



Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC
Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento – SEPED
Coordenação Geral do Clima – CGCL

**Contribuição do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
para a elaboração da estratégia de implementação da Contribuição
Nacionalmente Determinada do Brasil ao Acordo de Paris**

Os subsídios técnicos apresentados neste documento, para a formulação da estratégia de implementação da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, acrônimo em inglês) do Brasil ao Acordo de Paris, foram elaborados a partir de resultados do Projeto “Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em Setores-Chave do Brasil”.¹ O objetivo deste documento é apontar 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, de 1.300 e 1.200 MtCO₂e, respectivamente².

Para tanto, serão sumarizados os procedimentos metodológicos e as premissas consideradas pelo projeto para a construção dos cenários de redução de emissões apresentados neste documento. A partir da descrição das possibilidades setoriais de mitigação, visando o cumprimento das metas constantes da referida NDC, destacamos as opções de abatimento que deveriam ser privilegiadas para o atingimento do compromisso. Em seguida, são apresentados os impactos econômicos em termos do PIB, assim como da geração de emprego e renda, decorrentes da implementação das ações propostas. Por fim, apresentam-se as considerações finais desta contribuição.

Procedimentos metodológicos 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)³ que gerou informações para a elaboração dos cenários econômicos junto a um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) – intitulado Modelo EFES.⁴ 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: Produto Interno Bruto (PIB), valor bruto da produção, valor adicionado, pessoal ocupado, renda do trabalho etc.

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 três cenários econômicos intitulados FIPE I, FIPE II e FIPE III. Para fins de formulação

¹Disponível em:

<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/354029/Opcoes_de_Mitigacao_de_Emissoes_de_Gases_de_Efeito_Estufa_GEE_em_Setores_Chave_do_Brasil.html>. Acesso em: 23 jan. 2017.

² Esse documento foi elaborado com base em subsídios do referido projeto em janeiro de 2017.

³ Kanczuk, F. (2001). Business Cycles in a Small Open Brazilian Economy, *Economia Aplicada* 5(3): 455-470.

⁴ Haddad, E.; Domingues, E. (2016). EFES – Um modelo aplicado de equilíbrio geral para a economia brasileira: Projeções setoriais de 1999-2004, *Estudos Econômicos* 31(1): 89-125.

dos subsídios constantes neste documento, foi considerado o cenário mais recente (FIPE III), elaborado em maio de 2015.

Conforme demonstrado nas Tabelas 1 e 2, esse cenário apresenta uma evolução de PIB, 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 projeta-se uma variação média negativa do PIB de 0,2% ao ano no período de 2016 a 2020.

Tabela 1: Taxas de crescimento médio do PIB nacional (%)

Cenários / 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 2: Taxas de crescimento médio do PIB (%) por setores 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 econômicos, tais 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,⁵ subdivididos nos seguintes setores: industrial, energético, transportes, edificações (residenciais, comerciais e de serviços), Afolu (agropecuária, florestas e outros usos do solo) e gestão de resíduos.

Esses modelos setoriais buscaram representar o comportamento dos agentes, traduzindo-o em demanda energética e uso e mudanças no uso do solo, com consequentes emissões de GEE. Diante do mapeamento de parâmetros técnico-econômicos de atividades de baixo carbono, seria esperado mensurar o seu potencial e custo marginal de abatimento. 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. É o caso do gás natural, que é um insumo energético disputado para mitigar emissões na geração termoelétrica e produção de calor e vapor para processos industriais, em substituição a combustíveis mais energointensivos (carvão e óleo combustível). Modelos setoriais não são capazes de mensurar os efeitos da disputa sobre a disponibilidade e os preços do gás natural e, como consequência, tendem a super e subestimar, respectivamente, o potencial e o custo de mitigação associados à substituição do carvão e do óleo combustível pelo gás natural.

A técnica de integração de modelos permitiu analisar esse efeito em todos os setores avaliados, garantindo consistência aos cenários setoriais de mitigação de emissões. Sendo assim, a utilização dos modelos setoriais permitiu a elaboração de uma base de dados para viabilizar a integração das

⁵ OTIMIZAGRO, LEAP, MESSAGE, Caesar, Multi-Hubbert, Waste Model, RETSCREEN, SAM e modelos paramétricos de simulação elaborados em MS-Excel.

projeções em modelos do sistema energético, Afolu e econômico, intitulados MSB8000,⁶ OTIMIZAGRO⁷ e EFES, respectivamente.

Essa integração foi do tipo *soft-link*,⁸ o que exigiu a transposição de resultados entre os modelos. 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.⁹

Brevemente, 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 energética. O modelo compreende todos os setores consumidores e ofertantes de energia, quais sejam: agricultura, edificações (residenciais, comerciais e de serviços), 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 (plataforma integrada de modelagem de uso e mudança no uso da terra), 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 modelo OTIMIZAGRO inicialmente foi aplicado para projetar as diferentes atividades agropecuárias com base em critérios de rentabilidade potencial, aptidão física e favorabilidade climática. Ademais, o modelo 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. O OTIMIZAGRO é um modelo espacialmente explícito, com resolução de 500 x 500 metros (células de 25 hectares).

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 técnicos diretos 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.

Nesse sentido, impende destacar que a base matemática do MSB8000 exigiu a incorporação de um valor implícito de carbono para a construção de cenários de emissões de GEE. Objetivou-se, portanto, gerar perturbação ou choque que permite averiguar a decisão de otimização conforme curvas marginais de abatimento.

A Figura 1 ilustra resumidamente as etapas de modelagem mencionadas acima.

⁶ Spencer, T. et al. (2015). Beyond the numbers: understanding the transformation induced by INDCs, Study N°05/15, IDDRI – MILES Project Consortium, Paris, France, 80 p.

⁷ Soares-Filho B.S. et al. (2009). Modeling environmental Dynamics with Dinamica EGO. Belo Horizonte: Centro de Sensoriamento Remoto. Disponível em: <http://csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica_EGO_guidebook.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2017.

⁸ Rochedo, P. R. R. (2015). Integrando a modelagem energética e a modelagem econômica (MESSAGE). Primeiro ciclo de atividades de capacitação do projeto “Opções de Mitigação de Emissões de GEE em Setores-Chave do Brasil”. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0239/239425.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2017.

⁹ Schaeffer, R.; Szklo, A. (2016). Cenários integrados de mitigação de emissões de gases de efeito estufa para o Brasil até 2050. Opções de Mitigação de Emissões de GEE em Setores-Chave do Brasil. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0239/239700.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2017.

