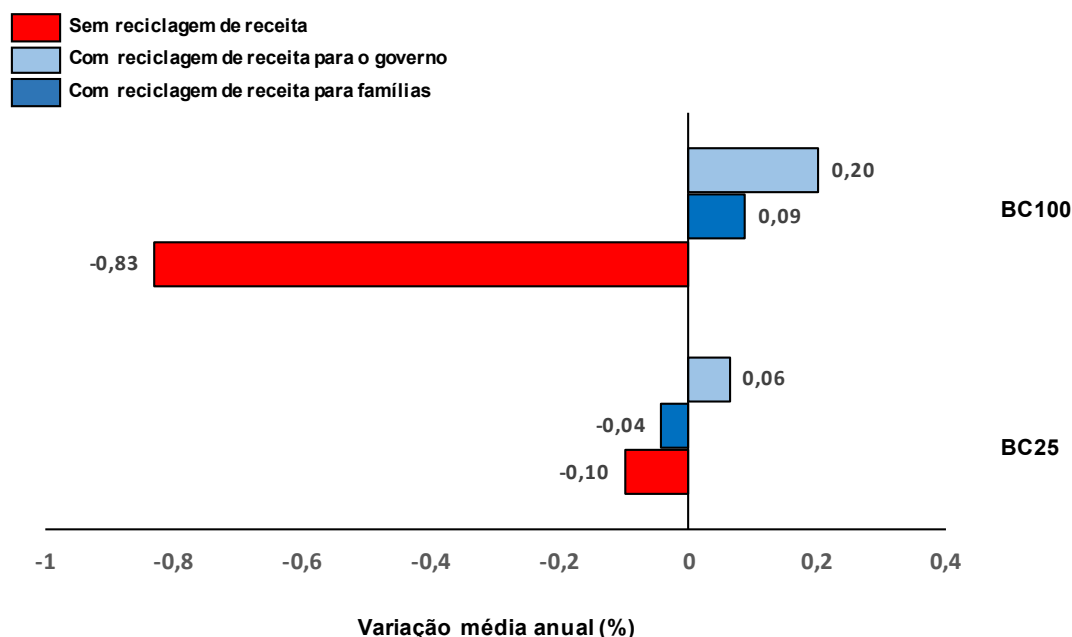
**Figura 31 – Impacto sobre o Crescimento do PIB, na Adoção dos Cenários BC0, BC25 e BC100 até 2050**

Nota: Os valores foram obtidos a partir dos desvios médios anuais no período de 2020 a 2050, decorrentes da implementação dos cenários BC0, BC25 e BC100 com relação ao cenário REF de projeções do PIB.

Portanto, uma redução de 31% em 2050 nas emissões do cenário BC25 em relação ao cenário REF não geraria pressões significativas sobre as taxas de crescimento da economia. Ainda assim, nos cenários BC25 e BC100, foram testados dois mecanismos de precificação de carbono com reciclagem de receitas, com vistas a avaliar os efeitos sobre a variação anual do PIB: com devolução da receita para as famílias, por meio de redução do imposto indireto sobre consumo de bens, e com devolução da receita para o consumo do governo.

Os mecanismos testados pressupõem alguma forma de redistribuição das receitas obtidas com o tributo cobrado sobre o carbono (GOULDER, 1995; BARANZANI et al., 2000). Nessa alternativa, existem várias opções de reciclagem da receita, tanto de redução de impostos (diminuição de impostos sobre a folha de pagamentos, sobre o imposto de renda, sobre bens finais, desoneração de tributos sobre empresas, redução de impostos sobre propriedade etc.) quanto de compensação aos mais afetados pelo tributo – redistribuição para a população, subsídios para introduzir tecnologias mais limpas nos setores poluidores mais afetados, entre outras (MAGALHÃES; DOMINGUES, 2014). Nesta análise, foram testadas as opções de reciclagem para as famílias e para o governo.

Os resultados expostos na Figura 31, relativos aos cenários BC25 e BC100, pressupõem uma receita que é absorvida pelo orçamento do setor público, logo sem retorno ou reciclagem para famílias ou consumo do governo. Trata-se de uma situação extrema em termos do efeito negativo sobre o PIB na medida em que desconsidera medidas de compensação sobre os setores mais afetados pela precificação de carbono. Os resultados expostos na Figura 32 mostram que a reciclagem para consumo do governo nos cenários BC25 e BC100 e para famílias no cenário BC100 tende a contrabalançar o efeito negativo do tributo. A reciclagem para o governo seria preferencial na medida em que o efeito positivo sobre o PIB seria um desvio médio anual de 0,06% a 0,20% ao ano entre 2020 e 2050, nos cenários BC25 e BC100, respectivamente.



**Figura 32 – Impacto sobre o Crescimento do PIB na Adoção dos Cenários BC25 e BC100, até 2050, sem e com Reciclagem da Receita da Tributação de Carbono**

Nota: Os valores foram obtidos a partir dos desvios médios anuais no período de 2020 a 2050, decorrentes da implementação dos cenários BC25 e BC100 com relação ao cenário REF de projeções do PIB.

Em nível agregado, a reciclagem para o consumo do governo mostrou-se mais eficaz para eliminar o efeito negativo do tributo de carbono. Além disso, a expansão de serviços públicos (saúde, educação e administração pública) tem impacto positivo importante do lado da oferta de bens públicos e das externalidades positivas geradas na economia. Finalmente, parte do efeito positivo no setor de administração pública pode ser utilizada para financiar a própria política de controle de emissões.

Setorialmente, todavia, os efeitos observados são heterogêneos. Os setores mais impactados, em termos da redução das taxas de crescimento do PIB anual, são intensivos em emissões, como é o caso dos setores químico e de refino de petróleo. Por outro lado, a adoção das medidas custo-efetivas de eficiência energética no setor de petróleo e gás natural traria relevante ganho econômico.

Considerando que a principal empresa produtora de óleo e gás no Brasil é integrada e detém o monopólio do refino de petróleo no país, compreende-se que a perda de valor adicionado da atividade de refino seria absorvida em virtude do benefício auferido no segmento de extração e produção (E&P). O ganho na atividade de E&P deriva da receita adicional decorrente da venda do gás natural que deixa de ser utilizado no autoconsumo e queimado em *flare* por meio da instalação de unidades de recuperação de vapor em tanques de armazenamento e de piloto de ignição em plataformas de petróleo, respectivamente.

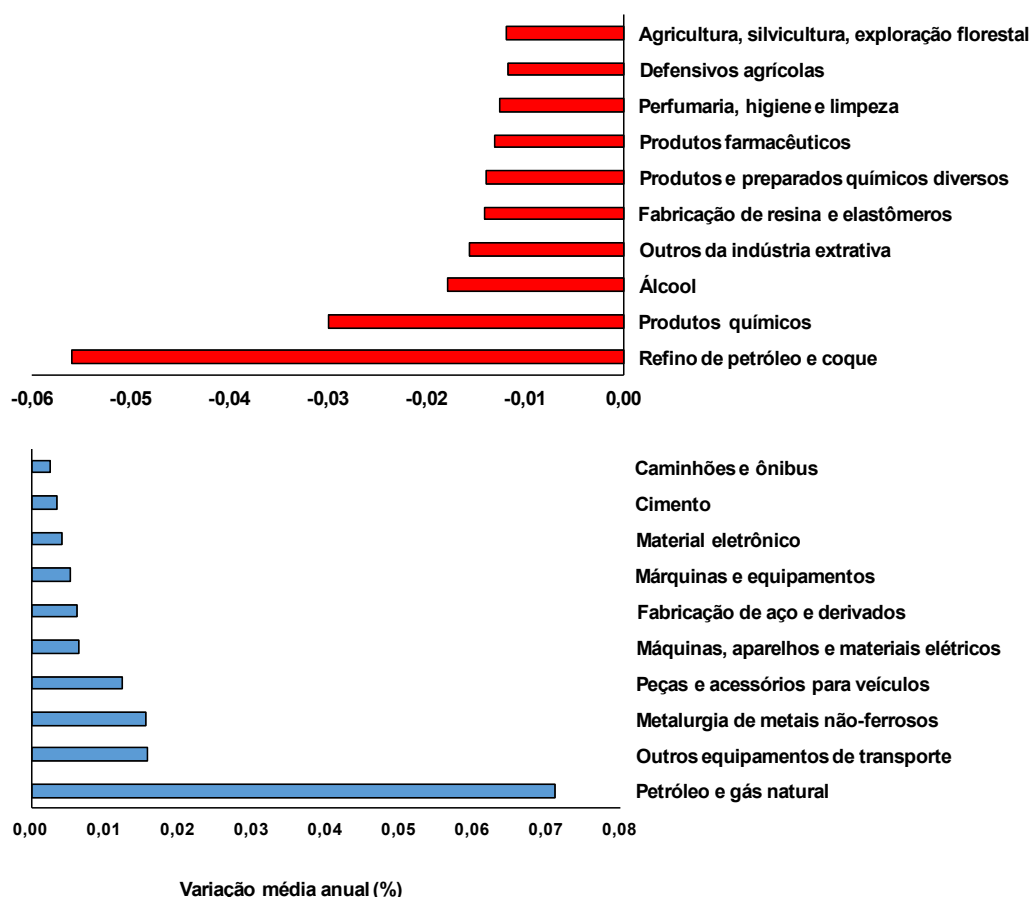
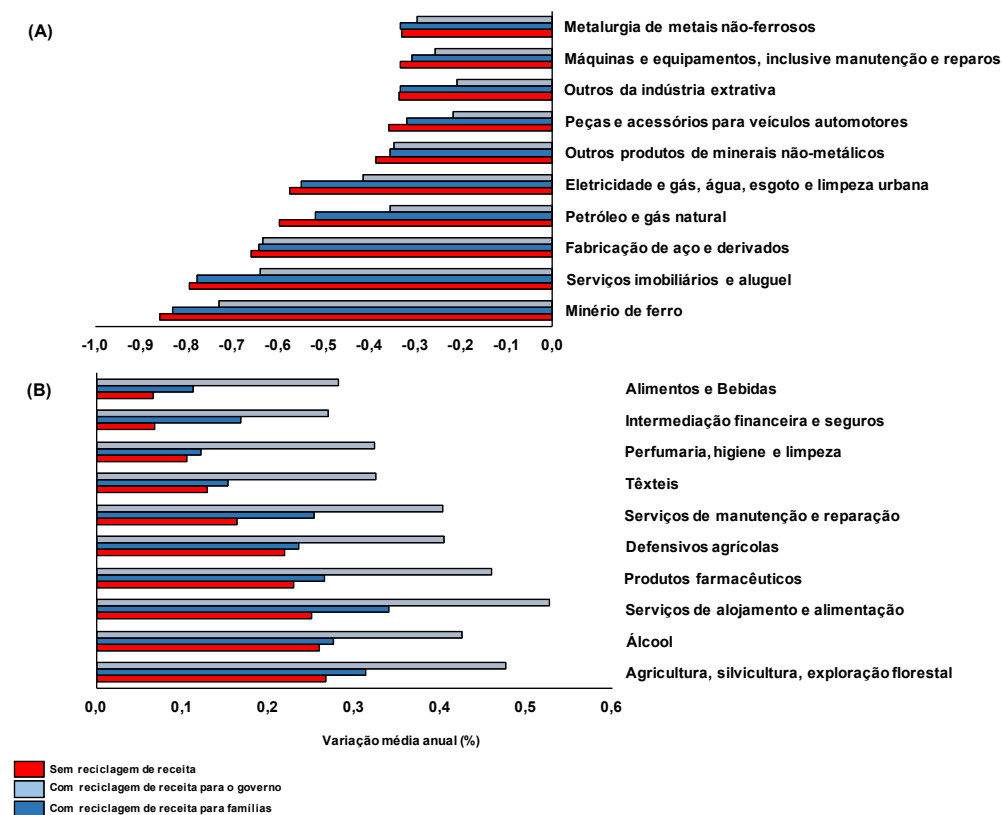


Figura 33 – Impacto Setorial sobre o Crescimento do PIB na Adoção do Cenário BC0 até 2050

A implementação do cenário BC25 afetaria significativamente o crescimento do PIB da cadeia siderúrgica e dos setores elétrico e de petróleo e gás natural (Figura 34). Por outro lado, o setor agrícola e a cadeia sucroalcooleira seriam positivamente impactados. Os efeitos negativos sobre os setores de mineração e siderurgia decorrem, principalmente, do efeito da internalização de um valor de carbono sobre os custos de produção, em particular, devido à carbono-intensidade dos insumos. Mais que isso, em face do encadeamento desse setor com a construção civil, observa-se impacto de queda no PIB da construção civil, o que repercutiria sobre os custos relativos dos serviços imobiliários e de aluguel.

A principal diferença nos resultados das simulações com reciclagem deve ser atribuída aos efeitos induzidos. Mesmo setores com baixa emissão são negativamente afetados pela queda da atividade econômica e do consumo das famílias, bem como pela transmissão do sobrecusto associado ao preço de carbono de 25 US\$/tCO<sub>2</sub>e. Com a reciclagem da receita para famílias, o consumo tem um choque positivo, elevando a demanda por produtos e amenizando o efeito negativo do custo de carbono.

A reciclagem do tributo de carbono constitui instrumento ineficaz de proteção da competitividade dos setores negativamente afetados. Logo, a implementação de metas de redução de emissões nesses setores deve ser cuidadosamente analisada, sendo necessariamente conjugada com instrumentos econômicos, como disponibilização de crédito e incentivos fiscais de baixo carbono. E, no caso dos setores positivamente impactados, a reciclagem do tributo para o consumo do governo deve ser priorizada.



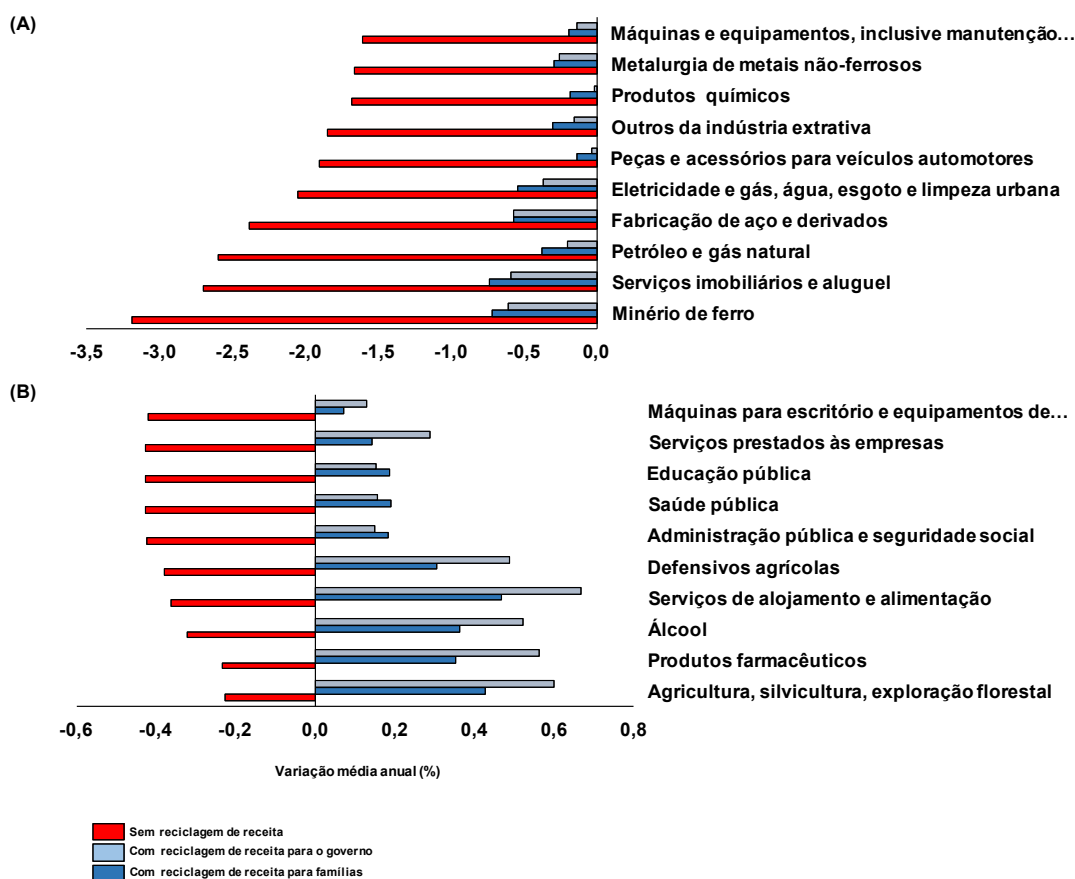
**Figura 34 – Impacto Setorial sobre o Crescimento do PIB na Adoção do Cenário BC25 até 2050**

(A) Principais setores impactados negativamente no cenário BC25, com e sem reciclagem de receita obtida com o tributo de carbono.  
 (B) Principais setores impactados positivamente no cenário BC25, com e sem reciclagem de receita obtida com o tributo de carbono.

A implementação do cenário BC100 deve ser uma estratégia de longo prazo para redução das emissões. Os impactos sobre setores das cadeias de mineração, siderurgia e setor elétrico reduziram fortemente a sua competitividade. Mais que isso, tendo em vista o poder de encadeamento desses setores na economia, também seriam negativamente impactados setores demandantes de insumos.

Embora o efeito da implementação dos mecanismos de reciclagem seja positivo em nível agregado do PIB (Figura 32), setorialmente, apenas amenizam o impacto da tributação de carbono sobre os setores mais negativamente afetados. Apenas com a reciclagem para o consumo das famílias ou governo é que os setores menos afetados teriam impactos econômicos positivos (Figura 35).





**Figura 35 – Impacto Setorial sobre o Crescimento do PIB na Adoção do Cenário BC100 até 2050**

(A) Principais setores impactados negativamente no cenário BC100, com e sem reciclagem de receita obtida com o tributo de carbono.  
 (B) Principais setores impactados positivamente no cenário BC100, com e sem reciclagem de receita obtida com o tributo de carbono.

Os resultados sugerem uma possível taxonomia de efeitos setoriais da tributação de carbono inspirada na literatura de modelos insumo-produto: efeitos diretos, indiretos e induzidos (MILLER; BLAIR, 2009). Os efeitos diretos de impacto estão ligados às emissões dos setores, que implicam custos de produção diretamente proporcionais aos valores de carbono e inversamente proporcionais à atividade econômica. Setores afetados diretamente pelo custo de carbono geram efeitos indiretos na sua cadeia produtiva: seu produto (insumo de outros setores) tem preço mais elevado, e também o setor pode demandar menos insumos devido à sua redução de atividade. Os efeitos induzidos pela queda da atividade econômica, como a redução do consumo das famílias, podem impactar negativamente setores associados ao consumo final, que não emitem GEE e, portanto, não são afetados diretamente pelo tributo de carbono. Quanto maior a faixa de carbono, maior o impacto sobre o PIB, a renda e o consumo doméstico, ampliando esse efeito induzido negativo. Os choques de mudança técnica podem impactar negativamente o setor que produz insumos que passam a ser utilizados com menor intensidade na economia, como no caso da eficiência energética.

A seguir, são mensurados os impactos sobre os indicadores de emprego e renda decorrentes da adoção dos cenários BC0, BC25 e BC100 até 2050, comparativamente ao cenário REF.

Quanto ao cenário BC0, constata-se que os indicadores permanecem praticamente inalterados (Figura 36). Pode-se concluir, conjuntamente com os impactos sobre o PIB (Figura 31), que a adoção das medidas do tipo *no regret* não encontram obstáculo econômico para a sua adoção. Exceção, conforme será discutido no próximo capítulo, é a necessidade de crédito para implementação de medidas capital-intensivas, como é o caso da adoção de secadores do tipo Condebelt no setor de papel e celulose e aplicação da rota de *gas-to-liquids* em plataformas de E&P de óleo e gás.

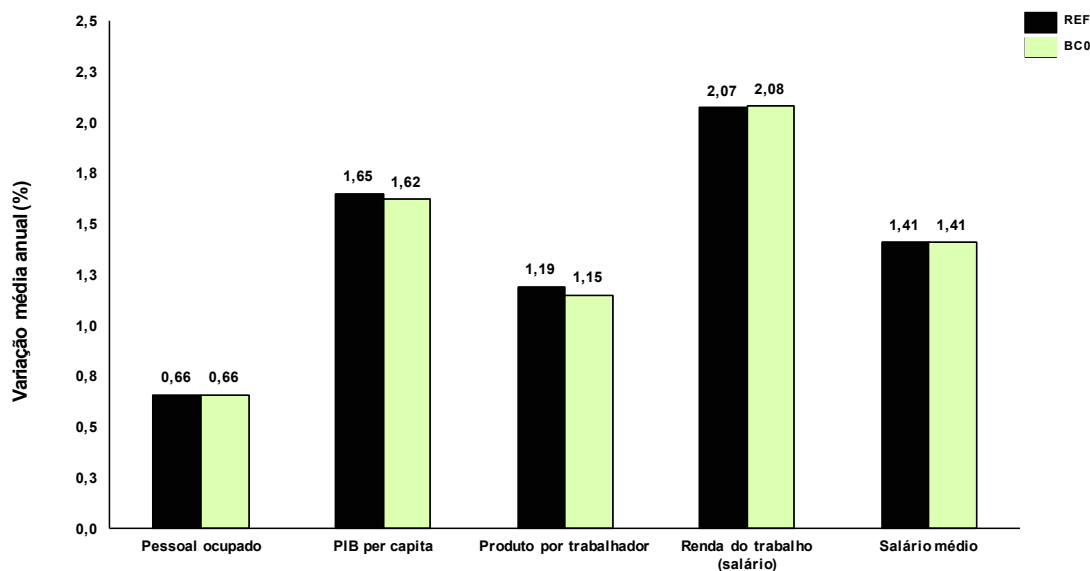


Figura 36 – Variação Média Anual de Indicadores de Emprego e Renda até 2050

REF = Cenário de referência.

BCx = Cenário de baixo carbono, no qual x se refere à faixa de valor de carbono abrangida pelo cenário (0 US\$/tCO<sub>2</sub>).

Em seguida, foram testados os efeitos da tributação de carbono de 25 e 100 US\$/tCO<sub>2</sub>, com reciclagem para o governo e para famílias, comparativamente à ausência de reciclagem da receita e cenário REF (Figura 37). A reciclagem para o governo se revela preferencial sob o ponto de vista da manutenção dos níveis de pessoal ocupado, PIB *per capita* e produto por trabalhador. Por outro lado, a reciclagem do tributo para o consumo das famílias é preferencial para manutenção da renda do trabalho e salário médio.

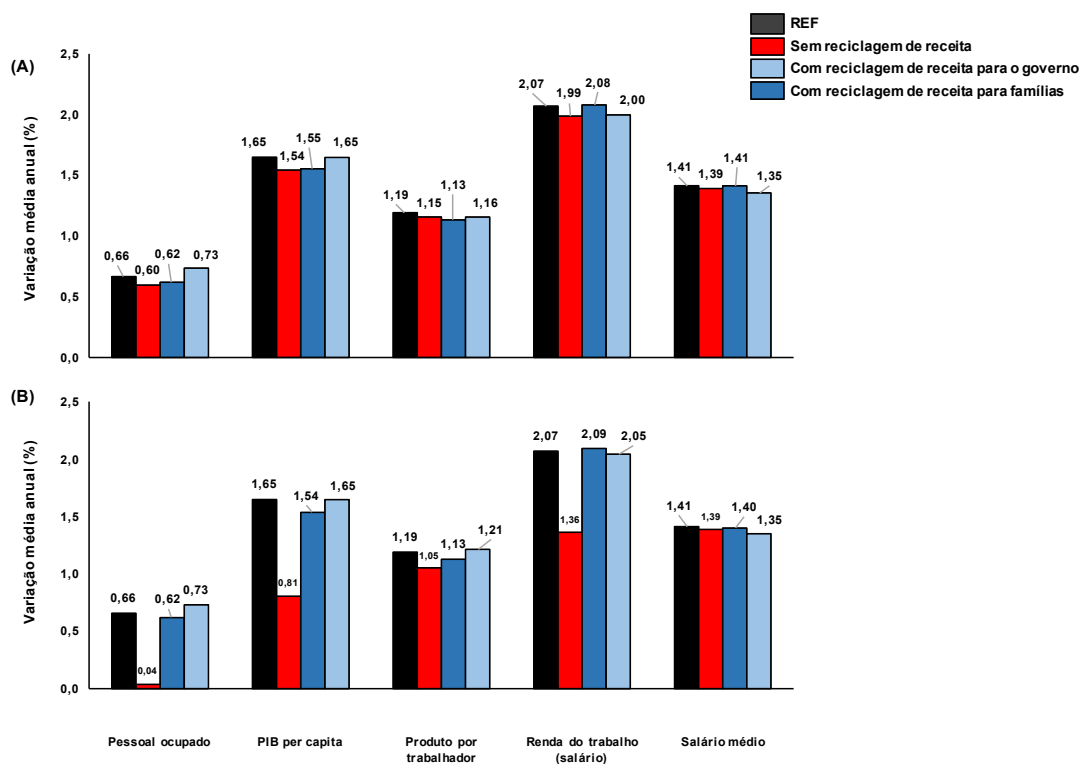


Figura 37 – Variação Média Anual de Indicadores de Emprego e Renda até 2050, nos Cenários REF, BC25 e BC100, sem e com Reciclagem da Receita obtida com Tributo de Carbono

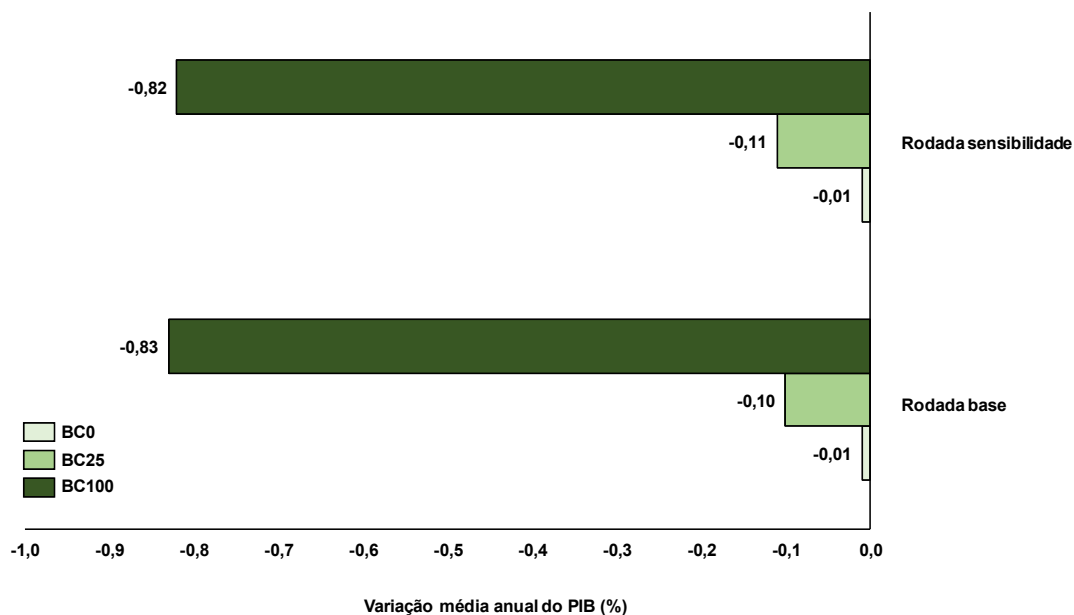
(A) Indicadores nos cenários REF e BC25, sem e com reciclagem do tributo de carbono para o consumo das famílias e consumo do governo.

(B) Indicadores nos cenários REF e BC100, sem e com reciclagem do tributo de carbono para o consumo das famílias e consumo do governo.

## 3.2 RODADA DE SENSIBILIDADE

Primeiramente, foi estimado o impacto sobre o PIB decorrente da implementação dos cenários BC0, BC25 e BC100 da rodada de sensibilidade.

Constata-se que as estimativas são praticamente idênticas àquelas oriundas da rodada base, desconsiderando a adoção dos mecanismos de reciclagem do tributo de carbono. De fato, foram identificadas alterações pontuais somente no âmbito dos impactos setoriais da implementação dos cenários BC25 e BC100, que foram afetados em termos de emissões de GEE, particularmente, devido à eletrificação no setor de transportes.



**Figura 38 – Impacto sobre o Crescimento do PIB, na Adoção dos Cenários BC0, BC25 e BC100 até 2050 – Rodada Base e Rodada de Sensibilidade**

Nota: Os valores foram obtidos a partir dos desvios médios anuais no período de 2020 a 2050, decorrentes da implementação dos cenários BC0, BC25 e BC100 com relação ao cenário REF de projeções do PIB.

As principais diferenças ocorrem nos setores de mineração, petróleo e gás natural, agricultura, sucoalcooleiro e elétrico. No âmbito das atividades negativamente impactadas pelos cenários de BC25 e BC100 (Figura 39 e Figura 40), destaca-se a redução na perda média anual de PIB na mineração e no setor elétrico. A eletrificação no setor de transportes explica esse movimento, assim como o aumento na perda de PIB no setor de petróleo e gás natural, que perderia mercado cativo de combustíveis fósseis. Segmentos fornecedores de peças e acessórios para veículos também reduzem a perda com a adoção dos cenários de baixo carbono.

Setores identificados como beneficiados na rodada base também ampliam o ganho econômico. Esse é o caso de setores fornecedores de insumos, como defensivos agrícolas, os quais beneficiam-se com a adoção de políticas compulsórias de adição de biodiesel em 20% e 10% ao diesel e *bunker* marítimo, respectivamente. O setor da agricultura reduz ganho nos cenários BC25 e BC100, em função da diminuição na demanda por cana-de-açúcar devido à eletrificação dos transportes.

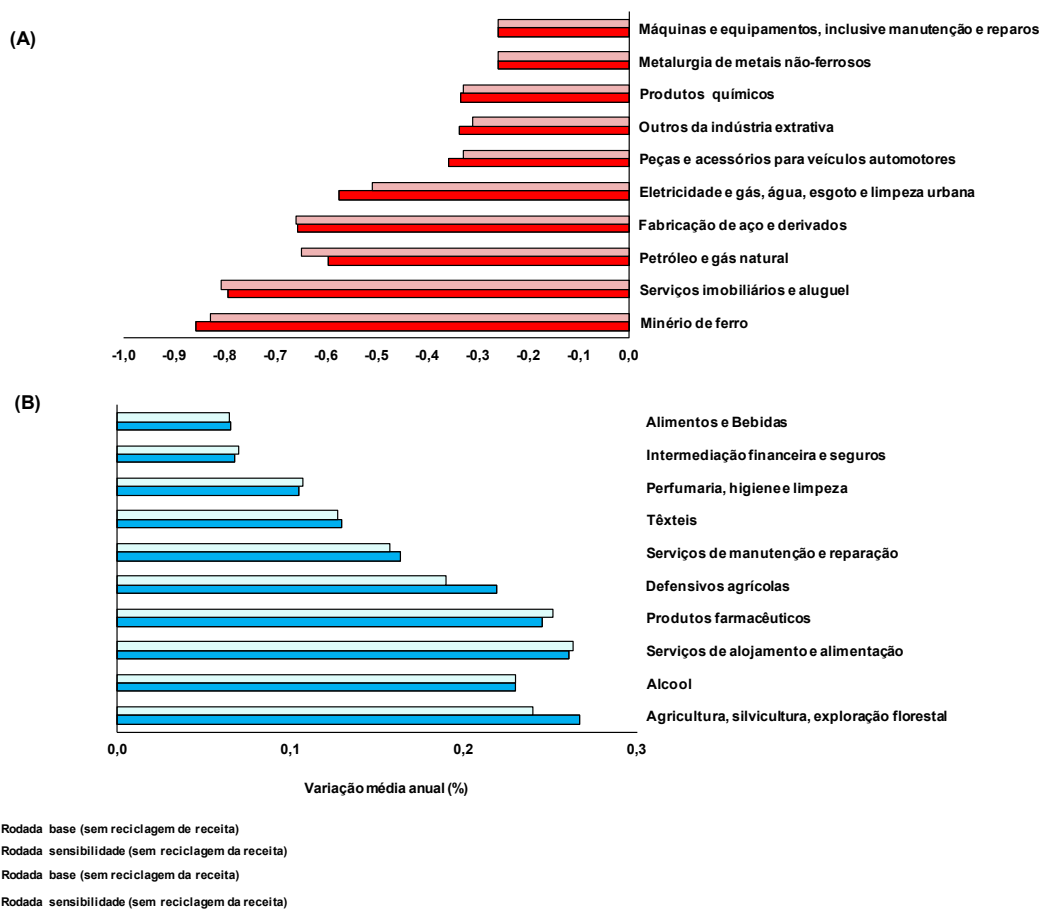


Figura 39 – Impacto Setorial sobre o Crescimento do PIB na Adoção do Cenário BC25 até 2050 – Rodada Base e Rodada de Sensibilidade

(A) Principais setores impactados negativamente no cenário BC25, sem reciclagem de receita obtida com o tributo de carbono.  
 (B) Principais setores impactados positivamente no cenário BC25, sem reciclagem de receita obtida com o tributo de carbono.

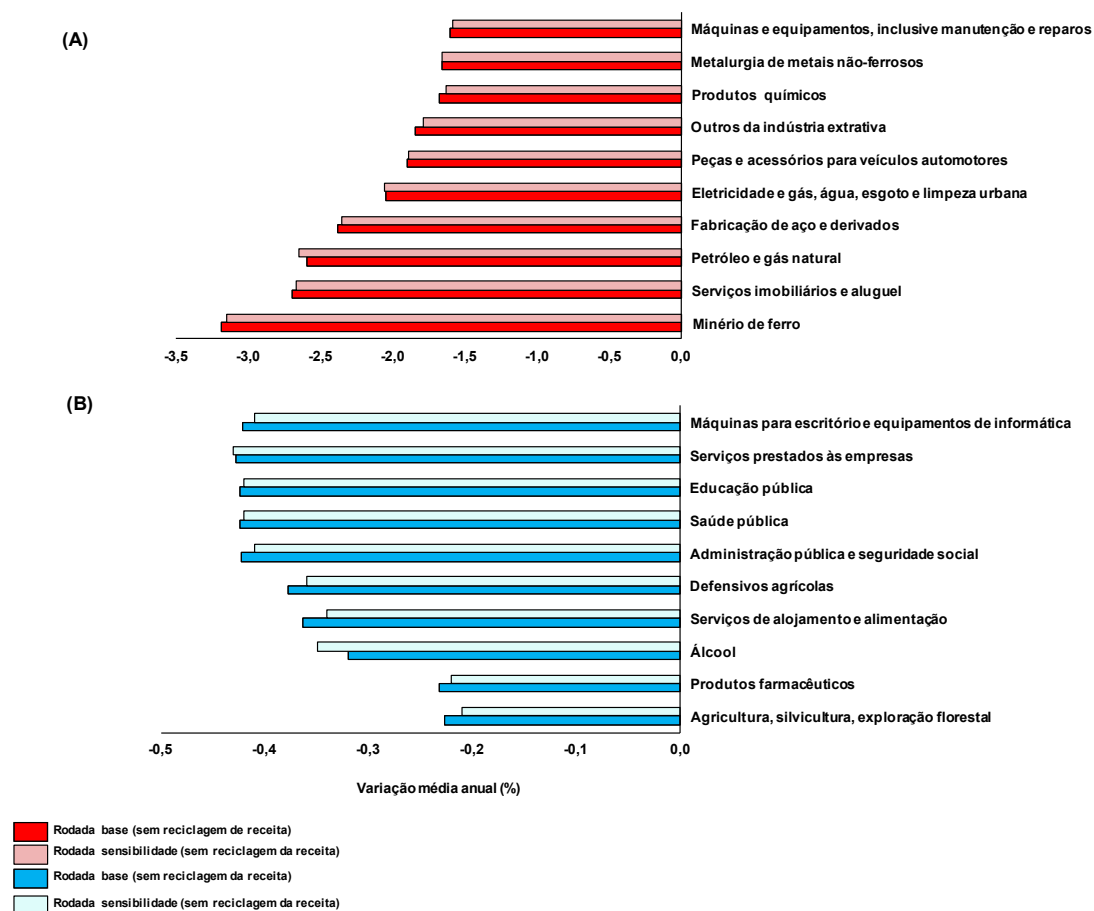


Figura 40 – Impacto Setorial sobre o Crescimento do PIB na Adoção do Cenário BC100 até 2050 – Rodada Base e Rodada de Sensibilidade

(A) Principais setores impactados negativamente no cenário BC100, sem reciclagem de receita obtida com o tributo de carbono.  
 (B) Principais setores impactados positivamente no cenário BC100, sem reciclagem de receita obtida com o tributo de carbono.

Por fim, deve-se mencionar que não foram observadas diferenças relevantes em termos de indicadores de emprego e renda entre a rodada base e a rodada de sensibilidade. Por esse motivo, aplicam-se à rodada de sensibilidade as estimativas de impacto constantes na Figura 36 e na Figura 37.