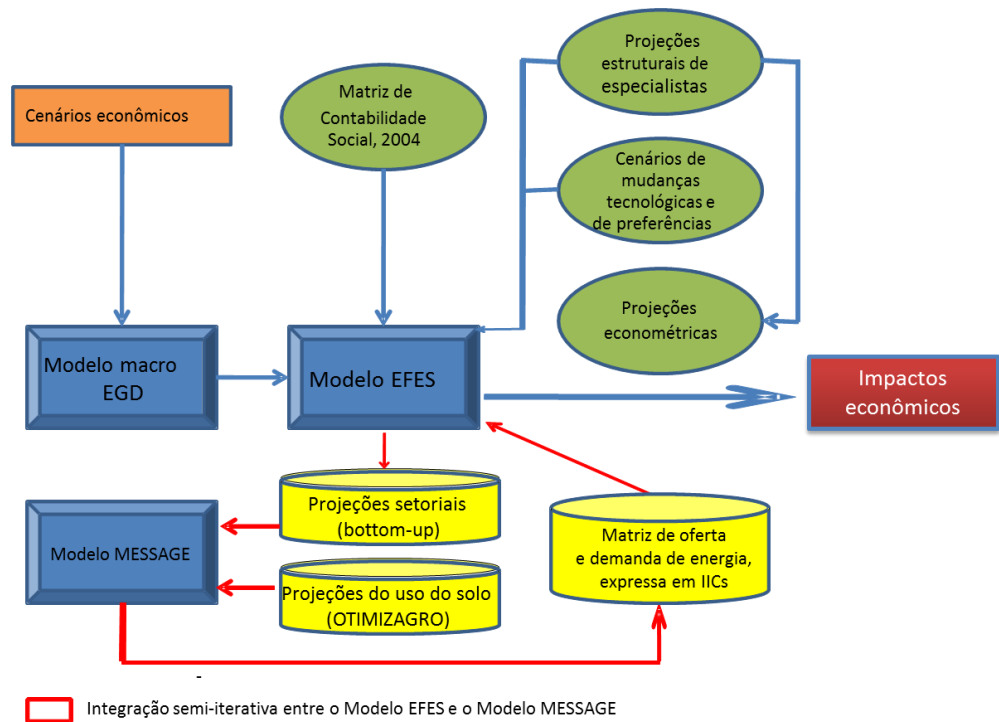


Figura 1: Fluxograma das etapas de modelagem aplicadas no projeto

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

O cenário REF abrange as metas constantes de políticas públicas governamentais, assim como planos oficiais de expansão setorial. A título de exemplo, 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 na Política Nacional sobre Mudança do Clima 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). Ademais, foram considerados: Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado), Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), 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.

O cenário BC considera a aplicação de melhores tecnologias disponíveis (MTD) que produzam efeitos de mitigação de emissões. Sua construção, junto aos modelos integradores MSB8000 e OTIMIZAGRO, considera diferentes níveis de custos de abatimento, quais sejam: 0, 10, 25, 50 e 100 dólares por tonelada de dióxido de carbono equivalente (US\$/tCO_{2e}).

A faixa de custo de abatimento nulo 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, tais 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, a faixa de custo de abatimento de US\$10/tCO_{2e} também considera medidas que

requerem a internalização de um valor de carbono dessa ordem para sua incorporação nos setores econômicos. Ou seja, abrange as medidas de valor de carbono nulo e oportunidades adicionais de mitigação que demandam um valor implícito de carbono para sua viabilização. As demais faixas de custo de abatimento apresentam lógica semelhante, requerendo patamares superiores de internalização de valor de carbono para sua adoção.

Ainda no que se refere a premissas gerais, foram utilizados dados da Terceira Comunicação Nacional (TCN) do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima para calibragem do ano-base, da equalização dos fatores de emissão e das transições de uso do solo. Foram consideradas as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O 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 metodologia do Global Warming Potential 100 anos (GWP), contida no Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, acrônimo em inglês), para contabilizar as emissões por unidade de dióxido de carbono equivalente. Finalmente, foram utilizadas projeções de crescimento populacional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Projeção da População do Brasil por sexo e idade: 2000-2060), e taxa de desconto real única de 10% ao ano.

Nas Tabelas 3 e 4, estão demonstradas as principais premissas consideradas na construção dos cenários REF e BC do setor de Afolu, por subsetor, e do sistema energético.

Tabela 3: Principais premissas dos cenários REF e BC do setor de Afolu, por subsetores

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.
	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.
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 do rebanho por meio do confinamento.
	Lotação de 1,75 UA/ha/ano (unidade animal/hectare/ano) em pastagens manejadas e 0,75 UA/ha/ano em pastagens extensivas e degradadas.	Manutenção da lotação em pastagens manejadas e aumento da lotação para 1,23 UA/ha/ano, em 2050, em pastagens extensivas e degradadas.
Florestas Plantadas	Demanda setorial por lenha de florestas nativas de 53% no período.	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, Pampas e Pantanal.
	Recuperação do passivo ambiental de 12,5 milhões de hectares em 20 anos e recuperação adicional de 6,5 milhões de hectares entre 2035 e 2050.	Ampliação da recomposição de vegetação nativa para 21 milhões de hectares até 2050.

Tabela 4: Principais premissas dos cenários REF e BC do sistema energético

Setor	Principais premissas	
	Cenário REF	Cenário BC
Sistema Energético	<ul style="list-style-type: none"> • Expansão do sistema energético a mínimo custo. • Inserção das tecnologias disponíveis na linha de base. • Desconsideração da adoção de políticas adicionais de mitigação. • Predomínio da ótica setorial sobre a modelagem. • Trajetória de curto prazo aderente com a expansão em curso e prevista do sistema energético. 	<ul style="list-style-type: none"> • Expansão do sistema energético considerando diferentes patamares de valor de carbono. • Inserção das melhores tecnologias e práticas produtivas disponíveis. • Internalização de diferentes patamares de valor de carbono na economia. • Liberdade de seleção da evolução do perfil tecnológico e da otimização do sistema energético, segundo uma lógica de mitigação das emissões de GEE.

Potenciais de mitigação de emissões de GEE

Conforme descrito anteriormente, a modelagem integrada dos cenários de emissão de GEE foi executada até 2050. No entanto, neste documento, serão enfatizados os resultados relacionados às metas de emissão para o cumprimento da NDC brasileira.

As emissões do sistema energético e do setor de Afolu, no cenário REF, crescem aproximadamente 45% no período 2020-2050 e 16% no período 2020-2030 (Figura 2A). As emissões projetadas em 2025 revelam que a meta da NDC implica esforço de redução de emissão de 5% em relação ao cenário REF, sendo o compromisso cumprido no cenário BC0 (Figura 2B). Embora viável sob o ponto de vista técnico-econômico, esse cenário não implica ausência de custos, tampouco de barreiras não econômicas à sua implementação. Em geral, esse cenário compreende medidas de eficiência energética que demandam a realização de investimentos e o consequente acesso a crédito que, por sua vez, resultam em custos de transação que podem ser proibitivos aos atores. Esse é o caso, por exemplo, da aquisição de eletrodomésticos mais eficientes por famílias de baixa renda.

A meta proposta junto à NDC para 2030 implica esforço de redução, com relação às emissões projetadas no cenário REF, de aproximadamente 18%, o qual poderá ser atingido no cenário BC10 (Figura 2B). Nesse cenário, as emissões atingiriam 1.097 MtCO₂e em 2030, o que representa redução de 25% das emissões em relação ao cenário REF.