# Instrumentos de política pública para a implementação dos cenários de baixo carbono

Capítulo

**4**

## 4 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA A IMPLEMENTAÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO

A implementação dos cenários BCO, BC25 e BC100 exige esforços adicionais de mitigação de emissões de GEE. Sua adoção demanda a remoção de uma série de entraves, que podem ser regulatórios, comportamentais, tecnológicos, culturais, econômicos, entre outros. Para tanto, pode ser necessária a formulação ou revisão de instrumentos de política pública existentes, aspectos que serão abordados neste capítulo.

No cenário BCO, seria possível atingir emissões de 1.579 MtCO<sub>2</sub>e, em 2030, e 1.706 MtCO<sub>2</sub>e em 2050, respectivamente, o que implicaria reduções de 7,3% e 17,5% naqueles anos com relação ao cenário REF. A adoção de medidas adicionais, a partir de 2030, no sistema energético, como mandatos de adição de biocombustíveis ao diesel, *bunker* marítimo e QAV; vendas exclusivas de veículos elétricos e híbridos; e geração de eletricidade a partir de painéis FV centralizados e heliotérmicos, ampliaria esses potenciais, com relação à linha de base, para 12,0% e 18,1% em 2030 e 2050, respectivamente.

Nas tabelas 6, 9 e 10 foram listadas as principais medidas, segundo o critério de potencial de mitigação, que devem ser adotadas para atingir os níveis de emissão mencionados. Cabe, portanto, elencar subsídios para a formulação de instrumentos de política pública com vistas a viabilizar a implementação das atividades setoriais de baixo carbono.

Este capítulo sintetiza os subsídios que constam nos relatórios setoriais (MCTIC, 2017b; 2017c, 2017d; 2017e; 2017f; 2017g; 2017h; 2017i; 2017j; 2017k; 2017l; 2017m; 2017n; 2017o; 2017p; 2017q; 2017r; 2017s; 2017t; 2017u; 2017v; 2017w). A diferença consiste em elencar barreiras e instrumentos para sua remoção, considerando a priorização de tecnologias por meio da modelagem integrada dos cenários de baixo carbono, que contém estimativas robustas acerca das potencialidades setoriais de mitigação de emissões de GEE.

No Quadro 5, estão demonstradas as principais medidas a serem viabilizadas por meio de instrumentos de política pública para implementação do cenário BCO, relativo às medidas avaliadas na rodada base. Podem ser destacadas:

- No setor industrial e nas unidades de refino de petróleo, atividades de efficientização energética e troca de combustíveis, para as quais a remoção de barreiras exige: estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos e de padrões máximos de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; garantia de suprimento de combustíveis alternativos; disponibilização de crédito para realização dos investimentos em efficientização energética. Para tanto, são essenciais a criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Selo de Eficiência Industrial” e do “Selo de Eficiência Industrial”; a obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas; e a criação de um programa de depreciação obrigatória de fornos, entre outros instrumentos de política pública;



- No caso da instalação de piloto de ignição para redução de queima em *flare* no setor de E&P de óleo e gás, é fundamental a disponibilização de crédito e a elaboração de políticas públicas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) visando ao desenvolvimento de plataformas-piloto. Ademais, a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) deve estabelecer limites de emissões pela queima em *flare*, considerando a instalação de piloto de ignição;
- Para viabilizar a repotenciação de usinas hidrelétricas, é fundamental a implementação de regulação específica que remunere a atividade, sendo um exemplo a realização de leilões específicos para potência adicionada. Mais que isso, a tecnologia poderia ser incentivada por meio do estabelecimento do preço-teto para a contratação da repotenciação como serviço ancilar;
- O incentivo à expansão de florestas comerciais pode ocorrer por meio da inserção da lenha proveniente desses cultivos na Política de Garantia de Preços Mínimos. Além disso, é importante a certificação da madeira de florestamento por meio da implementação, em âmbito nacional, do Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (Sinaflor);
- A promoção de sistemas de plantio direto e de produção integrada, fundamentalmente, exige a expansão das cooperativas de pecuaristas e agricultores; juros mais atrativos e com prazos de carência estendidos para investimento nos sistemas; e o condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados à realização de investimentos nos órgãos de ATER (assistência técnica e extensão rural) e regulamentação do Programa de Regularização Ambiental (PRA);
- No tocante à efficientização de motores de ônibus urbano, rodoviário e micro-ônibus, é preciso remover entraves associados, sobretudo, a custos de capital e elevação dos custos de operação e manutenção (O&M), que podem encarecer as tarifas de transportes urbanos. Partindo do estabelecimento de metas de efficientização desses veículos, por meio da criação do “Plano Transportes de Baixo Carbono”, é preciso criar a linha de crédito “Financiamento à Transição de Mobilidade de Baixo Carbono”, com taxas subsidiadas de juros condicionada ao cumprimento de metas de efficientização energética, e prever aditivos aos contratos de concessão de transporte público, regulamentando o repasse às tarifas das referidas metas. E, no caso da mudança modal, devem ser realizados investimentos em intermodalidade e plataformas logísticas multimodais e concluídas obras relevantes que incentivarão o transportes de cargas por ferrovias, como a Ferrovia Norte-Sul;
- A efficientização de fogões e aquecedores no setor de edificações demanda, sobretudo, a revisão dos padrões de eficiência energética do Selo Procel e a criação das categorias A+ e A++. Para viabilizar o programa, é preciso criar a linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética em Residências” para concessão de crédito aos consumidores residenciais por meio da rede varejista, com taxas diferenciadas de juros para equipamento das categorias citadas;
- Finalmente, as atividades de baixo carbono selecionadas no setor de gestão de resíduos demandam a implementação de uma série de instrumentos transversais, dentre os quais se destacam: i) criação de um centro nacional de apoio a municípios para a gestão de baixo carbono dos resíduos sólidos; ii) articulação e elaboração de mecanismos financeiros com governos subnacionais; iii) regulamentação do combustível oriundo de RSU e efluentes pela ANP; iv) condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados e municípios à implementação de contrapartidas de gestão de baixo carbono dos RSU e efluentes; v) elaboração de guias para arranjos regulatórios e comerciais para aproveitamento energético do biogás, difusão da biodigestão e compostagem de RSU.

**Quadro 5 – Medidas, Barreiras de Implementação e Instrumentos de Política Pública para Adoção do Cenário BCO relativo à Rodada Base**

| Medidas (setores)                                                                                                                                  | Barreiras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Instrumentos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eficientização na recuperação e geração de calor e vapor (indústria)                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de capital e assimetria, falta e custos de transação do crédito;</li> <li>• Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais;</li> <li>• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>• Competição com outros investimentos;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia de recuperação de vapor e calor;</li> <li>• Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria”;</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que possuam o Selo Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Criação de um programa de depreciação obrigatória de equipamentos de geração de calor e vapor;</li> <li>• Criação, por meio de parcerias público-privadas, de atividades de capacitação para médias e pequenas empresas na elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica para acesso a crédito;</li> <li>• Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas;</li> <li>• Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono;</li> <li>• Diversificação das linhas de crédito para atender pequenas, médias e grandes empresas;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial);</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono;</li> <li>• Inclusão de todos os setores de indústria no Plano Indústria, ou naquele que vier a sucedê-lo no âmbito da NDC brasileira;</li> <li>• Obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas;</li> <li>• Realização de atividades de capacitação e sensibilização junto aos setores industriais acerca dos benefícios da efficientização na geração de calor e vapor.</li> </ul> |
| Troca de combustíveis (indústria)                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de padrão de emissões e <i>benchmark</i> para o setor;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre as vantagens da substituição de combustíveis;</li> <li>• Falta de garantia de suprimento do combustível substituto;</li> <li>• Inexistência de padrão de emissões para o consumo de combustíveis nos setores industriais.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas e financiamento para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética;</li> <li>• Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas;</li> <li>• Elaboração de contratos e seguros de fornecimento;</li> <li>• Estabelecimento de padrões máximos de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial);</li> <li>• Estabelecimento de requisitos de eficiência de emissões para a concessão de financiamentos de agentes públicos, incentivos positivos e tratamento diferenciado para empresas com baixo índice de emissão de GEE;</li> <li>• Inclusão de todos os setores de indústria no Plano Indústria, ou naquele que vier a sucedê-lo no âmbito da NDC brasileira;</li> <li>• Obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas;</li> <li>• Promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos de eficiência energética.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Redução de queima em <i>flare</i> por meio da instalação de piloto de ignição e instalação de unidades de recuperação de vapor (E&P de óleo e gás) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia de recuperação de vapor;</li> <li>• Inexistência de limites de emissões para plataformas;</li> <li>• <i>Lock-in</i> tecnológico e inexistência de espaço nas plataformas;</li> <li>• Segurança e confiabilidade nos sistemas de piloto de ignição em <i>flare</i>.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação de um programa de depreciação obrigatória de equipamentos de geração de calor e vapor;</li> <li>• Criação do “Plano Energia de Baixo Carbono”, visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor energético;</li> <li>• Discriminação de emissões nos inventários corporativos ao nível das plataformas vinculada à liberação de crédito proveniente de bancos públicos de fomento;</li> <li>• Disponibilização de crédito para o desenvolvimento de plataformas-piloto com vistas à adequação da tecnologia de piloto de ignição no Brasil;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissões pela ANP de queima em <i>flare</i>, considerando a instalação de piloto de ignição;</li> <li>• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial);</li> <li>• Obrigatoriedade da adoção das melhores tecnologias disponíveis (MTD) para novas plataformas ou troca de equipamentos em plataformas existentes;</li> <li>• Realização de campanhas de sensibilização, capacitação e informação junto ao setor.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eficiência na geração de calor, vapor e consumo de hidrogênio nos processos (refino)        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de capital e assimetria, falta e custos de transação do crédito;</li> <li>• Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das unidades de refino;</li> <li>• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>• Competição com outros investimentos;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial;</li> <li>• Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias.</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito "Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria";</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que possuam o Selo Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Criação de um programa de depreciação obrigatória de equipamentos de geração de calor e vapor;</li> <li>• Criação do "Plano Energia de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor energético;</li> <li>• Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas;</li> <li>• Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial);</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono;</li> <li>• Inclusão de todos os setores fabris no Plano Indústria, ou naquele que vier a sucedê-lo no âmbito da NDC brasileira;</li> <li>• Obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas.</li> </ul> |
| Repotenciação de usinas hidrelétricas (elétrico)                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ampliação da potência aumenta encargos setoriais – Montante de Utilização do Sistema de Transmissão (MUST);</li> <li>• Competição com investimentos alternativos;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia;</li> <li>• Inexistência de limites de emissões para o setor elétrico;</li> <li>• Usinas são remuneradas pela garantia física, que não necessariamente aumenta com a repotenciação;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação do "Plano Energia de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor elétrico;</li> <li>• Estabelecimento do preço-teto para a contratação da repotenciação como serviço ancilar;</li> <li>• Implementação de uma regulação específica para a remuneração da repotenciação, particularmente, feita via encargos de serviços de sistema (ESS);</li> <li>• Realização de estudos de impactos na rede de transmissão e distribuição do aumento da potência das usinas hidrelétricas;</li> <li>• Realização de estudos que estimem possíveis economias para o consumidor por meio da repotenciação perante o custo da geração termelétrica;</li> <li>• Realização de leilões específicos para potência adicionada.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Expansão do plantio de florestas comerciais (Afolu)                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Assistência rural insuficiente;</li> <li>• Insegurança no retorno do investimento em face da insegurança na demanda (setores siderúrgico e de papel e celulose).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Certificação da madeira de florestamento e implementação em âmbito nacional do Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (Sinaflor);</li> <li>• Condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados à realização de investimentos nos órgãos de ATER (assistência técnica e extensão rural);</li> <li>• Inserção da lenha proveniente de florestas plantadas na Política de Garantia de Preços Mínimos;</li> <li>• Inserção de obrigatoriedade de contratos de fornecimento e seguros para financiamento por bancos públicos da atividade.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Expansão do plantio direto e incremento nos sistemas integrados (Afolu)                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Assistência técnica rural insuficiente;</li> <li>• Comportamento conservador dos proprietários rurais;</li> <li>• Crédito subsidiado de difícil acesso, principalmente para os pequenos e médios produtores;</li> <li>• Falta de capital para compra de maquinário;</li> <li>• Resistência dos produtores rurais com relação a investimentos de longa duração.</li> </ul>                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitação de técnicos para implementar as medidas de baixo carbono;</li> <li>• Condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados à realização de investimentos nos órgãos de ATER (assistência técnica e extensão rural) e regulamentação do Programa de Regularização Ambiental (PRA);</li> <li>• Criação de fundos de aval para permitir o acesso a crédito de produtores sem o título da terra;</li> <li>• Expansão das cooperativas de pecuaristas e agricultores;</li> <li>• Fortalecimento do Conselho Administrativo de Defesa Econômica e do Ministério da Fazenda para garantir a defesa da concorrência;</li> <li>• Integração de sistemas de informação governamentais e desburocratização do acesso ao crédito rural;</li> <li>• Juros mais atrativos e com prazos de carência estendidos, principalmente para pequenos e médios produtores, quando a atividade implementada resultar em mitigação de emissões de GEE.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Expansão do uso de inoculantes para promover a fertilização biológica do nitrogênio (Afolu) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Assistência técnica rural insuficiente;</li> <li>• Comportamento conservador dos proprietários rurais;</li> <li>• Necessidade de estudos sobre o potencial da FBN que contemplem diferentes culturas, condições de clima e manejo do país;</li> <li>• Oferta de inoculantes para a FBN insuficiente no mercado.</li> </ul>                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitação de técnicos para implementar as medidas de baixo carbono;</li> <li>• Condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados à realização de investimentos nos órgãos de ATER (assistência técnica e extensão rural) e regulamentação do Programa de Regularização Ambiental (PRA);</li> <li>• Expansão das cooperativas de pecuaristas e agricultores;</li> <li>• Fortalecimento do Conselho Administrativo de Defesa Econômica e do Ministério da Fazenda para garantir a defesa da concorrência;</li> <li>• Incentivo à criação de empresas de base biotecnológica para produção de inoculantes;</li> <li>• Juros mais atrativos e com prazos de carência estendidos, principalmente para pequenos e médios produtores, quando a atividade implementada resultar em mitigação de emissões de GEE.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Eficientização de motores de ônibus urbano, rodoviário e micro-ônibus (transportes)</p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>• Competição com outros investimentos;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial;</li> <li>• Elevação dos custos de operação e manutenção (O&amp;M);</li> <li>• Falta de conhecimento sobre custos e vantagens de melhorias nos motores;</li> <li>• <i>Lock-in</i> tecnológico;</li> <li>• Repasse dos custos de efficientização para passageiros;</li> <li>• Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aditivo aos contratos de concessão de transporte público regulamentando o repasse às tarifas das metas de efficientização de veículos;</li> <li>• Criação da linha de crédito "Financiamento à Transição de Mobilidade de Baixo Carbono", com taxas subsidiadas de juros, condicionada ao cumprimento de metas de efficientização energética;</li> <li>• Criação de metas de eficiência energética, associada com mercado de crédito de eficiência;</li> <li>• Criação do "Plano Transportes de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no setor;</li> <li>• Estabelecimento de penalidades econômicas ao descumprimento de metas;</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de motores mais eficientes;</li> <li>• Obrigatoriedade da etiquetagem relativa à eficiência energética para ônibus novos e usados;</li> <li>• Taxação de ônibus ineficientes e redução de impostos para veículos eficientes (<i>feebate</i>).</li> </ul>                                   |
| <p>Mudança do modal rodoviário de carga para hidroviário e ferroviário (transportes)</p>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de integração intermodal;</li> <li>• Falta de infraestrutura adequada para transporte não motorizado;</li> <li>• Falta de capacidade de financiamento e tempo de construção para/das obras de infraestrutura.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimentos nos modais hidroviário e ferroviário, em especial com conclusão das obras da Ferrovia Norte-Sul, permitindo a ligação entre Barcarena/PA e Rio Grande/RS, e Balsas/MA e Vila do Conde/PA;</li> <li>• Construção de ferrovias de bitola larga, ou seja, com maior capacidade para o transporte de carga, traçado geométrico otimizado e velocidade elevada;</li> <li>• Construção de plataformas logísticas multimodais;</li> <li>• Inclusão de metas e prazos no Programa de Parcerias de Investimentos (PPI), visando à conclusão das obras de infraestrutura e à construção de terminais de integração modal;</li> <li>• Modernização e ampliação da infraestrutura portuária no Brasil;</li> <li>• Implementação de sistemas inteligentes de transportes, responsáveis por coletar informações e aplicar tecnologias de comunicação em todos os modais.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p>Mudança do modal passageiro individual para ônibus e metrô (transportes)</p>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa disponibilidade de transporte público adequado;</li> <li>• Diferenciação social associada à posse de veículos;</li> <li>• Falta de integração intermodal;</li> <li>• Falta de segurança no transporte público.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensificação da construção de faixas exclusivas para transporte público;</li> <li>• Construção de estacionamentos de grande porte nas estações do metrô;</li> <li>• Restrição à circulação de veículos em determinadas áreas;</li> <li>• Construção de terminais de integração: intermodalidade;</li> <li>• Inclusão de metas e prazos no Programa de Parcerias de Investimentos (PPI), visando à conclusão das obras de infraestrutura e à construção de terminais de integração modal;</li> <li>• Permissão para transporte/estacionamento de bicicletas em outros modais;</li> <li>• Fiscalização da qualidade e segurança do serviço e da política tarifária para transporte público;</li> <li>• Criação de sistemas inteligentes e plataforma virtual.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <p>Eficientização de fogões a GLP e gás natural e aquecedores a gás natural (edificações)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Competição com investimentos alternativos;</li> <li>• Defasagem dos padrões de eficiência do Selo Procel;</li> <li>• Desconhecimento dos benefícios da eficiência energética;</li> <li>• Dificuldade de acesso e custo do crédito para aquisição de equipamentos;</li> <li>• Falta de suprimento e volatilidade dos preços do gás natural;</li> <li>• <i>Lock-in</i> tecnológico das edificações.</li> </ul>                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito "Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética em Residências" para concessão de crédito aos consumidores residenciais por meio da rede varejista;</li> <li>• Criação do concurso nacional de eficiência energética em edificações;</li> <li>• Criação do "Plano Edificações de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no setor;</li> <li>• Estabelecimento de metas de ampliação dos gasodutos para concessionárias de energia, visando ao pleno atendimento de cidades com mais de 1 milhão de habitantes até 2025;</li> <li>• Expansão da rede de gasodutos;</li> <li>• Financiamento a taxas diferenciadas de juros pelo "Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética", para equipamentos das categorias A+ e A++ do Selo Procel;</li> <li>• Realização de atividades regionais de capacitação e <i>matchmaking workshop</i> em tecnologias-chave de baixo carbono aplicáveis ao setor de edificações;</li> <li>• Revisão dos padrões de eficiência energética do Selo Procel e criação das categorias A+ e A++.</li> </ul> |
| <p>Degradação do biogás de aterro sanitário com flare (resíduos)</p>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos custos de transação para acesso a crédito;</li> <li>• Baixa legitimização da prática;</li> <li>• Desafios econômicos e institucionais relacionados à gestão municipal;</li> <li>• Falta de conhecimento dos benefícios das tecnologias e/ou para a elaboração de estudos de viabilidade técnica e econômica (EVTE);</li> <li>• Inexistência de arranjos comerciais adequados.</li> </ul>                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Articulação e elaboração de mecanismos financeiros com governos subnacionais;</li> <li>• Condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados e municípios à implementação de contrapartidas de gestão de baixo carbono dos RSU;</li> <li>• Criação de um centro nacional de apoio a municípios para a gestão de baixo carbono dos resíduos sólidos;</li> <li>• Criação do "Plano Gestão de Resíduos de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no setor;</li> <li>• Elaboração de guias para arranjos regulatórios e comerciais (PPP, consórcios etc.);</li> <li>• Investimentos em projetos-piloto (utilizando estrutura inicial de aterros) e desenvolvimento de plataforma para veículos a biometano (motores duais e dedicados);</li> <li>• Redução de impostos de importação para tecnologias de baixo carbono.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                          |

|                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Compostagem da fração orgânica de RSU (resíduos)                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa competitividade dos produtos gerados;</li> <li>• Inadequação dos arranjos comerciais regulatórios;</li> <li>• Resistência por parte dos agentes à compostagem.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitação de atores de associações comunitárias para realização da compostagem;</li> <li>• Criação de cooperativas municipais de compostagem com recursos advindos do Fundo Clima;</li> <li>• Criação do "Plano Gestão de Resíduos de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no setor;</li> <li>• Desenvolvimento de projetos-piloto de compostagem;</li> <li>• Elaboração de guias para arranjos regulatórios e comerciais (PPP, consórcios etc.).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Aproveitamento de biogás de RSU e efluentes para produção de biometano e eletricidade (resíduos) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptação da tecnologia de biodigestão e de uso final de biometano;</li> <li>• Desafios econômicos e institucionais relacionados à gestão municipal;</li> <li>• Desconhecimento do consumidor quanto à qualidade e à confiabilidade do combustível;</li> <li>• Dificuldade de acesso a crédito e custos de transação;</li> <li>• Especificação físico-química da ANP para comercialização do energético;</li> <li>• Fraca cadeia de suprimentos e serviços e competitividade do energético;</li> <li>• Inadequação dos arranjos comerciais regulatórios.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Articulação com governos subnacionais;</li> <li>• Condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados e municípios à implementação de contrapartidas de gestão de baixo carbono dos RSU;</li> <li>• Criação de estruturas de financiamento (fundos dedicados, <i>green bonds</i>, fundos de clima, fundos de desenvolvimento tecnológico e linhas de financiamento), com captação que também utilize os mecanismos internacionais de crédito (GCF, GEF, BID etc.);</li> <li>• Criação de um centro nacional de apoio a municípios para a gestão de baixo carbono dos resíduos sólidos;</li> <li>• Criação do "Plano Gestão de Resíduos de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no setor;</li> <li>• Definição de metas de uso de acordo com o mapa de competitividade (mapeamento sistêmico);</li> <li>• Elaboração de guias para arranjos regulatórios e comerciais (PPP, consórcios etc.);</li> <li>• Investimentos em projetos-piloto (utilizando estrutura inicial de aterros) e desenvolvimento de plataforma para veículos a biometano (motores duais e dedicados);</li> <li>• Regulamentação do combustível pela ANP (com origem de RSU e efluentes).</li> </ul> |
| Difusão da biodigestão para produção de biometano e eletricidade (resíduos)                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desafios econômicos e institucionais relacionados à gestão municipal;</li> <li>• Desconhecimento do consumidor quanto à qualidade e à confiabilidade do combustível;</li> <li>• Dificuldade de acesso a crédito e custos de transação;</li> <li>• Especificação físico-química da ANP para comercialização do energético;</li> <li>• Fraca cadeia de suprimentos e serviços e competitividade do energético;</li> <li>• Inadequação dos arranjos comerciais regulatórios.</li> </ul>                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Articulação com governos subnacionais;</li> <li>• Condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados e municípios à implementação de contrapartidas de gestão de baixo carbono dos RSU;</li> <li>• Criação de estruturas de financiamento (fundos dedicados, <i>green bonds</i>, fundos de clima, fundos de desenvolvimento tecnológico e linhas de financiamento), com captação que também utilize os mecanismos internacionais de crédito (GCF, GEF, BID etc.);</li> <li>• Criação de um centro nacional de apoio a municípios para a gestão de baixo carbono dos resíduos sólidos;</li> <li>• Criação do "Plano Gestão de Resíduos de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no setor;</li> <li>• Definição de metas de uso de acordo com o mapa de competitividade (mapeamento sistêmico);</li> <li>• Elaboração de guias para arranjos regulatórios e comerciais (PPP, consórcios etc.);</li> <li>• Investimentos em projetos-piloto (utilizando estrutura inicial de aterros) e desenvolvimento de plataforma para veículos a biometano (motores duais e dedicados);</li> <li>• Regulamentação do combustível pela ANP (com origem de RSU e efluentes).</li> </ul> |

A rodada de sensibilidade selecionou medidas adicionais de baixo carbono que seriam implementadas, sem necessidade de tributação de carbono, a partir de 2030: i) adição de 20% de biodiesel ao diesel; ii) adição de 10% de bioquerosene ao QAV; iii) adição de 10% de biodiesel ao *bunker* marítimo; iv) participação mínima de 10% de energia solar no *grid* nacional por meio da inserção de energia solar centralizada (FV) e solar-térmica (CSP); v) venda exclusiva, a partir de 2030, de veículos elétricos, tanto veículos puramente a bateria (BEV) quanto veículos híbridos e híbridos *plug-in*.

O Quadro 6 lista as barreiras e os instrumentos de política que devem ser implementados para removê-las, com vistas a implementar as medidas adicionais do cenário BCO, relativas à rodada de sensibilidade. Merecem destaque:

- No caso das opções de geração solar FV e CSP, a adoção de plantas-piloto é relevante para a formação de mão de obra para instalação e manutenção das tecnologias. No âmbito econômico, é importante remunerar a geração elétrica a partir das tecnologias solares, por exemplo, criando bônus para serviços ancilares e promovendo leilões específicos da fonte, com inserção de critérios de conteúdo local;

- É necessário minimizar incertezas quanto ao desenvolvimento do biodiesel e bioquerosene no país. Para tanto, deve ser ampliado o mandato de mistura de biodiesel ao diesel e adotadas metas de adição de biodiesel ao *bunker* e de bioquerosene ao QAV, no âmbito da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio);
- No setor de transportes, a eletrificação está condicionada à criação de instrumentos econômicos, regulatórios e tecnológicos. Fundamentalmente, barreiras econômicas podem ser removidas por meio da criação da linha de crédito “Financiamento à Transição de Mobilidade de Baixo Carbono”, com taxas subsidiadas de juros para aquisição dos veículos elétricos, assim como desoneração de impostos para importação dos veículos elétricos. No âmbito regulatório, podem ser criadas zonas de baixa emissão de poluentes em centros urbanos e uma abordagem multimodal de eletrificação veicular.

**Quadro 6 – Medidas Adicionais, Barreiras de Implementação e Instrumentos de Política Pública para Adoção do Cenário BC0 relativo à Rodada de Sensibilidade**

| Medidas (setores)                                                                   | Barreiras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Instrumentos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Produção de eletricidade a partir de painéis fotovoltaicos centralizados (elétrico) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de investimento de sistemas fotovoltaicos centralizados;</li> <li>• Ausência de viabilidade econômica;</li> <li>• Baixa eficiência de sistemas fotovoltaicos centralizados;</li> <li>• Competição com investimentos alternativos;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia;</li> <li>• Falta de mão de obra qualificada para montagem e instalação de painéis;</li> <li>• Incertezas quanto ao desenvolvimento do mercado;</li> <li>• Inexistência de limites de emissões para o setor elétrico.</li> </ul>                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adoção do sistema de bônus para serviços ancilares e não emissão de GEE;</li> <li>• Criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Fontes Renováveis de Geração de Energia Elétrica”;</li> <li>• Criação do “Plano Energia de Baixo Carbono”, visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor elétrico;</li> <li>• Diminuição de alíquotas de importação de componentes e módulos fotovoltaicos;</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento, para adoção de plantas-piloto de energia solar centralizada (FV);</li> <li>• Obrigatoriedade de contrapartidas para acesso à linha de crédito, entre as quais capacitação da mão de obra em instalação e manutenção de painéis FV e investimento em P&amp;D em tecnologias de baixo carbono;</li> <li>• Promoção de leilões específicos de energia solar fotovoltaica, com inserção de critérios de conteúdo local de equipamentos;</li> <li>• Realização de campanhas de sensibilização, capacitação e informação junto ao setor.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                  |
| Produção de eletricidade a partir de energia heliotérmica (elétrico)                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo nivelado da energia gerada;</li> <li>• Competição com investimentos alternativos de menor custo (sistema de leilões);</li> <li>• Falta de <i>know-how</i> pela inexistência de planta CSP instalada no Brasil;</li> <li>• Falta de mão de obra qualificada para montagem e instalação do campo solar;</li> <li>• Incertezas quanto ao desenvolvimento do mercado;</li> <li>• Inexistência de fornecedores locais de componentes específicos da tecnologia CSP;</li> <li>• Inexistência de limites de emissões para o setor elétrico;</li> <li>• Não consideração dos cobenefícios associados à geração de emprego e renda;</li> <li>• Não valoração das externalidades positivas apresentadas pelo CSP</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adoção do sistema de bônus para serviços ancilares e não emissão de GEE;</li> <li>• Aproveitamento da indústria de conversão de biomassa para cumprir as regras de conteúdo local do BNDES;</li> <li>• Criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Fontes Renováveis de Geração de Energia Elétrica”;</li> <li>• Criação do “Plano Energia de Baixo Carbono”, visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor elétrico;</li> <li>• Criação de uma demanda fixa em capacidade instalada por ano para atrair atenção do mercado;</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento, para adoção de plantas-piloto de energia solar centralizada (FV);</li> <li>• Incentivo à fabricação de componente específicos de CSP, aumentando o conteúdo local;</li> <li>• Instrumentos de informação e educação junto ao P&amp;D para desenvolvimento de pessoal e empresas com <i>know-how</i> acerca da tecnologia CSP;</li> <li>• Promoção de leilões específicos para a tecnologia CSP com limitação da fração da energia gerada por combustíveis de <i>backup</i>;</li> <li>• Realização de atividades de capacitação e formação de mão de obra para instalação e manutenção da tecnologia solar-térmica.</li> </ul> |

|                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Aumento da mistura de biodiesel ao diesel e <i>bunker</i> marítimo, e bioquerosene ao QAV (transportes)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de capital para ampliação da capacidade instalada no setor;</li> <li>• Ausência de padrões de limite de emissões no setor;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial;</li> <li>• Falta de garantia de suprimento de biodiesel e bioquerosene;</li> <li>• Incertezas quanto ao desenvolvimento do mercado.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ampliação no mandato de mistura de biodiesel ao diesel, e adoção de mandatos de adição de biodiesel ao <i>bunker</i> e bioquerosene ao QAV, no âmbito de Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio);</li> <li>• Criação da linha de crédito "Financiamento à Transição de Mobilidade de Baixo Carbono", com taxas subsidiadas de juros para instalação de plantas de produção de biodiesel;</li> <li>• Criação do "Plano Transportes de Baixo Carbono" visando a adoção de metas de redução de emissões no setor;</li> <li>• Elaboração de contratos e seguros de suprimento de biodiesel e bioquerosene entre distribuidoras de combustíveis, produtores agrícolas e usinas de biodiesel incentivadas por meio do crédito agrícola e de acesso a recursos internacionais para projetos, respectivamente.</li> <li>• Incentivo à elaboração de projetos para acesso a recursos do GCF, visando a construção de usinas de biodiesel e bioquerosene próximas a cidades com mais de 500 mil habitantes;</li> <li>• Incentivo à formação de cooperativas de produtores de oleaginosas dedicadas à produção de biodiesel.</li> </ul>                                                                                                        |
| <p>Implementação de automóveis elétricos a bateria, híbridos e híbridos <i>plug-in</i> (transportes)</p>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de viabilidade econômica, que resulta do alto custo de aquisição dos veículos;</li> <li>• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>• Assimetria, falta e altos custos de acesso ao crédito;</li> <li>• Encarecimento da importação dos veículos devido à taxa de câmbio;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial recessiva;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre as vantagens da eficiência energética;</li> <li>• Falta de conhecimento técnico para identificar, implementar e operar a medida, em particular em empresas de médio e pequeno porte;</li> <li>• Falta de conteúdo local dos veículos híbridos, o que dificulta a manutenção.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abordagem multimodal da eletrificação veicular;</li> <li>• Campanhas de conscientização acerca dos benefícios ambientais associados ao uso dos veículos;</li> <li>• Compartilhamento de veículos e recargas elétricas;</li> <li>• Criação da linha de crédito "Financiamento à Transição de Mobilidade de Baixo Carbono", com taxas subsidiadas de juros para aquisição dos veículos;</li> <li>• Criação de zonas de baixa emissão de poluentes em centros urbanos;</li> <li>• Criação do "Plano Transportes de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no setor;</li> <li>• Desoneração de impostos para importação dos veículos;</li> <li>• Incentivo, por meio de agências de fomento à pesquisa, para implementação de unidades-piloto de recarga, desenvolvimento de baterias e peças dos veículos;</li> <li>• Incentivos econômicos à substituição da frota de táxis a combustíveis por modelos elétricos, híbridos e híbridos <i>plug-in</i>;</li> <li>• Incentivos locais para o uso dos veículos, como isenção de pedágios, livre acesso à eletricidade e estacionamentos gratuitos;</li> <li>• Realização de atividades de capacitação e formação de mão de obra para manutenção dos veículos.</li> </ul> |

A redução no pkm e a eliminação da lenha proveniente de florestas plantadas, que não foram listadas na Tabela 10 e no Quadro 6 por não serem MTD, exigem a adoção de instrumentos regulatórios e de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD), respectivamente. Em especial, devem estar previstos nos planos setoriais de baixo carbono, que são transversais à implementação dos cenários, metas e instrumentos de garantia de suprimento de lenha plantada. Além disso, devem ser realizadas campanhas de informação e incentivo a meios não motorizados de transporte e atividade laborais em *home office*.

A implementação dos cenários BC25 e BC100 requer a implementação da precificação de carbono na economia. Foi testada a possibilidade de criação de um tributo sobre a emissão de carbono, sem reciclagem e com reciclagem para o consumo das famílias e do governo, que revelou efetividade diferenciada em termos de amenização de impactos econômicos e sociais agregados e setoriais, particularmente na rodada base. De fato, a tributação de carbono é crucial para a adoção desses cenários, porém sua implementação deveria ocorrer a partir de 2025. Assim, poderiam ser realizados estudos adicionais acerca do impacto regulatório de diferentes mecanismos de precificação, visando à adoção daqueles preferenciais em termos de custo-efetividade (MF, 2017).

No cenário BC25, a redução de emissões com relação ao cenário REF é de 22,3% e 30,8%, em 2030 e 2050, respectivamente. Com a inserção de tecnologias adicionais de mitigação, avaliadas na rodada de sensibilidade, esse potencial é ampliado para 26,2% em 2030, porém diminui para 28,6% em 2050. Como destacado na seção 2.2.1, a demanda adicional oriunda da eletrificação no setor de transportes é atendida, majoritariamente, a partir de termelétricas a carvão, o que diminui o potencial de mitigação com relação ao conjunto de MTD avaliadas na rodada base.



No Quadro 7 são listadas as barreiras e instrumentos de política pública relativos às tecnologias avaliadas na rodada base e rodada de sensibilidade. Trata-se de um conjunto aditivo de instrumentos propostos, na medida em que o cenário BC25 também abrange as medidas do cenário BC0. Podem ser destacados os seguintes instrumentos de política pública transversais em nível setorial:

- Nos setores da indústria, a criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria” é fundamental para viabilizar a implementação de tecnologias que demandam altos custos de investimento, como fornos Scope 21 e injeção de carvão pulverizado. No caso da adição de carboneto de escória na produção de cimento, deve-se criar, em linha com os objetivos da PNRS, um programa de aproveitamento energético do resíduo. Mais do que isso, é relevante garantir o suprimento da fonte, por meio de contratos e seguros celebrados entre plantas cimenteiras, cooperativas de reciclagem e seguradoras;
- As medidas aplicáveis em plataformas de produção de óleo e gás demandam arcabouço regulatório e econômico para implementação. A partir do estabelecimento de metas de redução de emissões e/ou padrões mínimos de eficiência para plataformas, devem ser criadas a linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Eficiência Energética em Plataformas e Refinarias de Petróleo” e o “Plano Energia de Baixo Carbono”;
- Interessantemente, a captura de carbono da fermentação em destilarias de etanol se viabiliza ao patamar de 25 US\$/tCO<sub>2</sub>. No entanto, a adoção da tecnologia é desafiadora, exigindo a adoção de uma série de instrumentos, que ainda assim podem não garantir que a tecnologia esteja disponível comercialmente. Idealmente, o incentivo à tecnologia deve iniciar com a implementação de projetos-piloto de captura e transporte de CO<sub>2</sub> nas destilarias localizadas na região Centro-Sul do Brasil;
- No setor elétrico, foram mapeadas oportunidades de drenagem de gás, com combustão em *flare* ou motores, e remoção de metano do ar de ventilação. Mais do que isso, mostrou-se relevante potencial de abatimento relativo à cocombustão de biomassa em termelétricas a carvão. Nesse caso, a remoção das barreiras econômicas pode ocorrer, principalmente, mediante a criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Eficiência Energética em Mineração de Carvão e Usinas Termelétricas” e de leilões específicos com preços-teto diferenciados para UTE que operam com biomassa;
- As medidas de intensificação de pecuária, por meio do confinamento e da recuperação de áreas degradadas, demanda uma série de instrumentos econômico-regulatórios. Destacam-se o condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados à realização de investimentos nos órgãos de ATER (assistência técnica e extensão rural) e regulamentação do Programa de Regularização Ambiental (PRA), e a criação de linhas de crédito no Plano ABC para atividades de baixo carbono. No particular da recuperação de áreas degradadas, devem ser criadas parcerias público-privadas, visando à implementação de viveiros a partir dos quais seriam doadas mudas, e desenvolvidos sistemas de monitoramento para restauração florestal. Finalmente, com relação à redução do desmatamento, podem ser destacados a exigência de selo de procedência da madeira; incentivo a atividades extrativistas e de manejo florestal sustentáveis; pagamento por serviços ambientais; e regulamentação sobre o uso do cadastro ambiental rural (CAR) e sensoriamento remoto para fiscalização eletrônica do desmatamento;
- No setor de transportes, viabiliza-se no cenário BC25 a efficientização de aeronaves, embarcações e trens, assim como de automóveis, veículos comerciais leves e motocicletas. A partir da criação de metas de eficiência energética para o setor, por meio do “Plano Transportes de Baixo Carbono”, deve ser implementada a taxaço de veículos ineficientes e redução de impostos para veículos eficientes (*feebate*). Para incentivar o cumprimento das metas, também deve ser criada a linha de crédito “Financiamento à Transição de Mobilidade de Baixo Carbono”, com taxas subsidiadas de juros condicionada ao cumprimento das metas de efficientização energética;



- Finalmente, no setor de gestão de resíduos a adoção da prática de incineração de resíduos e a ampliação da reciclagem de RSU, passam por articulação e elaboração de mecanismos financeiros com governos subnacionais; condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados e municípios à implementação de contrapartidas de gestão de baixo carbono dos RSU; e criação de um centro nacional de apoio a municípios para a gestão de baixo carbono dos resíduos sólidos.