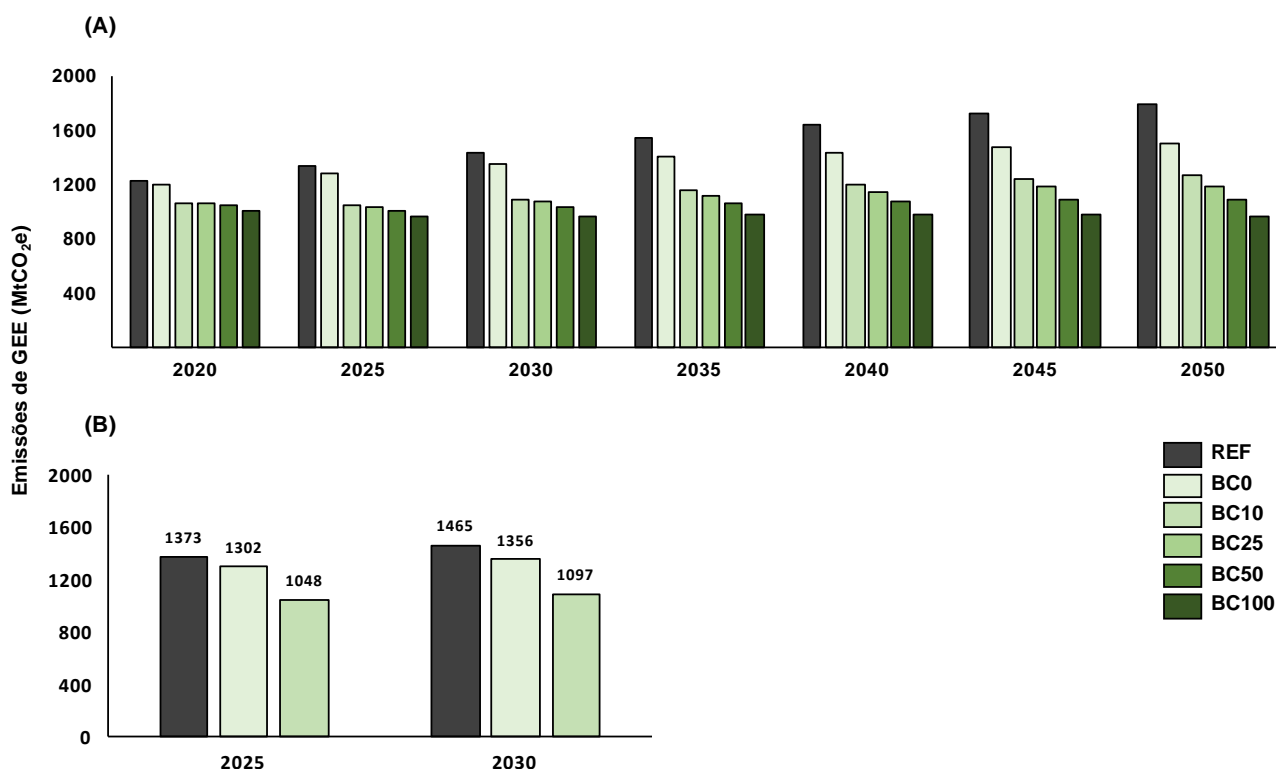


Figura 2: Cenários de emissões totais para o setor de Afolu e sistema energético

(A) Cenários de emissão até 2050, referência (REF) e baixo carbono (BC) com faixas de valor de carbono de US\$ 0 a US\$ 100/tCO₂e.

(B) Cenários de emissão de 2025 e 2030, referência (REF) e baixo carbono (BC) com faixas de valor de carbono de US\$ 0 e US\$ 10/tCO₂e.

Para o setor de Afolu, foi projetado um crescimento, entre 2020 e 2050, de aproximadamente 16% das emissões de GEE no cenário REF (Figura 3). O aumento menos acentuado das emissões nesse setor decorre da implementação de ações de redução de emissões, principalmente relacionadas ao

PPCDAm, PPCerrado e Plano ABC. Esse crescimento das emissões é reduzido para 3%, em 2050, no cenário BC0. No cenário BC10, seria possível atingir redução de 16% nas emissões, em 2050, em relação ao ano de 2020 do cenário REF.

Deve-se enfatizar que as diretrizes do 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. Dessa forma, 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.¹⁰ Os resultados encontrados mostram a remoção total de 2,14 milhões de GgCO_{2e}, no período de 2002 a 2010, o que corresponde a 238 MtCO_{2e} sequestrados anualmente, dos quais 211 MtCO_{2e} foram sequestrados na Amazônia, visto que 82% da área das unidades de conservação e terras indígenas consideradas nesse período pertencem a esse bioma.

Optou-se por considerar essa remoção média constante até 2050, apesar da incerteza existente sobre a capacidade da Amazônia para manter seu papel de sumidouro de carbono em um contexto de mudanças climáticas.¹¹ 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.¹² 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.¹³

¹⁰ Brasil (2016). Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume III. pp. 231, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016.

¹¹ Gatti L. V. et al. (2014). Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements. *Nature* 506(7486), pp.76-80.

¹² Davidson E.A. et al. (2012). The Amazon basin in transition. *Nature* 481(7381), pp.321-328.

¹³ Canadell J.G. (2007). Saturation of the terrestrial carbon sink. In *Terrestrial ecosystems in a changing world 2007* (pp. 59-78). Springer Berlin Heidelberg.

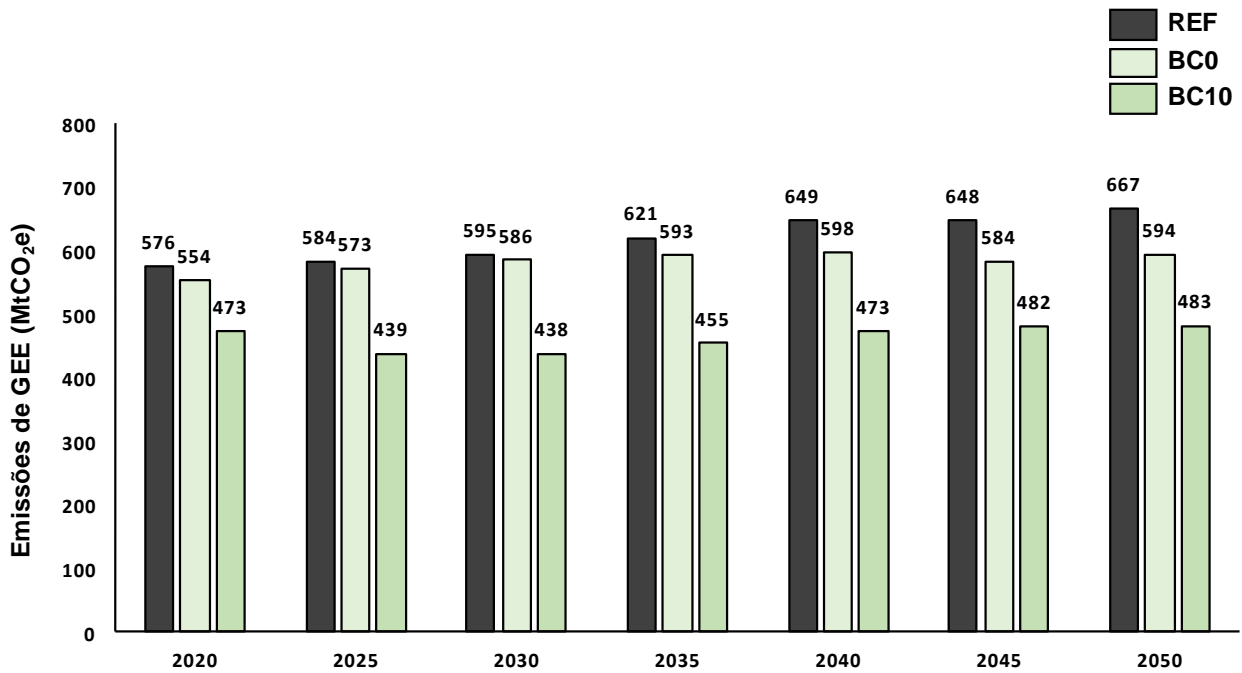


Figura 3: Cenários de emissões totais do setor de Afolu no período de 2020 a 2050

REF = Cenário de referência

BCx = Cenário de baixo carbono, no qual “x” se refere à faixa de valor de carbono abrangida pelo cenário (US\$ 0 e US\$ 10/tCO₂e).