Ainda que seja um instrumento necessário para adoção do cenário BC25, deve-se considerar que uma tributação indiscriminada sobre o setor de Afolu poderia levar a uma elevação nos preços dos alimentos, não necessariamente reduzindo suas emissões. Uma forma de incentivo à implementação das ações do cenário seria criar ou modificar os incentivos presentes no setor. Em primeiro lugar, um mecanismo de REDD+, implementado por meio da Cota de Reserva Ambiental (CRA), poderia realizar pagamentos para evitar o desmatamento legal por meio de recursos oriundos de um mercado nacional de emissões. Os planos ABC e Safra também poderiam adotar critérios ambientais mais rigorosos, fornecendo linhas de crédito subsidiados somente para as propriedades regulares perante o Código Florestal.

#### Quadro 7 – Medidas, Barreiras de Implementação e Instrumentos de Política Pública para Adoção do Cenário BC25 relativo às Rodadas Base e de Sensibilidade

| Medidas (setores)                                    | Barreiras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Instrumentos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adição de carboneto de escória na produção (cimento) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>• Competição com outros investimentos;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial recessiva;</li> <li>• Dificuldade de acesso e alto custo de transação nas operações de financiamento;</li> <li>• Falta de conhecimento acerca das vantagens da adoção da medida;</li> <li>• Falta de garantia de suprimento do resíduo;</li> <li>• Inviabilidade econômica;</li> </ul>                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito "Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria";</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas e financiamento para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética;</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que possuam o Selo Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Criação, no âmbito da Política Nacional de Resíduos Sólidos, de um programa de aproveitamento energético do carboneto de escória;</li> <li>• Criação, por meio de parcerias público-privadas, de atividades de capacitação para médias e pequenas empresas na elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica para acesso a crédito</li> <li>• Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas;</li> <li>• Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono;</li> <li>• Diversificação das linhas de crédito para atender pequenas, médias e grandes empresas;</li> <li>• Elaboração de contratos e seguros de suprimento entre plantas cimenteiras, cooperativas de reciclagem e seguradoras;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial);</li> <li>• Inclusão de todos os setores de indústria no Plano Indústria, ou naquele que vier a sucedê-lo no âmbito da NDC brasileira;</li> <li>• Obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025.</li> </ul>                                                                                                                                                                         |
| Otimização de sistemas motores (química)             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de capital e assimetria, falta e custos de transação do crédito;</li> <li>• Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais;</li> <li>• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>• Competição com outros investimentos;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da efficientização de motores;</li> <li>• Inviabilidade econômica;</li> <li>• Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito "Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria";</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas e financiamento para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética;</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que possuam o Selo Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Criação de um programa de depreciação obrigatória de equipamentos de geração de calor e vapor;</li> <li>• Criação, por meio de parcerias público-privadas, de atividades de capacitação para médias e pequenas empresas na elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica para acesso a crédito;</li> <li>• Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas;</li> <li>• Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono;</li> <li>• Diversificação das linhas de crédito para atender pequenas, médias e grandes empresas;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial);</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono;</li> <li>• Inclusão de todos os setores de indústria no Plano Indústria, ou naquele que vier a sucedê-lo no âmbito da NDC brasileira;</li> <li>• Obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>• Realização de atividades de capacitação e sensibilização junto aos setores industriais acerca dos benefícios da efficientização em motores.</li> </ul> |

|                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Injeção de carvão pulverizado (siderurgia)                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de capital e assimetria, falta e custos de transação do crédito;</li> <li>• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>• Competição com outros investimentos;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial;</li> <li>• Falta de conhecimento técnico para identificar, implementar e operar a medida, em particular em empresas de médio e pequeno porte;</li> <li>• Inviabilidade econômica.</li> <li>• Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria”;</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas e financiamento para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética;</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que possuam o Selo Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Criação de um programa de depreciação obrigatória de equipamentos de geração de calor e vapor;</li> <li>• Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas;</li> <li>• Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial);</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono;</li> <li>• Implementação do Projeto Siderurgia Sustentável;</li> <li>• Inclusão de todos os setores de indústria no Plano Indústria, ou naquele que vier a sucedê-lo no âmbito da NDC brasileira;</li> <li>• Obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Aplicação de fornos Scope 21 (siderurgia)                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de capital e assimetria, falta e custos de transação do crédito;</li> <li>• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>• Ausência de viabilidade econômica;</li> <li>• Competição com outros investimentos;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial;</li> <li>• Custos da importação;</li> <li>• Dificuldade na elaboração de projetos por médias e pequenas empresas;</li> <li>• Falta de conhecimento técnico para identificar, implementar e operar a medida, em particular em empresas de médio e pequeno porte;</li> <li>• Falta de conteúdo local da tecnologia;</li> <li>• Resistência à substituição de equipamentos por aversão a mudança, risco de desemprego e complexidade operacional;</li> <li>• Restrição à instalação pelo <i>layout</i> da planta;</li> <li>• Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Captação de recursos para investimento em ações de mitigação no GCF, GEF e BID;</li> <li>• Criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria”;</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que possuam o Selo Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética;</li> <li>• Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Criação de um programa de depreciação obrigatória de fornos;</li> <li>• Criação, por meio de parcerias público-privadas, de atividades de capacitação para médias e pequenas empresas na elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica para acesso a crédito;</li> <li>• Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono;</li> <li>• Desoneração de importações de tecnologias de baixo carbono;</li> <li>• Diversificação das linhas de crédito para atender pequenas, médias e grandes empresas;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono;</li> <li>• Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas como incentivo para acesso a condições diferenciadas de crédito em bancos públicos de fomento;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>• Promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos de eficiência energética.</li> </ul> |
| Implementação de programas de inspeção e manutenção em plataformas (E&P de óleo e gás) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de capital e assimetria, falta e custos de transação do crédito;</li> <li>• Competição com investimentos alternativos;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia;</li> <li>• Inexistência de limites de emissões para plataformas;</li> <li>• Inviabilidade econômica;</li> <li>• Resistência à substituição de equipamentos por aversão a mudança, risco de desemprego e complexidade operacional.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Eficiência Energética em Plataformas e Refinarias de Petróleo”;</li> <li>• Criação de Selo de Eficiência Industrial para etiquetagem de plataformas;</li> <li>• Criação do “Plano Energia de Baixo Carbono”, visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor energético;</li> <li>• Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono;</li> <li>• Discriminação de emissões nos inventários corporativos ao nível das plataformas vinculada à liberação de crédito proveniente de bancos públicos de fomento;</li> <li>• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos;</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono;</li> <li>• Obrigatoriedade da adoção das melhores tecnologias disponíveis (MTD) para novas plataformas ou troca de equipamentos em plataformas existentes;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>• Promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos de eficiência energética.</li> <li>• Realização de campanhas de sensibilização, capacitação e informação acerca de tecnologias de baixo carbono junto ao setor.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aplicação da rota GTL (E&P de óleo e gás)                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alto custo de capital e assimetria, falta e custos de transação do crédito;</li> <li>Competição com investimentos alternativos;</li> <li>Complexidade operacional da rota;</li> <li>Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia;</li> <li>Inexistência de limites de emissões para plataformas;</li> <li>Inviabilidade econômica.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Criação da linha de crédito "Financiamento a empreendimentos – Eficiência Energética em Plataformas e Refinarias de Petróleo";</li> <li>Criação de Selo de Eficiência Industrial para etiquetagem de plataformas;</li> <li>Criação do "Plano Energia de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor energético;</li> <li>Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono;</li> <li>Discriminação de emissões nos inventários corporativos ao nível das plataformas vinculada à liberação de crédito proveniente de banco públicos de fomento;</li> <li>Elaboração de acordos de cooperação técnica para realização de estudos detalhados acerca de possibilidades concretas de mitigação de emissões;</li> <li>Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial e etiquetagem de plataformas e refinarias);</li> <li>Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono;</li> <li>Obrigatoriedade da adoção das melhores tecnologias disponíveis (MTD) para novas plataformas ou troca de equipamentos em plataformas existentes;</li> <li>Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>Realização de campanhas de sensibilização, capacitação e informação junto ao setor acerca da rota de GTL.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Captura de carbono em destilarias a etanol (biocombustíveis)                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alto custo de capital e de O&amp;M da tecnologia de captura;</li> <li>Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais;</li> <li>Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>Competição com outros investimentos;</li> <li>Conjuntura econômica e setorial;</li> <li>Falta aceitação da tecnologia;</li> <li>Incerteza acerca da disponibilidade comercial;</li> <li>Inexistência de arcabouço regulatório para o transporte de <math>\text{CO}_2</math> capturado;</li> <li>Inexistência de redes de carodutos para transporte do <math>\text{CO}_2</math>;</li> <li>Inviabilidade econômica;</li> <li>Risco do sobre ou subdimensionamento da captura e transporte de <math>\text{CO}_2</math>;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Criação da linha de crédito "Financiamento a empreendimentos – Captura de carbono";</li> <li>Criação de associações que possibilitem espaços abertos para que os agentes interessados (entidades e agentes do governo; institutos de pesquisa, desenvolvimento e inovação; universidades; indústria de TIC em hardware, software e equipamentos; e empresas do setor energético) possam compartilhar experiências, opiniões e informações técnicas;</li> <li>Criação de laboratórios para testar em menor escala os impactos do armazenamento de <math>\text{CO}_2</math> em sumidouros geológicos e projetos de rede de dutos para coleta de <math>\text{CO}_2</math> a partir das fontes estacionárias;</li> <li>Criação de Selo de Eficiência Industrial para etiquetagem de unidades fabris;</li> <li>Criação do "Plano Energia de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor energético;</li> <li>Cursos de formação técnica que permitam que profissionais tenham a capacidade de desenvolver e dar assistência a produtos relacionados com a implantação de rede de carodutos e armazenamento geológico no Brasil;</li> <li>Divulgação de estudos e trabalhos técnicos no tema, visando à informação da população e consequente aceitação por parte da opinião pública de que é uma grande barreira a implementação de redes de dutos, por exemplo, de acordo com experiências internacionais;</li> <li>Obrigatoriedade da adoção das melhores tecnologias disponíveis (MTD) em novas plantas industriais do setor;</li> <li>Elaboração e implementação de projetos-piloto de captura de <math>\text{CO}_2</math> no setor;</li> <li>Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>Proposta de estrutura regulatória que contenha um conjunto de informações e procedimentos (etapas de um projeto, agentes atuantes e órgãos fiscalizadores) para a implementação segura e eficaz de técnicas de CAC no Brasil com o foco principal nas etapas de transporte e armazenamento geológico de <math>\text{CO}_2</math>.</li> </ul> |
| Drenagem de gás por perfurações com combustão em flare ou motores, e remoção e recuperação de metano do ar de ventilação (elétrico) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ausência de viabilidade econômica;</li> <li>Baixa concentração do metano;</li> <li>Dificuldade de acesso a crédito;</li> <li>Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia;</li> <li>Inexistência de limites de emissões na mineração;</li> <li>Inviabilidade econômica;</li> <li>Lock-in associado aos empreendimentos atuais;</li> <li>Maior exigência em relação à especificação do gás produzido.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Criação da linha de crédito "Financiamento a empreendimentos – Eficiência Energética em Mineração de Carvão e Usinas Termelétricas";</li> <li>Criação do "Plano Energia de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor elétrico.</li> <li>Elaboração de acordos de cooperação técnica para realização de estudos detalhados acerca de possibilidades concretas de mitigação de emissões;</li> <li>Estabelecimento de limites de emissão para a mineração de carvão;</li> <li>Obrigatoriedade da adoção das melhores tecnologias disponíveis (MTD) para atividades de mineração;</li> <li>Obrigatoriedade de realização e apresentação de inventários de emissões e auditorias energéticas como pré-requisito para a liberação de crédito proveniente de banco públicos de fomento;</li> <li>Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>Realização de campanhas de sensibilização, capacitação e informação acerca dos benefícios das atividades de baixo carbono.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Inserção da biomassa em cocombustão nas termelétricas a carvão (elétrico)</p>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de viabilidade econômica;</li> <li>• Baixa competitividade da biomassa perante o carvão importado;</li> <li>• Competição com investimentos alternativos;</li> <li>• Custos de acesso à biomassa;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia;</li> <li>• Falta de informações públicas discriminadas sobre o setor.</li> <li>• Falta de maturidade tecnológica;</li> <li>• Inexistência de limites de emissões para termelétricas;</li> <li>• Inviabilidade econômica;</li> </ul>                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Eficiência Energética em Mineração de Carvão e Usinas Termelétricas”;</li> <li>• Criação de leilões específicos com preços-teto diferenciados para UTE que operam com biomassa;</li> <li>• Criação de limites mínimos para taxas de cocombustão em UTE;</li> <li>• Criação do “Plano Energia de Baixo Carbono”, visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor elétrico;</li> <li>• Elaboração de acordos de cooperação técnica para realização de estudos detalhados acerca de possibilidades concretas de mitigação de emissões;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão para UTE;</li> <li>• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos, mediante a criação de Selo de Eficiência Industrial para etiquetagem de usinas termelétricas;</li> <li>• Fomento à criação de cooperativas de coleta de biomassa;</li> <li>• Obrigatoriedade da adoção das melhores tecnologias disponíveis (MTD) para novas termelétricas;</li> <li>• Obrigatoriedade de realização e apresentação de inventários de emissões e auditorias energéticas como pré-requisito para a liberação de crédito proveniente de banco públicos de fomento;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>• Programa de descomissionamento de termelétricas antigas;</li> <li>• Realização de campanhas de sensibilização, capacitação e informação acerca dos benefícios das atividades de baixo carbono;</li> <li>• Realização de intercâmbios de pessoal técnico em universidades de referência para estudos de baixo carbono.</li> </ul> |
| <p>Intensificação da pecuária, por meio da expansão do confinamento da pecuária bovina de corte (Afolu)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto poder de mercado dos frigoríficos;</li> <li>• Assistência técnica rural insuficiente;</li> <li>• Crédito subsidiado de difícil acesso, principalmente para os pequenos e médios produtores.</li> <li>• Custo fixo alto associado à falta de linhas de crédito específicas para a atividade;</li> <li>• Inviabilidade econômica;</li> <li>• Gestão e visão de negócio pouco profissional do pecuarista tradicional;</li> <li>• Lacunas de conhecimento sobre intensificação pecuária em diferentes biomas;</li> <li>• Limitação das regiões geográficas propícias à intensificação.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitação de técnicos para implementar as medidas de baixo carbono;</li> <li>• Condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados à realização de investimentos nos órgãos de ATER (assistência técnica e extensão rural) e regulamentação do Programa de Regularização Ambiental (PRA);</li> <li>• Consolidação e expansão dos planos de governo já existentes (ABC e Inovagro);</li> <li>• Criação de fundos de aval para permitir o acesso a crédito de produtores sem o título da terra;</li> <li>• Criação de linhas de crédito no Plano ABC para atividades de baixo carbono;</li> <li>• Desenvolvimento de novas tecnologias agropecuárias;</li> <li>• Expansão das cooperativas de pecuaristas e agricultores;</li> <li>• Expansão das linhas de crédito específicas para atividades de baixo carbono mediante captação em fundos internacionais;</li> <li>• Fomento à criação de polos regionais de intensificação da pecuária;</li> <li>• Fortalecimento do Conselho Administrativo de Defesa Econômica e do Ministério da Fazenda para garantir a defesa da concorrência;</li> <li>• Fortalecimento dos órgãos de extensão rural;</li> <li>• Integração de sistemas de informação governamentais e desburocratização do acesso ao crédito rural.</li> <li>• Integração entre políticas de intensificação e de conservação;</li> <li>• Juros mais atrativos e com prazos de carência estendidos, principalmente para pequenos e médios produtores, quando a atividade implementada resultar em mitigação de emissões de GEE.</li> </ul>                                                                         |
| <p>Intensificação da pecuária por meio da recuperação de florestas degradadas (Afolu)</p>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultura da transgressão ambiental e baixa eficácia do CAR na redução do desmatamento no Mato Grosso e Pará;</li> <li>• Custo elevado;</li> <li>• Desconhecimento das técnicas de restauração florestal;</li> <li>• Desconhecimento e aumento das taxas de juros das linhas de crédito do Pronaf Florestal e Programa ABC;</li> <li>• Inviabilidade econômica;</li> <li>• Viés declaratório nos acordos dos ajustes de conduta que envolvam a restauração florestal.</li> </ul>                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprimoramento dos sistemas de monitoramento de desmatamento existentes, ampliação de sistemas de monitoramento para os demais biomas e desenvolvimento de sistemas de monitoramento para restauração florestal.</li> <li>• Condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados à realização de investimentos nos órgãos de ATER (assistência técnica e extensão rural) e regulamentação do Programa de Regularização Ambiental (PRA);</li> <li>• Criação de linhas de crédito no Plano ABC para atividades de baixo carbono;</li> <li>• Criação de parcerias público-privadas, visando à implementação de viveiros a partir dos quais seriam doadas mudas;</li> <li>• Elaboração de manuais de técnicas de restauração florestal;</li> <li>• Integração do Programa Mais Ambientes com os PRA estaduais;</li> <li>• Obtenção de recursos externos, visando desatrelar a taxa de juros do Pronaf Florestal e Programa ABC da conjuntura econômica;</li> <li>• Realização de campanhas publicitárias para disseminação das linhas de financiamento e de atividades de capacitação ministradas pelas universidades;</li> <li>• Vinculação da isenção e da redução do Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural (ITR) à regularização por meio da restauração florestal.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Redução no desmatamento (Afolu)                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ausência de alternativa econômica e demanda de insumos do desmatamento;</li> <li>Baixa eficácia do CAR na redução do desmatamento no Mato Grosso;</li> <li>Falta de infraestrutura legal e tecnológica para PSA.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Criação de linhas de crédito no Plano ABC para atividades de baixo carbono;</li> <li>Criação de estruturas de financiamento para ações de comando e controle, com captação que também utilize mecanismos internacionais de crédito (GCF, GEF, BID etc.);</li> <li>Exigência de selo de procedência da madeira;</li> <li>Incentivo a atividades extrativistas e de manejo florestal sustentáveis;</li> <li>Pagamento por serviços ambientais;</li> <li>Reforma institucional e legal para o julgamento e a execução dos processos administrativos e criminais;</li> <li>Regulamentação sobre o uso do CAR e sensoriamento remoto para fiscalização eletrônica do desmatamento;</li> <li>Regulamentação do XCRA como infraestrutura para PSA.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Eficientização de automóveis, veículos comerciais leves e motocicletas (transportes) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ausência de limite de emissões para automóveis;</li> <li>Falta de conhecimento sobre custos e vantagens de melhorias nos motores;</li> <li>Hábito de consumo de veículos com maior potência;</li> <li>Inviabilidade econômica;</li> <li>Lock-in tecnológico;</li> <li>Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias.</li> </ul>                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Criação da linha de crédito "Financiamento à Transição de Mobilidade de Baixo Carbono", com taxas subsidiadas de juros condicionada ao cumprimento de metas de eficiência energética;</li> <li>Criação de metas de eficiência energética, associada com mercado de crédito de eficiência;</li> <li>Criação do "Plano Transportes de Baixo Carbono" visando a adoção de metas de redução de emissões no setor;</li> <li>Estabelecimento de penalidades econômicas ao descumprimento de metas;</li> <li>Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de motores mais eficientes;</li> <li>Obrigatoriedade da etiquetagem relativa à eficiência energética para veículos novos e usados;</li> <li>Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>Promoção de campanhas para conscientização acerca dos benefícios de veículos mais eficientes;</li> <li>Taxação de veículos ineficientes e redução de impostos para veículos eficientes (feebate).</li> </ul>                                                                                                                                                         |
| Eficientização de trens, embarcações e aeronaves (transportes)                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>Competição com outros investimentos;</li> <li>Conjuntura econômica e setorial;</li> <li>Elevação dos custos de operação e manutenção (O&amp;M);</li> <li>Falta de conhecimento sobre custos e vantagens de melhorias nos motores;</li> <li>Inviabilidade econômica;</li> <li>Lock-in tecnológico;</li> <li>Repasse dos custos de efficientização para passageiros;</li> <li>Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aditivo aos contratos de concessão de transporte regulamentando o repasse às tarifas das metas de efficientização;</li> <li>Criação da linha de crédito "Financiamento à Transição de Mobilidade de Baixo Carbono", com taxas subsidiadas de juros, condicionada ao cumprimento de metas de efficientização energética;</li> <li>Criação de metas de eficiência energética, associada com mercado de crédito de eficiência;</li> <li>Criação do "Plano Transportes de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no setor;</li> <li>Estabelecimento de penalidades econômicas ao descumprimento de metas;</li> <li>Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de motores mais eficientes;</li> <li>Obrigatoriedade da etiquetagem relativa à eficiência energética para aeronaves, embarcações e trens;</li> <li>Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>Taxação de aeronaves, embarcações e trens ineficientes e redução de impostos para veículos eficientes (feebate).</li> </ul>                                                                                                |
| Incineração de resíduos (resíduos)                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alto custo de capital e de transação para acesso a crédito;</li> <li>Ausência de mão de obra qualificada para implementação da tecnologia;</li> <li>Baixa legitimização da prática;</li> <li>Baixo desenvolvimento da cadeia de serviços;</li> <li>Falta de conhecimento dos benefícios das tecnologias e/ou para a elaboração de estudos de viabilidade técnica e econômica (EVTE);</li> <li>Inviabilidade econômica.</li> </ul>                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Articulação com governos subnacionais;</li> <li>Condicionalidade da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados e municípios à implementação de contrapartidas de gestão de baixo carbono dos RSU.</li> <li>Criação de convênio com universidades para ministrar treinamentos na elaboração de EVTE e implementação e monitoramento de tecnologias de baixo carbono;</li> <li>Criação de estruturas de financiamento (fundos dedicados, green bonds, fundos de clima, fundos de desenvolvimento tecnológico e linhas de financiamento), com captação que também utilize mecanismos internacionais de crédito (GCF, GEF, BID etc.);</li> <li>Criação de um centro nacional de apoio a municípios para a gestão de baixo carbono dos resíduos sólidos;</li> <li>Criação do "Plano Gestão de Resíduos de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no setor;</li> <li>Definição de metas de uso de acordo com o mapa de competitividade (mapeamento sistêmico);</li> <li>Elaboração de guias para arranjos regulatórios e comerciais (PPP, consórcios etc.);</li> <li>Investimentos em projetos-piloto de incineração de resíduos;</li> <li>Precificação de carbono a partir de 2025.</li> </ul> |
| Ampliação da reciclagem de RSU (resíduos)                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Baixa legitimização da prática;</li> <li>Desafios econômicos e institucionais relacionados à gestão municipal;</li> <li>Falta de conhecimento dos benefícios da reciclagem de RSU;</li> <li>Inexistência de arranjos comerciais adequados.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Articulação e elaboração de mecanismos financeiros com governos subnacionais;</li> <li>Condicionalidade da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados e municípios à implementação de contrapartidas de gestão de baixo carbono dos RSU;</li> <li>Criação de um centro nacional de apoio a municípios para a gestão de baixo carbono dos resíduos sólidos;</li> <li>Criação do "Plano Gestão de Resíduos de Baixo Carbono", visando à adoção de metas de redução de emissões no setor;</li> <li>Elaboração de guias para arranjos regulatórios e comerciais (PPP, consórcios etc.);</li> <li>Precificação de carbono a partir de 2025.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

O cenário BC100 representa a situação de maior potencial de mitigação, porém com elevado grau de incerteza acerca da implementação, dado o peso da captura de carbono nesse cenário. Em 2050, a captura de carbono representa 24% do montante de abatimento medido na rodada base.

Em termos totais, seria possível atingir redução de emissões de 41,7% em 2050, com relação ao cenário REF na rodada base, e 39,7% na rodada de sensibilidade, diferencial potencial que está relacionado com a expansão baseada em termelétricas a carvão para atender a eletrificação do setor de transportes, na rodada de sensibilidade.

Pode-se visualizar no Quadro 8, o conjunto de barreiras e instrumentos de política pública que precisam ser implementados e/ou reformulados para adoção do cenário proposto. No entanto, dado o papel da CAC no cenário BC100, opta-se aqui por sintetizar subsídios relacionados exclusivamente a essa tecnologia.

A CAC foi avaliada nos seguintes setores: cimento; E&P de óleo e gás natural; ferro-gusa e aço; químico; refino de petróleo; sucroalcooleiro; termelétricas a carvão e gás natural. Embora seja consistentemente identificada como medida de mitigação relevante, existe grande incerteza acerca da aceitação e da disponibilidade da opção CAC em um futuro próximo. Essas incertezas incluem esferas tecnológicas, econômicas, regulatórias e sociopolíticas. Trata-se de um círculo vicioso em que o investimento atual em CAC não ocorre porque é muito alto. Contudo, há expectativa acerca da redução desse investimento, que depende do desenvolvimento tecnológico no presente. Em outras palavras, adiar investimentos entra em conflito com a própria expectativa de sucesso futuro do CAC.

Mais que isso, o transporte e o armazenamento geológico de carbono, apesar de, na média, não representarem o principal fator de custos da opção CAC, podem vir a enfrentar barreiras de ordem regulatória.

Enquanto a captura de carbono precisa vencer aspectos tecnológicos relacionados, sobretudo, a experiência e aprendizagem, o transporte por dutos requer a existência de um arranjo institucional capaz de lidar com questões como aceitabilidade social, planejamento de hubs, direito de propriedade, definição de tarifas e monitoramento do armazenamento. Atualmente, o Brasil já enfrenta o desafio de expandir sua rede de gás natural, dado o alto custo inicial e a natureza monopolista do transporte por dutos. O gás natural é um produto comercializável, ao contrário do CO<sub>2</sub>, que é uma externalidade negativa cujo valor está associado às políticas de mitigação das emissões de GEE. Portanto, é de se esperar que seja ainda mais difícil criar e gerir um arranjo institucional para a construção de dutos para o transporte de carbono no Brasil.

A superação dessas barreiras requer a implementação de uma série de instrumentos de política pública, dentre os quais se destacam:

- Criação de laboratórios para testar em menor escala os impactos do armazenamento de CO<sub>2</sub> em sumidouros geológicos e projetos de rede de dutos para coleta de CO<sub>2</sub> a partir das fontes estacionárias;
- Proposta de estrutura regulatória que contenha um conjunto de informações e procedimentos (etapas de um projeto, agentes atuantes e órgãos fiscalizadores) para a implementação segura e eficaz de técnicas de CAC no Brasil com o foco principal nas etapas de transporte e armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>;
- Cursos de formação técnica que permitam que profissionais tenham a capacidade de desenvolver e dar assistência a produtos relacionados com a implantação de rede de carbidutos e armazenamento geológico no Brasil;

- Associações que possibilitem espaços abertos para que os agentes interessados (entidades e agentes do governo; institutos de pesquisa, desenvolvimento e inovação; universidades; indústria de TIC em *hardware*, *software* e equipamentos; e empresas do setor energético) possam compartilhar experiências, opiniões e informações técnicas;
- Divulgação de estudos e trabalhos técnicos no tema, visando à informação da população e consequente aceitação por parte da opinião pública de que é uma grande barreira a implementação de redes de dutos, por exemplo, de acordo com experiências internacionais;
- Implementação de unidades-piloto de CAC nos setores avaliados nesse estudo.

**Quadro 8 – Medidas, Barreiras de Implementação e Instrumentos de Política Pública para Adoção do Cenário BC100 relativo às Rodadas Base e Sensibilidade**

| Medidas (setores)                                                    | Barreiras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Instrumentos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aumento do uso de gás natural em caldeiras e fornos (químico)        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de capital e assimetria, falta e custos de transação do crédito;</li> <li>• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial recessiva;</li> <li>• Dificuldade de acesso e alto custo de transação nas operações de financiamento;</li> <li>• Falta de conhecimento acerca das vantagens da adoção da medida;</li> <li>• Falta de garantia de suprimento de gás natural;</li> <li>• Inviabilidade econômica, associada com alto custo de investimento.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito "Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria";</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas e financiamento para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética;</li> <li>• Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Criação, por meio de parcerias público-privadas, de atividades de capacitação para médias e pequenas empresas na elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica para acesso a crédito;</li> <li>• Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento, relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono;</li> <li>• Diversificação das linhas de crédito existentes para atender pequenas, médias e grandes empresas;</li> <li>• Elaboração de contratos e seguros de fornecimento;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>• Inclusão de todos os setores de indústria no Plano Indústria, ou naquele que vier a sucedê-lo no âmbito da NDC brasileira;</li> <li>• Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e elaboração de inventários de emissões como incentivo para acesso a condições diferenciadas de crédito em bancos públicos de fomento;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>• Promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos de eficiência energética.</li> </ul> |
| Adoção de sistemas de fornos com cinco estágios de ciclone (cimento) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>• Competição com outros investimentos;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial recessiva;</li> <li>• Dificuldade de acesso e alto custo de transação nas operações de financiamento;</li> <li>• Falta de conhecimento acerca das vantagens da adoção da medida;</li> <li>• Inviabilidade econômica;</li> <li>• Restrições à instalação pelo <i>layout</i> das plantas.</li> </ul>                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito "Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria";</li> <li>• Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Criação, por meio de parcerias público-privadas, de atividades de capacitação para médias e pequenas empresas na elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica para acesso a crédito;</li> <li>• Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento, relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono;</li> <li>• Diversificação das linhas de crédito existentes para atender pequenas, médias e grandes empresas;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono;</li> <li>• Inclusão de todos os setores de indústria no Plano Indústria, ou naquele que vier a sucedê-lo no âmbito da NDC brasileira;</li> <li>• Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e elaboração de inventários de emissões como incentivo para acesso a condições diferenciadas de crédito em bancos públicos de fomento;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>• Promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos de eficiência energética.</li> </ul>                                                     |



|                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Uso de veículos híbridos (mineração)                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de viabilidade econômica, que resulta do alto custo de aquisição dos veículos;</li> <li>• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>• Assimetria, falta e altos custos de acesso ao crédito;</li> <li>• Encarecimento da importação dos veículos devido à taxa de câmbio;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial recessiva;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre as vantagens da eficiência energética;</li> <li>• Falta de conhecimento técnico para identificar, implementar e operar a medida, em particular em empresas de médio e pequeno porte;</li> <li>• Falta de conteúdo local dos veículos híbridos dificultam a manutenção.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito “Financiamento à Transição de Mobilidade de Baixo Carbono”, com taxas subsidiadas de juros para aquisição dos veículos;</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que possuam o Selo Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono;</li> <li>• Desoneração de impostos para importação dos veículos;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>• Inclusão do setor no Plano Indústria, ou naquele plano que vier a sucedê-lo;</li> <li>• Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e apresentação de inventários de emissões para acesso a condições diferenciadas de crédito em bancos públicos de fomento;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>• Promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos de eficiência energética.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Substituição da selagem a óleo pela selagem a gás no eixo do compressor centrífugo (E&P de óleo e gás) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de capital e assimetria, falta e custos de transação do crédito;</li> <li>• Competição com investimentos alternativos;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia;</li> <li>• Inexistência de limites de emissões para plataformas;</li> <li>• Inviabilidade econômica;</li> <li>• Resistência à substituição de equipamentos por aversão a mudança, risco de desemprego e complexidade operacional.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Eficiência Energética em Plataformas e Refinarias de Petróleo”;</li> <li>• Criação de Selo de Eficiência Industrial para etiquetagem de plataformas;</li> <li>• Criação de um programa de depreciação obrigatória de equipamentos de geração de calor e vapor;</li> <li>• Criação do “Plano Energia de Baixo Carbono”, visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor energético;</li> <li>• Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono;</li> <li>• Discriminação de emissões nos inventários corporativos ao nível das plataformas vinculada à liberação de crédito proveniente de bancos públicos de fomento;</li> <li>• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos;</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono;</li> <li>• Obrigatoriedade da adoção das melhores tecnologias disponíveis (MTD) para novas plataformas ou troca de equipamentos em plataformas existentes;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>• Promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos de eficiência energética.</li> <li>• Realização de campanhas de sensibilização, capacitação e informação acerca de tecnologias de baixo carbono junto ao setor.</li> </ul> |
| Instalação de caldeiras supercríticas nas termelétricas a carvão (elétrico)                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Competição com investimentos alternativos;</li> <li>• Concentração de ofertantes de carvão importado;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia;</li> <li>• Falta de informações públicas discriminadas sobre o setor;</li> <li>• Inexistência de limites de emissões para termelétricas;</li> <li>• Inviabilidade econômica, associada com alto custo de investimento;</li> <li>• Oligopólio de ofertantes das caldeiras.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética em Mineração de Carvão e Usinas Termelétricas”;</li> <li>• Criação do “Plano Energia de Baixo Carbono”, visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor elétrico;</li> <li>• Desoneração de importação de caldeiras supercríticas;</li> <li>• Elaboração de acordos de cooperação técnica para realização de estudos detalhados acerca de possibilidades concretas de mitigação de emissões;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão para UTE;</li> <li>• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos, mediante a criação de Selo de Eficiência Industrial para etiquetagem de usinas termelétricas;</li> <li>• Obrigatoriedade da adoção das melhores tecnologias disponíveis (MTD) para novas termelétricas;</li> <li>• Obrigatoriedade de realização de auditorias energéticas como pré-requisito para a liberação de crédito proveniente de banco públicos de fomento;</li> <li>• Obrigatoriedade de realização e apresentação de inventários de emissões e auditorias energéticas como pré-requisito para a liberação de crédito proveniente de banco públicos de fomento;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>• Programa de descomissionamento de termelétricas antigas;</li> <li>• Realização de campanhas de sensibilização, capacitação e informação acerca dos benefícios das atividades de baixo carbono;</li> <li>• Realização de intercâmbios de pessoal técnico em universidades de referência para estudos de baixo carbono.</li> </ul>                                                                                     |