O setor de Afolu contribui com mitigação de 11 MtCO₂e em 2025, relativa ao cenário BC0, e de 157 MtCO₂e em 2030 (cenário BC10). Deve-se destacar que as emissões provenientes do manejo de dejetos de animais e fertilizantes sintéticos são maiores nos cenários BC0 e BC10, com relação ao cenário REF, em função da intensificação da pecuária (setor de Afolu) e do aumento da produção de biocombustíveis (setor de transportes), respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5: Cenários e potenciais de redução de emissões para o setor de Afolu em 2025 e 2030

	Emissão de GEE (MtCO _{2e})						Mitigação de Emissão de GEE ¹ (MtCO _{2e})			
	2025			2030			2025		2030	
	REF	BC0	BC10	REF	BC0	BC10	BC0	BC10	BC0	BC10
1. Mudanças de uso do solo	321,3	316,9	215,5	298,0	294,9	189,0	-4,4	-105,8	-3,2	-105,9
2. Agropecuária (2a+2b+2c+2d+2e)	500,9	494,1	461,4	534,8	529,1	487,5	-6,8	-39,5	-5,7	-47,4
2a. Fermentação entérica	307,4	303,2	266,8	326,3	322,9	278,7	-4,2	-40,7	-3,5	-47,6
2b. Manejo de dejetos animais	15,9	15,7	21,6	16,7	16,5	22,3	-0,2	5,7*	-0,2	5,6*
2c. Arroz	11,9	11,8	11,9	11,2	11,1	11,2	-0,2	0,0	-0,1	0,0
2d. Queima de resíduos	4,2	4,1	5,0	3,3	3,3	4,0	-0,1	0,8*	0,0	0,7*
2e. Solos agrícolas (2e1+2e2+2e3+2e4+2e5)	161,5	159,3	156,0	177,3	175,4	171,3	-2,2	-5,4	-1,9	-6,1
2e1. Fertilizantes sintéticos	41,2	40,6	47,8	48,7	48,2	57,5	-0,6	6,6*	-0,5	8,8*
2e2. Resíduos agrícolas	16,3	16,1	17,0	17,7	17,6	18,5	-0,2	0,7*	-0,2	0,8*
2e3. Vinhaça	1,3	1,2	1,5	1,4	1,3	1,7	0,0	0,3*	0,0	0,3*
2e4. Animais em pastagem e adubo animal	98,5	97,1	85,5	105,0	103,9	89,2	-1,3	-12,9	-1,1	-15,8
2e5. Manejo de dejetos animais (N ₂ O)	4,2	4,1	4,1	4,5	4,4	4,4	-0,1	-0,1	0,0	-0,1
Total (1+2)	822,2	811,0	676,8	832,9	824,0	676,0	-11,2	-145,3	-8,9	-156,9
Remoções UC e TI	-238,0	-238,0	-238,0	-238,0	-238,0	-238,0	NA	NA	NA	NA
Emissões Líquidas (Total – Remoções)	584,2	573,0	438,8	594,9	586,0	438,0	-11,2	-145,3	-8,9	-156,9

¹As reduções de emissões para os cenários BC0 e BC10 foram calculadas subtraindo as emissões dos cenários REF dos respectivos anos (2025 e 2030).

*Nesse cenário, a atividade apresenta aumento de emissão.

REF = Cenário de referência; BCx = Cenário de baixo carbono, no qual “x” se refere à faixa de valor de carbono abrangida pelo cenário (US\$ 0 e US\$ 10/tCO_{2e}); UC = Unidades de Conservação; TI = Terras Indígenas; NA = Não se aplica.

De acordo com o critério de custo-efetividade, as ações setoriais de mitigação a serem implementadas em 2025 devem compreender:

- 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 2025, no cenário BC0, é significativamente menor que a medida em 2030, no cenário BC10. 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. Expansão 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.

O cumprimento da NDC brasileira em 2030 é compatível com o cenário BC10 (Figura 2B), para o qual é necessária a implementação, em conjunto com as atividades anteriormente citadas, da

diminuição do rebanho, da redução do desmatamento e da expansão da recuperação de vegetação nativa e de pastagens degradadas.

Para diminuir o rebanho, propõe-se intensificar a produção bovina de corte por meio da estratégia do confinamento. Por sua vez, a proposta de redução do desmatamento abrange o desmatamento legal na Amazônia, cumprimento da meta de desmatamento do Cerrado e criação de uma meta de redução de 40% no desmatamento dos biomas Caatinga, Pampas e Pantanal. Além disso, a redução do desmatamento considera recuperação de aproximadamente 16 milhões de hectares de vegetação nativa em 2030.

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 6: Principais atividades de baixo carbono do setor de Afolu, por atividade

Atividade	Principais opções de mitigação	Potencial de Mitigação (MtCO ₂ e) ¹	
		BC0 (2025)	BC10 (2030)
Agricultura	Expansão do uso de inoculantes para promover a fertilização biológica do nitrogênio (FBN), atingindo cerca de 40 milhões de hectares em 2050. ²	1,5	1,5
Agricultura	Incremento de 200 mil hectares/ano, no período de 2021 a 2050, nos sistemas integrados.	0,4	0,4
Agricultura	Expansão do plantio direto para 90% da área de cultivo de soja, milho, arroz, algodão, feijão e trigo até 2050. ³	0,4	0,4
Pecuária	Intensificação da pecuária, por meio da expansão do confinamento da pecuária bovina de corte, que atingiria 18 milhões de cabeças em 2050. ⁴	NA ⁸	47,6
Pecuária	Aumento da recuperação da pastagem degradada, que totalizaria 72 milhões de hectares em 2050. ⁵	NA ⁸	21,1
Mudanças no uso do solo	Desmatamento legal na Amazônia e aplicação de meta de redução de 40% no desmatamento dos biomas Caatinga, Pampas e Pantanal.	NA ⁸	51,4
Mudanças no uso do solo	Expansão do cultivo de florestas comerciais, que totalizariam 14 milhões de hectares em 2050. ⁶	7,3	15,4
Mudanças no uso do solo	Ampliação da recomposição de vegetação nativa para 21 milhões de hectares até 2050. ⁷	NA ⁸	13,8
Total		9,6	151,6

¹ O potencial e as opções de mitigação referem-se aos cenários BC0 e BC10, para os anos de 2025 e 2030, respectivamente.

² A área estimada com FBN em 2025 e 2030 é de 36 e 35 milhões de hectares, respectivamente.

³ Expansão equivalente em 2025 e 2030 de 83% e 84%, respectivamente.

⁴ Confinamento de 11 e 13 milhões de cabeças em 2025 e 2030, respectivamente.