|                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Geração eólica em ventos a 100 metros (elétrico)                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de importação dos componentes;</li> <li>• Atraso no licenciamento ambiental e de concessão de licenças para conexão das usinas <i>ao grid</i>;</li> <li>• Atrasos nas permissões de planejamento e assentamento de usinas;</li> <li>• Falta de adequação das permissões de empreendimentos;</li> <li>• Falta de transparência no que tange a metas de longo prazo para a inserção de fonte eólica;</li> <li>• Inexistência de um marco regulatório claro para a fonte;</li> <li>• Inviabilidade econômica, associada com alto custo de investimento;</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação do “Plano Energia de Baixo Carbono”, visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor elétrico;</li> <li>• Diminuição dos custos de transação para concessão de financiamento, por bancos públicos de fomento, para fontes renováveis de geração de eletricidade;</li> <li>• Diminuição dos gargalos de infraestrutura, por meio da realização de investimentos em modais alternativos de transporte, em particular ferroviário, para locomoção de equipamentos de grande porte até as fazendas eólicas;</li> <li>• Diminuição dos impostos de importação de componentes das torres eólicas;</li> <li>• Estabelecimento de um marco regulatório para o setor que seja previsível, confiável e compatível com objetivos ambientais e sociais;</li> <li>• Estabelecimento de limites para emissões de GEE em plantas termelétricas a combustíveis fósseis;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>• Realização de ao menos um leilão de reserva para garantir mercado à fonte, e um leilão do tipo A-3 ao ano para regularizar a oferta com a demanda das distribuidoras;</li> <li>• Realização de investimentos em P&amp;D para aerogeradores mais aptos a operar nas condições brasileiras.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Eficientização de motores de caminhões leves, médios, pesados e semipesados (transportes)                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>• Competição com outros investimentos;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial;</li> <li>• Elevação dos custos de operação e manutenção (O&amp;M);</li> <li>• Falta de conhecimento sobre custos e vantagens de melhorias nos motores;</li> <li>• Inviabilidade econômica, associada com alto custo de investimento;</li> <li>• <i>Lock-in</i> tecnológico;</li> <li>• Repasse dos custos de efficientização para passageiros;</li> <li>• Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias;</li> <li>• Utilização de veículos com mais de 20 anos no transporte de mercadorias em centros urbanos e grãos na zona rural.</li> </ul>                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sucateamento obrigatório para caminhões com mais de 20 anos de uso;</li> <li>• Taxação de caminhões ineficientes e redução de impostos para caminhões eficientes (<i>feebate</i>);</li> <li>• Obrigatoriedade da etiquetagem relativa à eficiência energética para caminhões novos e usados;</li> <li>• Criação de metas de eficiência energética, associada com mercado de crédito de eficiência.</li> <li>• Criação da linha de crédito “Financiamento à Transição de Mobilidade de Baixo Carbono”, com taxas subsidiadas de juros condicionada ao cumprimento de metas de efficientização energética;</li> <li>• Criação do “Plano Transportes de Baixo Carbono” visando a adoção de metas de redução de emissões no setor;</li> <li>• Estabelecimento de penalidades econômicas ao descumprimento de metas;</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de motores mais eficientes;</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Captura de carbono nos setores cimento, E&P de óleo e gás natural, ferro-gusa e aço, químico, refino de petróleo, sucroalcooleiro e termelétricas a carvão e gás natural (vários) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de capital e de O&amp;M da tecnologia de captura;</li> <li>• Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais;</li> <li>• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões;</li> <li>• Competição com outros investimentos;</li> <li>• Conjuntura econômica e setorial;</li> <li>• Falta aceitação da tecnologia;</li> <li>• Incerteza acerca da disponibilidade comercial;</li> <li>• Inexistência de arcabouço regulatório para o transporte de <math>\text{CO}_2</math> capturado;</li> <li>• Inexistência de redes de carbodutos para transporte do <math>\text{CO}_2</math>;</li> <li>• Inviabilidade econômica;</li> <li>• Risco do sobre ou subdimensionamento da captura e transporte de <math>\text{CO}_2</math>;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito “Financiamento a plantas-piloto – Captura de carbono”;</li> <li>• Criação de associações que possibilitem espaços abertos para que os agentes interessados (entidades e agentes do governo; institutos de pesquisa, desenvolvimento e inovação; universidades; indústria de TIC em hardware, software e equipamentos) possam compartilhar experiências, opiniões e informações técnicas;</li> <li>• Criação de laboratórios para testar em menor escala os impactos do armazenamento de <math>\text{CO}_2</math> em sumidouros geológicos e projetos de rede de dutos para coleta de <math>\text{CO}_2</math> a partir das fontes estacionárias;</li> <li>• Criação de Selo de Eficiência Industrial para etiquetagem de unidades fabris;</li> <li>• Criação de planos setoriais de baixo carbono, visando à adoção de metas de redução de emissões no âmbito do setor energético;</li> <li>• Cursos de formação técnica que permitam que profissionais tenham a capacidade de desenvolver e dar assistência a produtos relacionados com a implantação de rede de carbodutos e armazenamento geológico no Brasil;</li> <li>• Divulgação de estudos e trabalhos técnicos no tema, visando à informação da população e consequente aceitação por parte da opinião pública de que é uma grande barreira a implementação de redes de dutos, por exemplo, de acordo com experiências internacionais;</li> <li>• Elaboração e implementação de projetos-piloto de captura de <math>\text{CO}_2</math>;</li> <li>• Obrigatoriedade da adoção das melhores tecnologias disponíveis (MTD) em novas plantas industriais;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>• Proposta de estrutura regulatória que contenha um conjunto de informações e procedimentos (etapas de um projeto, agentes atuantes e órgãos fiscalizadores) para a implementação segura e eficaz de técnicas de CAC no Brasil com o foco principal nas etapas de transporte e armazenamento geológico de <math>\text{CO}_2</math>.</li> </ul> |





# Considerações finais

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto “Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil” considera um exercício inédito, em nível nacional, de modelagem integrada de trajetórias de baixo carbono. O procedimento metodológico trouxe robustez aos resultados na medida em que garantiu tanto consistência macroeconômica quanto identificação de potenciais setoriais aditivos de abatimento de emissões de GEE. Ademais, apresentou as oportunidades de mitigação por uma lógica de custo-efetividade, ressaltando os impactos que sua implementação traria para diferentes agregados econômicos e sociais, entre os quais, PIB, PIB *per capita*, pessoal ocupado, produto por trabalhador, renda do trabalho e salário médio.

Foram realizadas duas rodadas de modelagem nas ferramentas MSB8000, Otimizagro e Efes, que consequentemente resultaram em dois conjuntos de trajetórias de emissões, avaliadas em termos de cenários REF, BC0, BC10, BC25, BC50 e BC100. O primeiro conjunto de trajetórias de emissões foi denominado rodada base. Por sua vez, na rodada de sensibilidade, foram testadas variações no conjunto de premissas.

A análise de impactos econômicos testou a implementação dos cenários BC0, BC25 e BC100, tendo em vista os seguintes critérios:

- O cenário BC0 abrange medidas que demandam menor esforço para implementação, pois são viáveis economicamente, mas não são implementadas devido a outras barreiras;
- O cenário BC25 apresenta atividades de baixo carbono em vias de apresentarem atratividade econômica, demandando precificação de carbono compatível com valores verificados na segunda fase do comércio de permissões de emissões da União Europeia – EU-ETS;
- Ao nível de 100 US\$/tCO<sub>2</sub>e (BC100), estão abrangidas medidas que demandam tributação alta de carbono e que resultam no maior potencial de mitigação para MTD no período 2020-2050.

A partir da definição dos cenários que seriam avaliados em termos de impactos econômico-sociais, foram testadas três possibilidades de reciclagem do tributo de carbono de 25 e 100 US\$/tCO<sub>2</sub>: i) sem reciclagem da receita do tributo; ii) com reciclagem da receita para o governo; iii) com reciclagem da receita para famílias. Essa hipótese não se aplicou ao cenário com valor de carbono nulo (BC0), dado que este compreende medidas que são viáveis economicamente sem tributação.

A rodada base mostrou que as emissões crescem aproximadamente 37% no período 2020-2050. A adoção dos cenários BC0, BC25 e BC100 permitiria mitigar emissões consideravelmente com relação ao cenário REF. Os potenciais de redução de emissões, em 2030, seriam de 7%, 22% e 28% e, em 2050, de 18%, 31% e 42%, respectivamente.

Por sua vez, a rodada de sensibilidade mostrou que a eletrificação no setor de transportes, em cenários de tributação de carbono entre 25 e 100 US\$/tCO<sub>2</sub>, pode trazer efeitos adversos sobre as emissões no longo prazo, o que demonstra a importância de formular políticas de mitigação segundo uma lógica de minimização de custos para o sistema energético e o setor de Afolu. No horizonte de 2030, a imposição de patamares superiores de mistura de biodiesel ao diesel; o mandato mínimo de 10% de bioquerosene no QAV e 10% de biodiesel no *bunker* marítimo; a participação mínima de 10% de energia solar no *grid* nacional; a redução na demanda de pkm; a venda exclusiva de veículos elétricos; e a eliminação gradual no consumo de biomassa lenhosa proveniente de florestas nativas reduziram as emissões nos cenários BC0, BC25 e BC100, com relação ao cenário REF, em 12%, 26% e 30%. Entretanto, em 2050, não haveria ganho de mitigação no cenário BC0 e, nos cenários BC25 e BC100, esse potencial reduziria, com relação à rodada base, para 29% e 40%, respectivamente.

Os cenários de sensibilidade trouxeram premissas diferentes do senso comum e que servem para analisar o efeitos sistêmicos de políticas de baixo carbono elaboradas com viés meramente setorial. Por essa análise, ficou clara a interação entre os setores de energia e transporte e como a mudança em um setor pode afetar diretamente a necessidade de ajuste do outro, ou seja, mais uma vez, ficam em evidência os benefícios que uma análise integrada pode trazer para a formulação de políticas públicas. Mais que isso, corroboram a necessidade de elaboração de instrumentos de política pública para o abatimento de emissões em que haja convergência entre os objetivos das políticas ambiental, econômica, energética, ciência e tecnologia, industrial e de transportes.

Interessantemente, a modelagem integrada comprovou a tese de que análises exclusivamente setoriais tendem a super e subestimar custos e potenciais de abatimento de emissões, respectivamente (LUCENA et al., 2016; MCTIC, 2017a; 2017f). Avaliando os setores integradamente, verificou-se que o potencial total de mitigação, dado pelo cenário BC100, é 8% inferior ao somatório das análises setoriais, no período de 2020 a 2050. Mais do que isso, o custo de implementação do cenário BC100 revelou-se 14% maior que o obtido setorialmente, dado pelo produto entre potenciais e custos marginais de abatimento das MTD (MCTIC, 2017b; 2017c, 2017d; 2017e; 2017f; 2017g; 2017h; 2017i; 2017j; 2017k; 2017l; 2017m; 2017n; 2017o; 2017p; 2017q; 2017r; 2017s; 2017t; 2017u; 2017v).

A análise de sensibilidade mostrou que a entrada de carros elétricos afeta completamente a estrutura de geração elétrica no setor energético. Primeiramente, a necessidade de produção de eletricidade em escala muito maior que a avaliada na rodada base traz o desafio de expansão da oferta. Segundo, a eletrificação dos transportes resulta em menor demanda de etanol, o que provoca menor disponibilidade de bagaço para a geração elétrica. Com isso, o sistema energético é colocado em uma situação em que é necessário gerar mais eletricidade a partir de menor disponibilidade de bagaço, que é a segunda fonte renovável mais importante para a geração elétrica no longo prazo. Sendo assim, o setor energético necessita recorrer ao carvão para suprir a demanda elétrica, aumentando as suas emissões, principalmente no cenário sem a possibilidade de CAC. A geração elétrica à base de energia solar diminui esse impacto, mas não é capaz de sobrepujar o aumento de emissões.

A implementação dos cenários BC0 e BC25 pouco impactaria os indicadores de PIB, emprego e renda até 2050. Na rodada base, por exemplo, a variação média anual do PIB (%), perante um crescimento médio projetado nesse indicador de 1,86% ao ano entre 2020 e 2050, seria somente de -0,01% e -0,10% ao ano nos cenários BC0 e BC25, respectivamente.

Os setores de mineração, ferro-gusa e aço, elétrico e de petróleo e gás, por outro lado, seriam significativamente afetados mediante a internalização de um valor de carbono a partir de 25 US\$/tCO<sub>2</sub> na economia. Em virtude do poder de encadeamento desses setores com atividades a jusante, é imprescindível elaborar instrumentos de política pública que amenizem potenciais efeitos de transmissão do custo carbono, viabilizando a implementação das opções de mitigação nesses setores.

Por essa razão, foram testados dois mecanismos de reciclagem da tributação de carbono para adoção do cenário dos cenários BC25 e BC100: i) com devolução da receita para as famílias por meio de redução do imposto indireto sobre consumo de bens; e ii) com devolução da receita para o consumo do governo. Cumpre enfatizar que a adoção desse instrumento é desejável apenas a partir de 2025, quando haveriam sido suficientemente medidos os impactos regulatórios de diferentes mecanismos de precificação, visando à seleção daqueles preferenciais em termos de custo-efetividade.

Os resultados revelaram que a reciclagem do tributo para o consumo do governo seria preferencial em termos de PIB, PIB setorial, PIB per capita e produto por trabalhador. A reciclagem para famílias se revelou vantajosa com relação aos indicadores de renda do trabalho e salário médio. Logo, o ideal seria a adoção de um mecanismo misto de reciclagem para famílias e reciclagem para governo, e, para setores em que ambos os mecanismos se mostraram pouco efetivos, seria necessário adotar outros instrumentos. No caso dos setores de petróleo e gás natural, mineração e siderurgia, por exemplo, poderia ser permitida a realização de offsets com o setor de Afolu, tendo em vista a potencialidade de redução de emissões oriundas da queda no desmatamento, intensificação do plantio de florestas comerciais e recuperação de áreas degradadas.

A implementação das medidas mitigatórias exige a remoção de barreiras por meio do aprimoramento e/ou elaboração de instrumentos de política pública. Assim, foram propostos instrumentos para adoção das atividades de baixo carbono abrangidas nos cenários BCO, BC25 e BC100. Com relação ao cenário BCO, é fundamental a implementação dos seguintes mecanismos:

- Criação de um programa de depreciação obrigatória de equipamentos industriais de geração de calor e vapor;
- Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência energética para equipamentos, por meio da criação do Selo de Eficiência Energética Industrial;
- Definição de *benchmark* para novas plantas industriais;
- Estabelecimento de novos limites de emissões pela ANP de queima em *flare* em plataformas de petróleo, considerando a adoção da tecnologia de piloto de ignição;
- Inserção da lenha proveniente de florestas plantadas na Política de Garantia de Preços Mínimos;
- Inclusão de metas e prazos no Programa de Parcerias de Investimentos (PPI), visando à conclusão das obras de infraestrutura e à construção de terminais de integração modal;
- Certificação da madeira de florestamento e implementação em âmbito nacional do Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (Sinaflor);
- Regulamentação do biogás proveniente de RSU e efluentes pela ANP;
- Revisão dos padrões do Selo Procel;
- Implementação de uma regulação específica para a remuneração da repotenciação em usinas hidrelétricas.

A implementação dos cenários BC25 e BC100 requer a precificação de carbono na economia. A opção da tributação do carbono, com instrumentos compensatórios, é preferencial para setores com elevada carbono-intensidade, como é o caso dos segmentos industriais, energético e de transportes. Para o setor de Afolu, no qual a precificação pode levar a aumento no preço dos alimentos sem necessariamente reduzir suas emissões, uma forma de incentivo seria a criação de linhas de crédito, por exemplo, no Plano ABC, para investimento em atividades de baixo carbono. Além dos instrumentos já citados, posto que o cenário BC25 é adicional, são necessários:

- Criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética”;
- Criação de leilões específicos com preços-teto diferenciados para geração elétrica baseada em fontes renováveis de energia;
- Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento de arcabouço regulatório de baixo carbono que inclua a realização de inventários de emissões e auditorias energéticas;
- Taxação de veículos ineficientes e redução de impostos para veículos eficientes (feebate).
- Obrigatoriedade da etiquetagem relativa à eficiência energética para veículos novos e usados;
- Implementação e operacionalização do Cadastro Ambiental Rural (CAR) com sensoriamento remoto para fiscalização eletrônica do desmatamento;
- Vinculação da isenção e da redução do Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural (ITR) à regularização por meio da restauração florestal;
- Condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados à realização de investimentos nos órgãos de ATER (assistência técnica e extensão rural) e à regulamentação do Programa de Regularização Ambiental (PRA);
- Criação de um centro nacional de apoio a municípios para a gestão de baixo carbono dos resíduos sólidos.

A implementação do cenário BC100 é permeada por uma série de incertezas, entre as quais a disponibilidade comercial e a viabilidade econômica das MTD. Por outro lado, o incentivo por meio de instrumentos de política pública à adoção do cenário seria fundamental para transição a uma economia de baixo carbono. Adicionalmente aos cenários anteriores, sua adoção requer:

- Desoneração de impostos para importação dos veículos elétricos e componentes das torres eólicas;
- Criação da linha de crédito “Financiamento à Transição de Mobilidade de Baixo Carbono”, com taxas subsidiadas de juros para aquisição dos veículos elétricos;
- Criação da linha de crédito “Financiamento a plantas-piloto – Captura de carbono”;
- Realização de investimentos em P&D para aerogeradores mais aptos a operar nas condições de vento brasileiras;
- Criação de laboratórios para testar em menor escala os impactos do armazenamento de CO<sub>2</sub> em sumidouros geológicos e projetos de rede de dutos para coleta de CO<sub>2</sub> a partir das fontes estacionárias;
- Elaboração e implementação de projetos-piloto de captura de CO<sub>2</sub>;
- Proposta de estrutura regulatória que contenha um conjunto de informações e procedimentos (etapas de um projeto, agentes atuantes e órgãos fiscalizadores) para a implementação segura e eficaz de técnicas de CAC no Brasil com o foco principal nas etapas de transporte e armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>;

- Aumento da alocação orçamentária do MCTIC visando o fomento à pesquisa, desenvolvimento e demonstração de tecnologias críticas de baixo carbono;
- Cursos de formação técnica que permitam que profissionais tenham a capacidade de desenvolver e dar assistência a produtos relacionados com a implantação de rede de carbodutos e armazenamento geológico no Brasil.

A análise dos instrumentos mostrou que a adoção do cenário BC100 é extremamente complexa e, mesmo os cenários BC0 e BC25 são desafiadores. Portanto, deve ser promovido amplo debate com a sociedade civil e o setor privado, em particular com atores do setor financeiro, dado o patamar de investimentos demandado para adoção das medidas de baixo carbono avaliadas nesses cenários.





# Referências

## REFERÊNCIAS

ADAMS, P. D. et al. *MMRF-GREEN: A dynamic, multisectoral, multi-regional model of Australia*. Australia: Monash University, Centre of Policy Studies, Impact Project, 2000.

ADAMS, P. D.; PARMENTER, B. R. *Computable general equilibrium modeling of environmental issues in Australia*. Handbook of Computable General Equilibrium, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF (Brasil). *Anuário estatístico 2012: Ano-base 2011*. Brasília: Abraf, 2012. 145p. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF12-BR.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2016.

AZZONI, C. R. et al. Climate change, energy use and long-run growth in Brazil. In: AMANN, BAER; COES. (Editors). *Energy, bio fuels and development: Comparing Brazil and the United States*. New York, NY: Routledge, 2011, p. 113-121.

BORBA, B. S. M. C. et al. Energy-related climate change mitigation in Brazil: Potential, abatement costs and associated policies. *Energy Policy*, v. 49, p. 460-441, 2012.

BRASIL. *Plano Nacional sobre Mudança do Clima*. Brasília: Governo Federal, Comitê Interministerial sobre mudança do clima, 2008. 132p.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2024*. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística – IBGE. *Produção Agrícola Municipal – PAM*. 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 5 jan. 2016.

\_\_\_\_\_. *Projeção da população do Brasil por idade e sexo para o período 2000/2060*. 2013. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Projecao\\_da\\_Populacao/Projecao\\_da\\_Populacao\\_2013/nota\\_metodologica\\_2013.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Projecao_da_Populacao/Projecao_da_Populacao_2013/nota_metodologica_2013.pdf)>. Acesso em: 2 out. 2017.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. *Dados Projeto TerraClass*. 2014. Disponível em: <[http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/terraclass2010.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2010.php)>. Acesso em: 1 dez. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. *Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na*

Agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília: MAPA/ACS, 1. ed, 2012. 173p. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc>>. Acesso: 5 dez. 2015.