⁵ Recuperação de 25 e 35 milhões de hectares de pastagens degradadas em 2025 e 2030, respectivamente.

⁶ Cultivo de 9 e 10 milhões de hectares de florestas comerciais em 2025 e 2030, respectivamente.

⁷ Recomposição de 6,2 e 9,3 milhões de hectares de vegetação nativa em 2025 e 2030, respectivamente.

⁸ Medidas não aplicáveis ao cenário BC0, em 2025, em função do custo de abatimento de emissões.

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 energia primária para os diferentes cenários (Figura 4). Mantém-se 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. Em grande medida, 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 ganha destaque a biomassa lenhosa 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.

Nos cenários BC0 e BC10, o consumo de energia primária é reduzido, com especial destaque para um 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, sobretudo no cenário BC10, a partir de 2030.

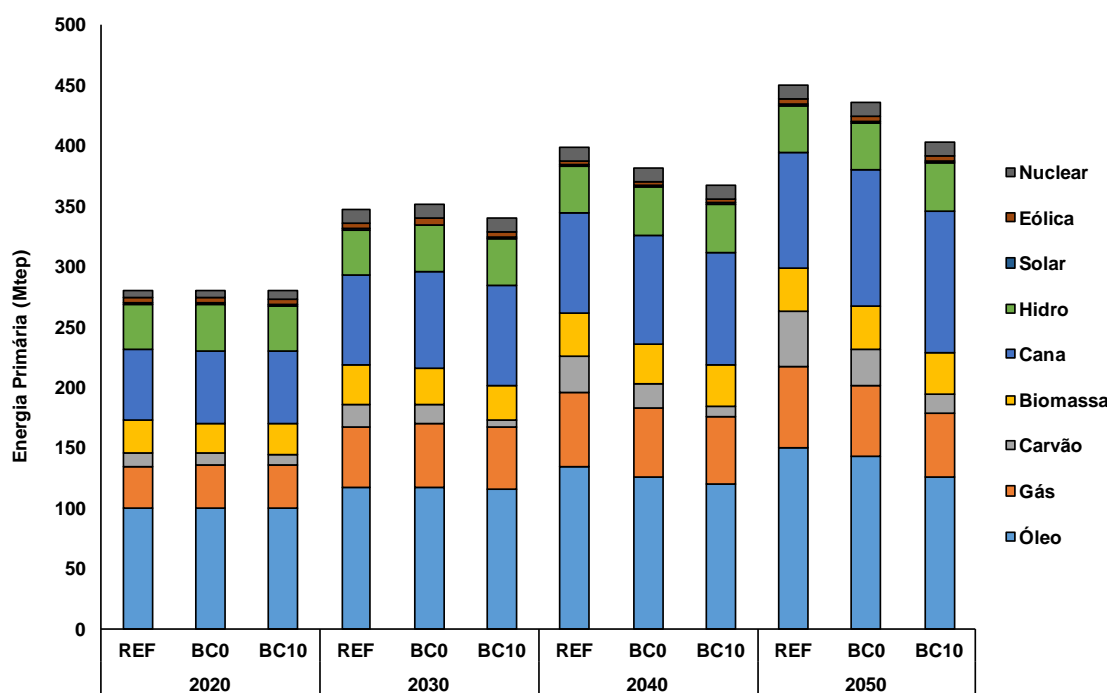


Figura 4: Consumo de energia primária pelo sistema energético nos cenários REF, BC0 e BC10 – 2020 a 2050

REF = Cenário de referência

BCx = Cenário de baixo carbono, no qual “x” se refere à faixa de valor de carbono abrangida pelo cenário (US\$ 0 e US\$ 10/tCO_{2e}).

Em virtude da representatividade do setor elétrico para o crescimento das emissões de GEE, os resultados por fonte de energia desse setor estão apresentados na Figura 5. No cenário REF, destaca-se o aumento da participação da geração termelétrica à base de bagaço de cana e de combustíveis fósseis, primeiramente gás natural e, no final do período, carvão importado. 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 55%, enquanto termelétricas a gás e a carvão passam a representar cerca de 20% do total da geração. Além disso, observou-se que a internalização de um custo de carbono até US\$ 10/tCO₂e na economia não seria capaz de alterar significativamente essa tendência, à exceção da substituição da geração termoelétrica a carvão por bagaço de cana.

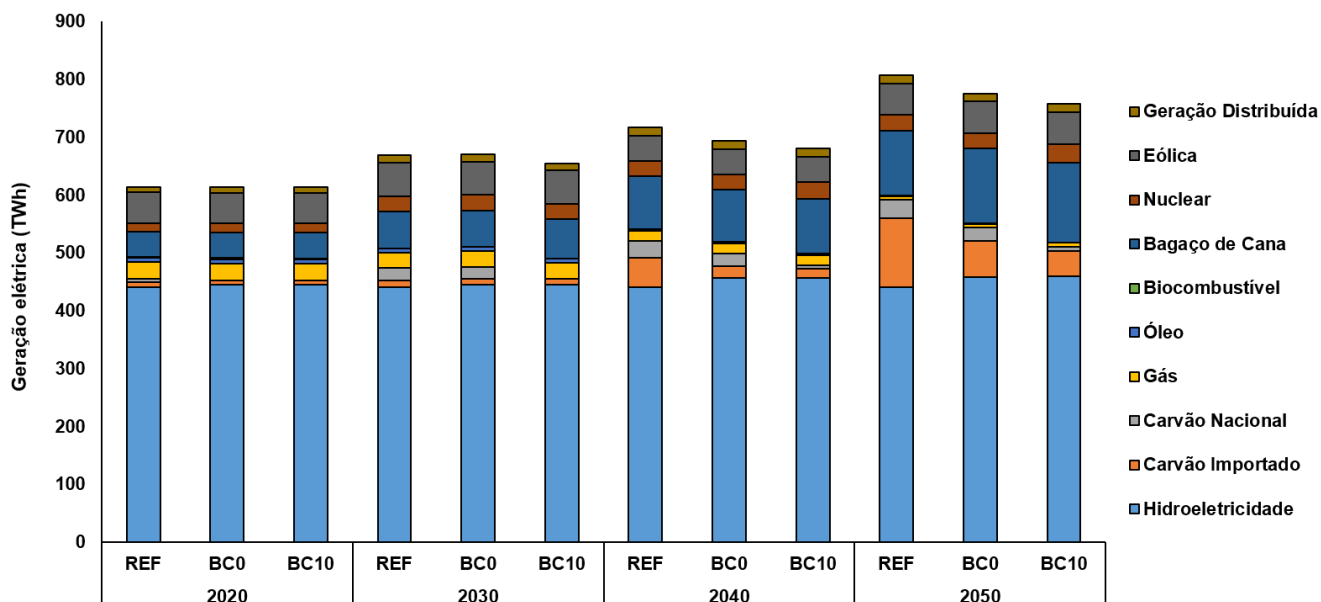


Figura 5: Geração de energia elétrica por fonte de energia nos cenários REF, BC0 e BC10 – 2020 a 2050

REF = Cenário de referência

BCx = Cenário de baixo carbono, no qual “x” se refere à faixa de valor de carbono abrangida pelo cenário (US\$ 0 e US\$ 10/tCO₂e).