\_\_\_\_\_. *Projeções do agronegócio: Brasil 2013/2014 a 2023/2024*. Projeções de longo prazo. Brasília: AGE/Mapa, 2014. 100p. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-brasil-2013-2014-a-2023-2024.pdf/view>>. Acesso em: 12 dez. 2015.

BRASIL. Ministério da Fazenda – MF. *Projeto PMR Brasil*. 2017. Disponível em: <[http://www.spe.fazenda.gov.br/pmr\\_brasil](http://www.spe.fazenda.gov.br/pmr_brasil)>. Acesso em: 16 jan. 2018.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC. *Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume III*. Brasília: MCTIC, 2016.

\_\_\_\_\_. *Trajetórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para alcance das metas brasileiras no Acordo de Paris*. 2017a. Disponível em: <[http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/2098519/Trajetorias-Ebook-b\\_final.pdf/29c11698-b71d-4009-850c-a162090e1108](http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/2098519/Trajetorias-Ebook-b_final.pdf/29c11698-b71d-4009-850c-a162090e1108)>. Acesso em: 18 out. 2017.

\_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para agricultura, florestas e outros usos do solo*. Brasília: MCTIC, 2017b.

\_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de alimentos e bebidas*. Brasília: MCTIC, 2017c.

\_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de cerâmica*. Brasília: MCTIC, 2017d.

\_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de cimento*. Brasília: MCTIC, 2017e.

\_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de ferro-gusa e aço*. Brasília: MCTIC, 2017f.

\_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de ferroligas*. Brasília: MCTIC, 2017g.

\_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de metalurgia de metais não ferrosos*. Brasília: MCTIC, 2017h.

\_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de mineração e pelletização*. Brasília: MCTIC, 2017i.

\_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de outras indústrias*. Brasília: MCTIC, 2017j.

\_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de papel e celulose*. Brasília: MCTIC, 2017k.

\_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor químico*. Brasília: MCTIC, 2017l.

- \_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor têxtil*. Brasília: MCTIC, 2017m.
- \_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de biocombustíveis*. Brasília: MCTIC, 2017n.
- \_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de fontes renováveis de geração elétrica*. Brasília: MCTIC, 2017o.
- \_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de óleo e gás natural*. Brasília: MCTIC, 2017p.
- \_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de termelétricas e termonucleares*. Brasília: MCTIC, 2017q.
- \_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de transportes*. Brasília: MCTIC, 2017r.
- \_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de edificações*. Brasília: MCTIC, 2017s.
- \_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de gestão de resíduos*. Brasília: MCTIC, 2017t.
- \_\_\_\_\_. *Opções transversais para mitigação de emissões de gases de efeito estufa: captura, transporte e armazenamento de carbono*. Brasília: MCTIC, 2017u.
- \_\_\_\_\_. *Opções transversais para mitigação de emissões de gases de efeito estufa: redes inteligentes*. Brasília: MCTIC, 2017v.
- \_\_\_\_\_. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de agricultura, florestas e outros usos do solo*. Brasília: MCTIC, 2017w.
- BRASIL. Ministério das Cidades – MCidades. *Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB*. 2013. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab\\_Versao\\_Consechos\\_Nacionais\\_020520131.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Consechos_Nacionais_020520131.pdf)>. Acesso em: 2 out. 2017.
- BRASIL. Ministério das Relações Exteriores - MRE. *Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução dos objetivos da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. 2015. Disponível em: <[http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. *Projeto de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS)*. 2012. Disponível em: <[http://siscom.ibama.gov.br/monitora\\_biomass/](http://siscom.ibama.gov.br/monitora_biomass/)>. Acesso em: 5 abr. 2016.
- \_\_\_\_\_. *Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa*. 2014. 79p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80049/Planaveg/PLANAVEG\\_20-11-14.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80049/Planaveg/PLANAVEG_20-11-14.pdf)>. Acesso em: 5 dez. 2015.
- \_\_\_\_\_. *Plano Nacional sobre Mudança do Clima*. 2008. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq\\_climaticas/\\_arquivos/plano\\_nacional\\_mudanca\\_clima.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf)>. Acesso em: 2 out. 2017.

\_\_\_\_\_. *Plano Nacional de Recursos Hídricos*. 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/publicacoes/agua/category/42-recursos-hidricos>>. Acesso em: 2 out. 2017.

\_\_\_\_\_. *Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS*. 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/contextos-e-principais-aspectos>>. Acesso em: 2 out. 2017.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão – MP. *Programa de Aceleração do Crescimento – PAC*. PAC 4º Balanço: 2015-2018. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/pub/up/relatorio/12c-9979f887047791592a0e16c838e04.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2017.

BRASIL. Ministério dos Transportes – MT. *Plano Nacional de Logística e Transporte: Projeto de reavaliação de estimativas e metas do PNLT*. 2012. Disponível em: <<http://brasil2100.com.br/files/7614/5278/7628/2011.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2017.

CLARKE, L. et al. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2014.

DE GOUVELLO, C. *Estudo de baixo carbono para o Brasil*. Brasília: Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento, 2010. Disponível em: <[http://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/Relatorio\\_Principal\\_integra\\_Portugues.pdf](http://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/Relatorio_Principal_integra_Portugues.pdf)>. Acesso em: 2 nov. 2014.

DEN ELZEN, M. G. J. et al. *Enhanced policy scenarios for major emitting countries*. Analysis of current and planned climate policies, and selected enhanced mitigation measures. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2015.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO/INSTITUTO DE ESTUDOS DO COMÉRCIO E NEGOCIAÇÕES INTERNACIONAIS – FIESP/ICONE. *Outlook Brasil 2022 – Projeções para o agronegócio*. São Paulo: Fiesp/Icone, 2012. 132p. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/publicacoes-agronegocio/tendencias-do-agronegocio-em-2022/>>. Acesso em: 3 mar. 2016.

GRITSEVSKIY, A.; NAKICENOVI, N. Modeling uncertainty of induced technological change. *Energy Policy*, 28: 907-921, 2000.

HADDAD, E. A.; DOMINGUES, E. P. EFES – Um modelo aplicado de equilíbrio geral para a economia brasileira: Projeções setoriais para 1999-2004. *Estudos Econômicos*, v. 31, p. 89-125, 2001.

HENRIQUES JR.; M. F. *Potencial de redução de emissão de gases de efeito estufa pelo uso de energia no setor industrial brasileiro*. 2010. 340 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Coppe/PPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA. *MESSAGE – User Manual*. Viena: IAEA, 2007.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. IPCC Working group II contribution to AR5. 2014a. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>>. Acesso em: 29 set. 2017.

\_\_\_\_\_. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. 2014b. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>>. Acesso em: 29 set. 2017.

KANCZUK, F. Business Cycles in a Small Open Brazilian Economy. *Economia Aplicada*, v. 5, n. 3, pp. 455-470, 2001.

\_\_\_\_\_. Real Interest Rates and Brazilian Business Cycles. *Review of Economics Dynamics*, v. 7, n. 2, pp. 436-455, 2004.

LA ROVERE, E. L. et al. *Implicações econômicas e sociais de cenários de mitigação de gases de efeito estufa no Brasil até 2030*: Sumário Técnico/Projeto IES-Brasil, Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2016.

LUCENA, A. F. P. Climate policy scenarios in Brazil: A multi-model comparison for energy. *Energy Economics*, v.56, 564-574, 2016.

MAGALHAES, A. S. *Economia de baixo carbono no Brasil*: Alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa. 2013. 290 f. Tese (Doutorado em Economia) – Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

RIAH, K. et al. Locked into Copenhagen pledges – Implications of short-term emission targets for the cost and feasibility of long-term climate goals. *Technological Forecasting and Social Change*, 90, Part A, p. 8-23, 2015.

ROCHEDO et al. How a very detailed representation of energy efficiency options in the objective-function of Message-Brazil (MSB8000) can affect the penetration of renewables (VRE) into the Brazilian power grid. In: Integrated Assessment Modelling Consortium Annual Meeting. Potsdam, Germany: IAMC, 2015.

\_\_\_\_\_. Carbon capture potential and costs in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 131, 280-295, 2016.

SOARES-FILHO, B. S. et al. *Modeling environmental dynamics with dinamica EGO*. Belo Horizonte: Centro de Sensoriamento Remoto, 2009. Disponível em: <[http://csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica\\_EGO\\_guidebook.pdf](http://csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica_EGO_guidebook.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2017.

\_\_\_\_\_. *Challenges for a low carbon agriculture and forest conservation in Brazil*. IDB, Washington DC: Inter-American Development Bank, 2012. 40p. Sustainability Reports. Disponível em: <<http://www.iadb.org/sustainability/soares>>. Acesso em: 5 dez. 2015.

\_\_\_\_\_. A hybrid analytical-heuristic method for calibrating land-use change models. *Environmental Modelling & Software*, v. 43, p. 80-87, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815213000236>>. Acesso em: 6 jul. 2016.

SORIA, R. Modelling concentrated solar power (CSP) in the Brazilian energy system: A soft-linked model coupling approach. *Energy*, v.116, 265-280, 2016.

SOS Mata Atlântica – SOSMA. *Atlas da Mata Atlântica*. 2015. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/>>. Acesso em: 3 dez. 2015.

SPENCER, T. et al. *Beyond the numbers: understanding the transformation induced by INDCs*. Study N°05/15, IDDRI – MILES Project Consortium, Paris, France, 2015, 80 p.

THE CLIMATE GROUP. *Analyzing the issues that matter to the Clean Revolution*. Insight briefing: Carbon pricing. 2013. Disponível em: <<https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/archive/files/May-Insight-Briefing---Carbon-Pricing.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2017.



Anexos

## ANEXOS

### Anexo I – Taxas de Crescimento Médio do PIB (%) por Setores e Anos – Cenário Fipe III

| Crescimento dos setores (%) / Período           | 2016-2020 | 2021-2025 | 2026-2030 | 2031-2035 | 2036-2040 | 2041-2045 | 2046-2050 | 2016-2050 |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Agricultura, silvicultura, exploração florestal | 0,59      | 1,71      | 1,67      | 1,53      | 1,28      | 0,97      | 0,73      | 1,21      |
| Pecuária e pesca                                | 0,43      | 1,83      | 1,74      | 1,58      | 1,35      | 1,09      | 0,89      | 1,27      |
| Petróleo e gás natural                          | 4,52      | 5,43      | 3,27      | 2,10      | 1,69      | 1,88      | 0,81      | 2,80      |
| Minério de ferro                                | 3,98      | 1,36      | 2,72      | 3,35      | 3,14      | 2,45      | 1,84      | 2,69      |
| Outros da indústria extrativa                   | -0,19     | 2,26      | 1,57      | 1,01      | 0,66      | 0,42      | 0,34      | 0,86      |
| Alimentos e Bebidas                             | 0,23      | 1,61      | 1,51      | 1,33      | 1,09      | 0,82      | 0,63      | 1,03      |
| Produtos do fumo                                | -0,43     | 0,98      | 0,82      | 0,61      | 0,35      | 0,08      | -0,08     | 0,33      |
| Têxteis                                         | -1,09     | 1,08      | 0,81      | 0,58      | 0,41      | 0,28      | 0,24      | 0,32      |
| Artigos do vestuário e acessórios               | -2,75     | -0,45     | -0,37     | -0,32     | -0,27     | -0,21     | -0,12     | -0,65     |
| Artefatos de couro e calçados                   | 0,27      | 1,35      | 1,59      | 1,69      | 1,62      | 1,42      | 1,24      | 1,31      |
| Produtos de madeira - exclusive móveis          | -3,30     | -1,34     | -0,37     | 0,19      | 0,46      | 0,55      | 0,58      | -0,47     |
| Celulose e produtos de papel                    | 0,24      | 1,19      | 1,30      | 1,24      | 1,04      | 0,75      | 0,54      | 0,90      |
| Jornais, revistas, discos                       | 0,12      | 1,94      | 1,68      | 1,42      | 1,18      | 0,98      | 0,85      | 1,17      |
| Refino de petróleo e coque                      | 0,86      | 2,31      | 1,88      | 1,54      | 1,30      | 1,13      | 0,85      | 1,41      |
| Álcool                                          | 0,41      | 1,40      | 1,33      | 1,17      | 0,89      | 0,56      | 0,30      | 0,86      |
| Produtos químicos                               | 0,13      | 2,28      | 1,71      | 1,24      | 0,92      | 0,68      | 0,56      | 1,07      |
| Fabricação de resina e elastômeros              | -1,17     | 0,93      | 0,81      | 0,64      | 0,50      | 0,37      | 0,34      | 0,34      |
| Produtos farmacêuticos                          | -0,29     | 2,88      | 1,69      | 0,83      | 0,36      | 0,12      | 0,08      | 0,80      |
| Defensivos agrícolas                            | -0,82     | 1,28      | 1,10      | 0,87      | 0,63      | 0,40      | 0,28      | 0,53      |
| Perfumaria, higiene e limpeza                   | -0,08     | 2,53      | 1,71      | 1,11      | 0,75      | 0,55      | 0,49      | 1,01      |
| Tintas, vernizes, esmaltes e lacas              | 0,03      | 1,95      | 1,80      | 1,64      | 1,47      | 1,32      | 1,20      | 1,34      |
| Produtos e preparados químicos diversos         | -0,37     | 2,04      | 1,48      | 1,02      | 0,73      | 0,52      | 0,45      | 0,84      |
| Artigos de borracha e plástico                  | -0,85     | 1,50      | 1,44      | 1,33      | 1,22      | 1,11      | 1,05      | 0,97      |
| Cimento                                         | 0,48      | 2,21      | 2,01      | 1,82      | 1,62      | 1,45      | 1,25      | 1,55      |
| Outros produtos de minerais não-metálicos       | -0,39     | 1,58      | 1,62      | 1,57      | 1,47      | 1,34      | 1,22      | 1,20      |
| Fabricação de aço e derivados                   | 0,30      | 1,67      | 1,78      | 1,76      | 1,65      | 1,48      | 1,39      | 1,43      |
| Metalurgia de metais não-ferrosos               | -1,01     | 0,87      | 0,95      | 0,94      | 0,91      | 0,88      | 0,82      | 0,62      |



|                                                          |       |       |       |       |       |       |      |       |
|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos    | 0,23  | 2,40  | 2,01  | 1,70  | 1,49  | 1,35  | 1,23 | 1,48  |
| Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos  | -1,10 | 1,98  | 1,98  | 1,97  | 1,99  | 2,02  | 2,07 | 1,55  |
| Eletrodomésticos                                         | 0,25  | 2,07  | 1,68  | 1,38  | 1,16  | 0,99  | 0,90 | 1,20  |
| Máquinas para escritório e equipamentos de informática   | -0,99 | 1,91  | 1,46  | 1,10  | 0,88  | 0,73  | 0,65 | 0,81  |
| Máquinas, aparelhos e materiais elétricos                | 1,00  | 3,50  | 3,05  | 2,76  | 2,62  | 2,54  | 2,52 | 2,57  |
| Material eletrônico e equipamentos de comunicações       | -0,70 | 3,01  | 2,20  | 1,66  | 1,44  | 1,37  | 1,41 | 1,48  |
| Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e ótico | 1,01  | 5,47  | 3,42  | 2,07  | 1,47  | 1,27  | 1,40 | 2,29  |
| Automóveis, camionetas e utilitários                     | 1,35  | 3,54  | 3,34  | 3,15  | 2,99  | 2,84  | 2,76 | 2,85  |
| Caminhões e ônibus                                       | 2,15  | 2,99  | 3,60  | 3,99  | 4,07  | 3,95  | 3,79 | 3,50  |
| Pecas e acessórios para veículos automotores             | -0,07 | 2,41  | 2,74  | 2,93  | 3,03  | 3,02  | 3,04 | 2,44  |
| Outros equipamentos de transporte                        | 3,43  | 4,18  | 4,84  | 5,31  | 5,49  | 5,40  | 5,29 | 4,85  |
| Móveis e produtos das indústrias diversas                | -3,32 | -1,04 | -0,81 | -0,59 | -0,37 | -0,18 | 0,02 | -0,90 |
| Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana        | 0,02  | 2,06  | 1,57  | 1,17  | 0,87  | 0,65  | 0,49 | 0,97  |
| Construção                                               | 0,56  | 2,27  | 2,14  | 1,99  | 1,79  | 1,60  | 1,42 | 1,68  |
| Comércio                                                 | 0,43  | 1,76  | 1,81  | 1,77  | 1,63  | 1,43  | 1,24 | 1,44  |
| Transporte, armazenagem e correio                        | 0,30  | 1,66  | 1,58  | 1,45  | 1,27  | 1,09  | 0,87 | 1,18  |
| Serviços de informação                                   | 0,64  | 2,76  | 2,30  | 1,92  | 1,64  | 1,44  | 1,30 | 1,71  |
| Intermediação financeira e seguros                       | 0,90  | 2,86  | 2,51  | 2,20  | 1,92  | 1,68  | 1,51 | 1,94  |
| Serviços imobiliários e aluguel                          | -0,66 | 0,79  | 1,25  | 1,51  | 1,59  | 1,57  | 1,48 | 1,07  |
| Serviços de manutenção e reparação                       | -0,15 | 1,81  | 1,47  | 1,16  | 0,89  | 0,65  | 0,49 | 0,90  |
| Serviços de alojamento e alimentação                     | 0,28  | 2,68  | 2,04  | 1,50  | 1,11  | 0,83  | 0,72 | 1,30  |
| Serviços prestados às empresas                           | -0,14 | 1,80  | 1,52  | 1,25  | 1,03  | 0,87  | 0,75 | 1,01  |
| Educação mercantil                                       | 2,90  | 4,87  | 4,76  | 4,59  | 4,39  | 4,17  | 3,97 | 4,23  |
| Saúde mercantil                                          | 1,92  | 3,64  | 3,50  | 3,32  | 3,11  | 2,90  | 2,72 | 3,01  |
| Serviços prestados às famílias e associativas            | -0,09 | 1,44  | 1,35  | 1,21  | 1,07  | 0,94  | 0,84 | 0,96  |
| Serviços domésticos                                      | 1,74  | 3,70  | 3,71  | 3,62  | 3,46  | 3,28  | 3,09 | 3,23  |
| Educação pública                                         | 1,35  | 2,92  | 2,84  | 2,69  | 2,49  | 2,28  | 2,09 | 2,38  |
| Saúde pública                                            | 1,37  | 2,94  | 2,86  | 2,71  | 2,51  | 2,30  | 2,11 | 2,40  |
| Administração pública e seguridade social                | 1,30  | 2,89  | 2,80  | 2,65  | 2,46  | 2,26  | 2,07 | 2,34  |
| Crescimento médio no período (%)                         | 0,57  | 2,27  | 2,16  | 2,01  | 1,85  | 1,70  | 1,55 | 1,73  |