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 crescem cerca de 70% entre 2020 e 2050 (Figura 6). Em grande medida, o crescimento das emissões é induzido pelo setor elétrico, que passa a se 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 BC0 apresenta abatimento de emissões de 8% e 21% em 2025 e 2050, respectivamente. O cenário BC10, compatível com a meta da NDC para o ano de 2030, implica redução de 24% nas emissões daquele ano e de 32% em 2050 (Figura 6).

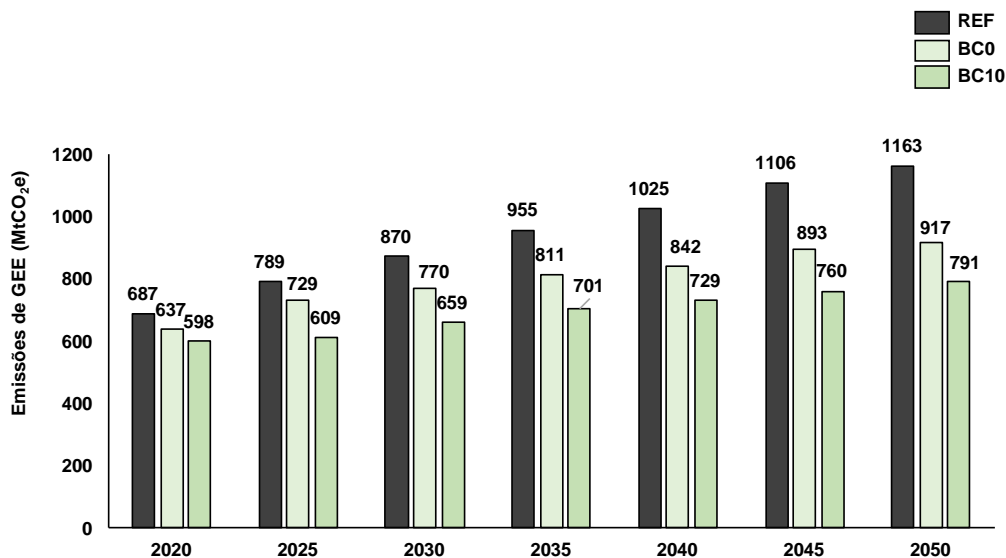


Figura 6: Cenários de emissões de GEE do sistema energético para o período de 2020 a 2050

REF = Cenário de referência

BCx = Cenário de baixo carbono, no qual “x” se refere à faixa de valor de carbono abrangida pelo cenário (US\$ 0 e US\$ 10/tCO₂e).

Na Tabela 7, estão demonstrados os potenciais de redução de emissão do sistema energético, o qual contribui com mitigação de 60 MtCO₂e em 2025 (cenário BC0) e 211 MtCO₂e em 2030 (cenário BC10). No cenário BC0, observam-se os maiores valores de redução de emissões nos setores industrial, gestão de resíduos e transportes, sendo que a eficiência energética desempenha papel relevante para a mitigação de emissões 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 BC10, o aumento do potencial de mitigação de emissões no setor elétrico em relação ao BC0, em particular devido à adoção de medidas de eficiência energética e repotenciação de usinas hidrelétricas.

O aumento das emissões no setor de edificações, em 2030, 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.

Deve-se enfatizar que a implementação dessas medidas enfrenta barreiras que precisam ser removidas para viabilizar o cumprimento das metas de redução de emissões em 2025 e 2030. Esse é o caso, por exemplo, da troca de queimadores para a geração de calor industrial, que demandam acesso ao capital para investimento, assim como capacitação técnica para empreender a medida. No caso das medidas do cenário BC10, uma barreira econômica está relacionada à necessidade da internalização de um valor de carbono na economia de US\$ 10/tCO₂e.

Tabela 7: Cenários e potenciais de redução de emissões do sistema energético, por subsetores e não CO₂,¹ em 2025 e 2030

	Emissão de GEE (MtCO ₂ e)						Mitigação de Emissão de GEE ² (MtCO ₂ e)			
	2025			2030			2025		2030	
	REF	BC0	BC10	REF	BC0	BC10	BC0	BC10	BC0	BC10
Indústria	120,4	105,4	87,4	131,5	110,9	91,9	-15,0	-33,0	-20,6	-39,6
Agricultura	22,0	21,9	22,1	23,9	23,8	24,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,3
Transportes	214,6	200,7	198,4	228,6	208,6	203,3	-13,9	-16,2	-20,0	-25,3
Edificações	22,5	22,5	22,4	21,0	21,4	21,4	0,0	-0,1	0,4*	0,4*
Elétrico	49,4	47,6	25,3	53,2	52,3	27,2	-1,8	-24,1	-0,9	-26,0
Energético	118,0	108,1	85,5	140,6	131,0	106,3	-9,9	-32,5	-9,6	-34,3
Processos industriais	98,3	97,7	88,7	106,6	105,3	94,1	-0,6	-9,6	-1,3	-12,5
Não CO₂¹	35,6	28,4	10,4	42,2	33,0	13,2	-7,2	-25,2	-9,2	-29,0
Gestão de Resíduos	108,5	96,6	68,5	122,2	83,1	77,1	-11,9	-40,0	-39,1	-45,1
Total	789,3	728,9	608,7	869,8	769,4	658,7	-60,4	-108,6	-100,4	-211,1

¹Emissões de CH₄ relativas à operação em plataformas de petróleo, assim como transporte e distribuição de gás natural e carvão.

²As reduções de emissões para os cenários BC0 e BC10 foram calculadas subtraindo as emissões dos cenários REF dos respectivos anos (2025 e 2030).

*Nesse cenário, o subsetor apresenta aumento de emissão.

REF = Cenário de referência; BCx = Cenário de baixo carbono, no qual "x" se refere à faixa de valor de carbono abrangida pelo cenário (US\$ 0 e US\$ 10/tCO₂e).

Conforme demonstrado na Tabela 8, quase a totalidade da redução de emissões de GEE que ocorre nos cenários do sistema energético deriva de:

- Significativos ganhos de eficiência na conversão de energia térmica na indústria por medidas de custo fixo praticamente nulo, como controle adequado de queima, bem como por medidas de custo fixo baixo (posto que não nulo), como a reposição de equipamentos no final da vida útil (troca de queimadores por *Low-No_x Burners* – LNB);
- Redução de queima em *flare* 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;
- Ganhos de eficiência elétrica nas edificações e na indústria, reduzindo a necessidade de expansão de plantas termelétricas a carvão;
- Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos e de estações de tratamento de efluentes para a produção de biometano e eletricidade;
- Mudança no modal individual para coletivo, visando ao transporte de passageiros, e do transporte de carga de rodovias para ferrovias e hidrovias.

Tabela 8: Principais atividades de baixo carbono do sistema energético, por setor e segmento

Setor (segmento)	Principais opções de mitigação	Potencial de Mitigação (MtCO ₂ e) ¹	
		BC0 (2025)	BC10 (2030)
Indústria (Outros)	Substituição de combustíveis; eficiência na geração de calor e vapor.	5,0	23,4
Indústria (Cimento)	Substituição de combustíveis; eficiência na geração de calor (troca de queimadores).	2,5	9,8
Indústria (Químico)	Substituição de combustíveis; eficiência na geração de calor e vapor (troca de queimadores).	2,0	7,5
Indústria (Siderúrgico)	Eficiência na geração de calor por meio da troca de queimadores.	1,0	3,0
Energia (E&P de óleo e gás)	Redução de <i>flare</i> ; instalação de unidades de recuperação de vapor; selagem a gás; instalação de invólucro do compressor; inspeção e manutenção.	13,1	18,9
Energia (Eletricidade)	Cogeração de energia a partir da cana-de-açúcar; repotenciação de usinas hidrelétricas; substituição de térmicas a carvão e gás natural por bagaço de cana.	1,7	22,3
Transportes	Mudança modal, em particular do transporte individual para coletivo, e do transporte de carga por rodovias para ferrovias e hidrovias.	10,0	12,2
Edificações (Residencial)	Eficiência de fogões a GLP e substituição de fogões a GLP para gás natural; substituição de lâmpadas fluorescentes por LED.	5,1	6,2
Gestão de Resíduos (Resíduos Sólidos Urbanos)	Aproveitamento de biogás de aterro para produção de biometano e geração elétrica; biodigestão de RSU para produção de eletricidade.	8,2	16,9
Gestão de Resíduos (Efluentes)	Aproveitamento de biogás de estações de tratamento de esgoto para produção de eletricidade.	1,9	5,4
Total		50,5	125,6

¹ O potencial e as opções de mitigação referem-se aos cenários BC0 e BC10, para os anos de 2025 e 2030, respectivamente.

Impactos econômicos da implementação dos cenários de baixo carbono

Uma vez identificadas as ações de baixo carbono mais custo-efetivas a serem priorizadas setorialmente para o cumprimento do compromisso assumido da NDC, foram analisados os custos e os impactos econômicos agregados e setoriais, tendo em vista a relevância para o estabelecimento do papel que cada setor poderia assumir no cumprimento das metas.

A implementação dos cenários BC0 e BC10 geraria impacto financeiro positivo para o setor de Afolu (Tabela 9) e para o sistema energético (Figura 7). No caso do setor de Afolu, o resultado financeiro seria de aproximadamente US\$ 13 bilhões no cenário BC10. Esse cenário representa o limite superior de custos de implementação, abrangendo ações menos atrativas sob o ponto de vista financeiro (redução do desmatamento, recomposição da vegetação nativa, intensificação da pecuária), ou seja, que apresentam custos totais superiores às receitas totais.

A principal atividade de baixo carbono, em termos de potencial de mitigação para o setor, apresenta custo incremental de cerca de US\$ 2 bilhões. O resultado financeiro negativo com a redução do desmatamento deriva do diferencial do custo total com a implementação da medida, que abrange custos com o Cadastro Ambiental Rural, assim como de ações de fiscalização e do Pagamento por

Serviços Ambientais, em relação à receita total gerada, para a qual utilizou-se como *proxy* a rentabilidade do manejo florestal sustentável.

Tabela 9. Custos e receitas totais associados à implementação das atividades de baixo carbono pelo setor de Afolu

Medidas	Custo Total	Receita Total	Resultado Financeiro
Redução do desmatamento	4.004	2.008	-1.996
Recomposição da vegetação nativa	3.800	-	-3.800
Intensificação da pecuária	10.300	5.569	-4.731
Fertilização biológica do nitrogênio e plantio direto	124.816	136.434	11.618
Florestamento por plantios comerciais	11.417	11.626	209
Sistemas integrados de cultivo	33.428	45.224	11.796
Total	187.763	200.861	13.097

Custo Total = custo total para implementação da medida no período de 2010 a 2030;

Receita Total = receita gerada com a implementação da medida no período de 2010 a 2030;

Resultado Financeiro = Custo Total – Receita Total.

A implementação do cenário REF do sistema energético apresenta custo total, no período de 2010 a 2050, de US\$ 6,7 trilhões, implicando custo médio anual de US\$ 163 bilhões. Portanto, o custo da implementação do cenário de referência até 2025 é de US\$ 2.608 bilhões e, até 2030, é de US\$ 815 bilhões adicionais. Nesse caso, a adoção do cenário BC0, em 2025, denota ganho financeiro total de aproximadamente 0,3% ao ano. Ou seja, a implementação desse cenário implica redução de US\$ 8 bilhões nos custos totais de expansão do sistema energético. No cenário BC10, em 2030, o ganho financeiro seria nulo. Em outras palavras, o cumprimento da NDC não envolve custos adicionais para o sistema energético (Figura 7).

Os resultados do cenário BC10 derivam, sobretudo, do impacto financeiro oriundo da representatividade das ações de eficiência energética para a mitigação de emissões de GEE. Esse resultado é explicado pelo fato de que essas atividades, frequentemente, apresentam receitas oriundas da economia com consumo de energia superiores aos custos necessários para sua implementação, operação e manutenção.

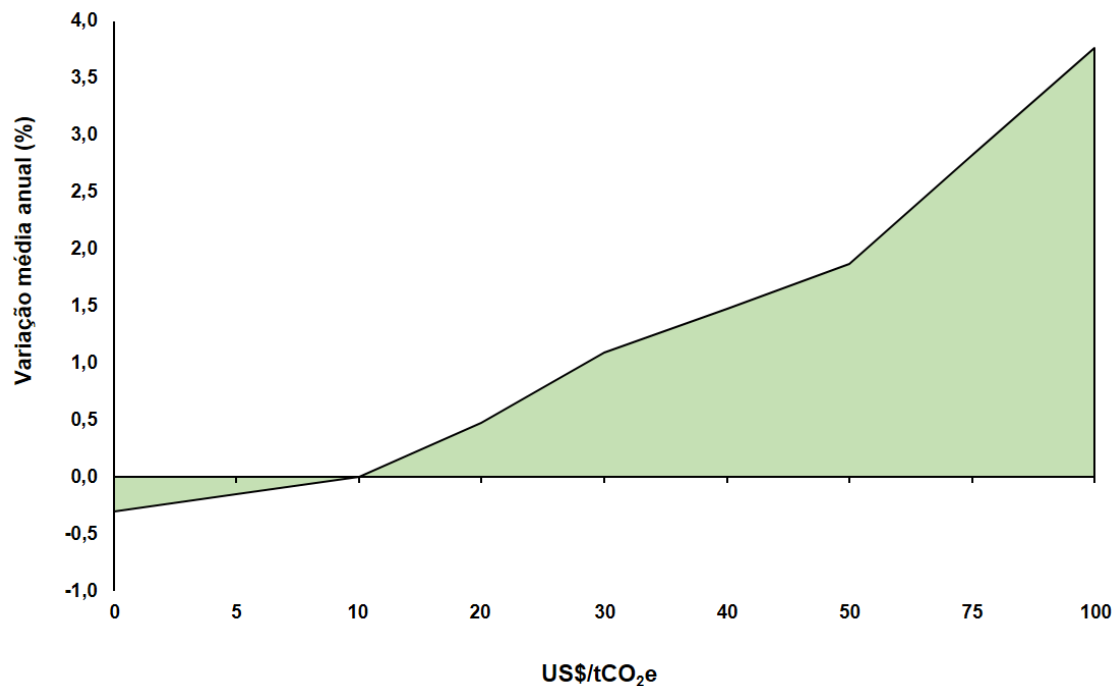


Figura 7: Custos de implementação das atividades de baixo carbono pelo sistema energético nos diferentes cenários de valor implícito de carbono (BCx), no período 2010-2050, com relação ao cenário de referência (REF)

A implementação do cenário REF do sistema energético apresenta custo total de US\$ 6,7 trilhões no período, implicando custo médio anual de US\$ 163 bilhões.

BCx = Cenário de baixo carbono, no qual “x” se refere à faixa de valor de carbono abrangida pelo cenário (US\$ 0 a US\$ 100/tCO₂e).

A adoção dos cenários para cumprimento da NDC brasileira pouco impactaria o crescimento acumulado do PIB (Figura 8). De fato, o cenário BC0 praticamente não afetaria as projeções de variação do PIB no período de 2015 a 2025, e a adoção do cenário BC10 levaria a uma redução média anual do PIB menor que 0,1%, entre 2015 e 2030, pois a perda acumulada de PIB para o período seria de apenas 1,2%.

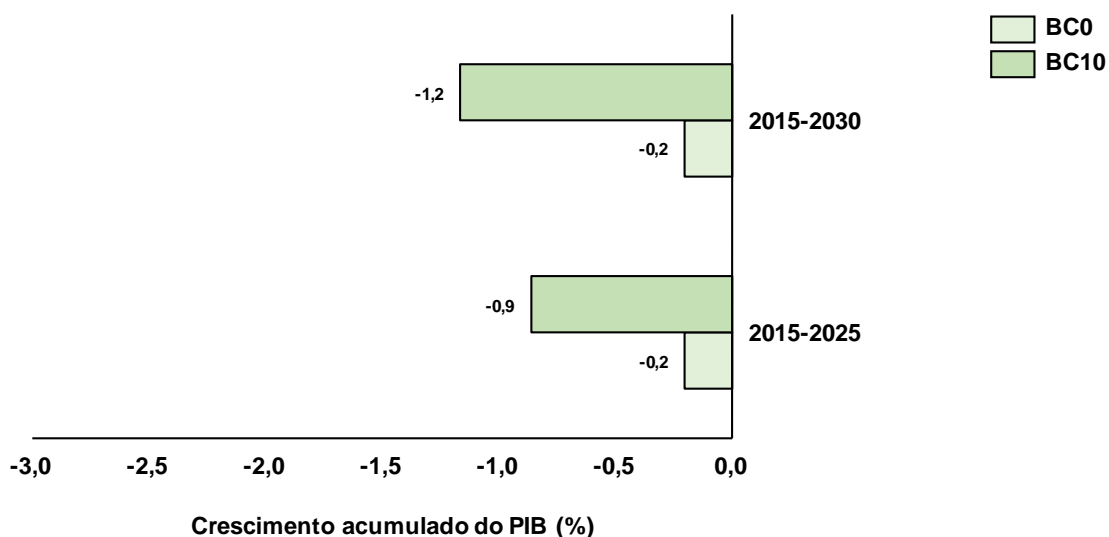


Figura 8: Impacto sobre o crescimento acumulado do PIB nacional na adoção dos cenários BC0 e BC10 até 2030

BCx = Cenário de baixo carbono, no qual “x” se refere à faixa de valor de carbono abrangida pelo cenário (US\$ 0 e US\$ 10/tCO₂e).

Em suma, o cumprimento da NDC brasileira não geraria pressões significativas sobre as taxas de crescimento da economia. Analisando os principais setores impactados na adoção do cenário BC0, verifica-se que a meta geraria maior impacto em termos de redução do PIB, relativamente ao cenário REF em 2025, sobre o segmento de refino de petróleo (Figura 9). Por outro lado, a adoção das medidas custo-efetivas de efficientização energética no setor de petróleo e gás natural traria considerável 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 exploração e produção (E&P).

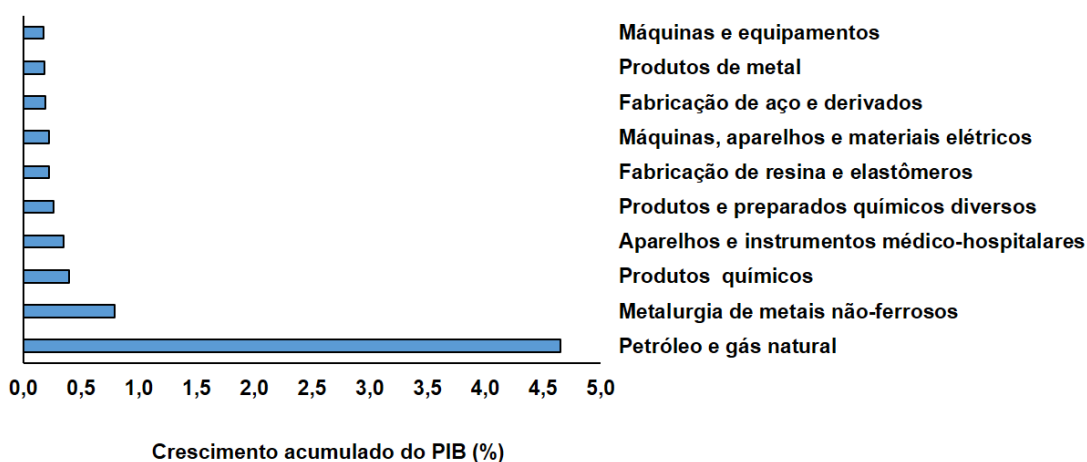
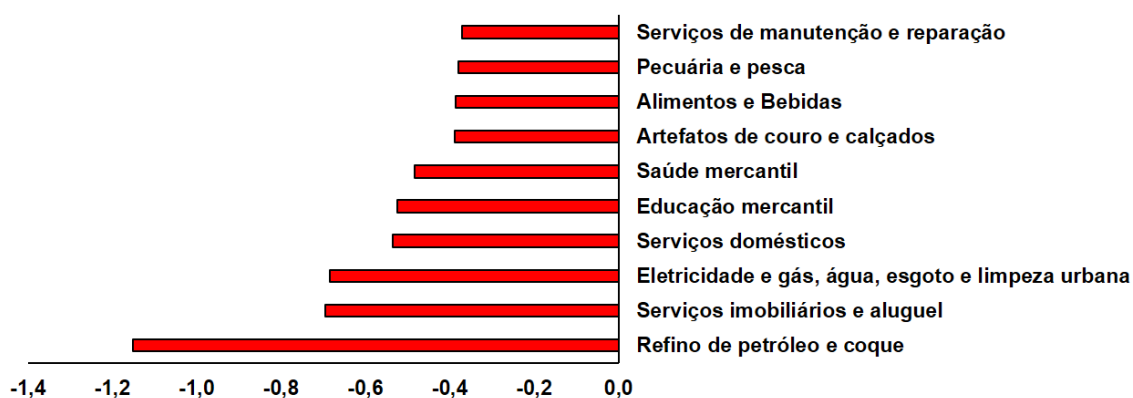


Figura 9: Impacto sobre o crescimento do PIB setorial acumulado na adoção do cenário BC0 em 2025

A implementação do cenário BC10 em 2030 afetaria, significativamente, o crescimento do PIB da cadeia siderúrgica e do setor elétrico (Figura 10). 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 custo de carbono sobre os custos de produção, em particular devido à carbono-intensidade dos insumos de produção. Mais do que isso, em face do encadeamento desse setor com a construção civil, verificar-se-iam significativos impactos sobre a construção civil e a oferta de serviços imobiliários e de aluguel.

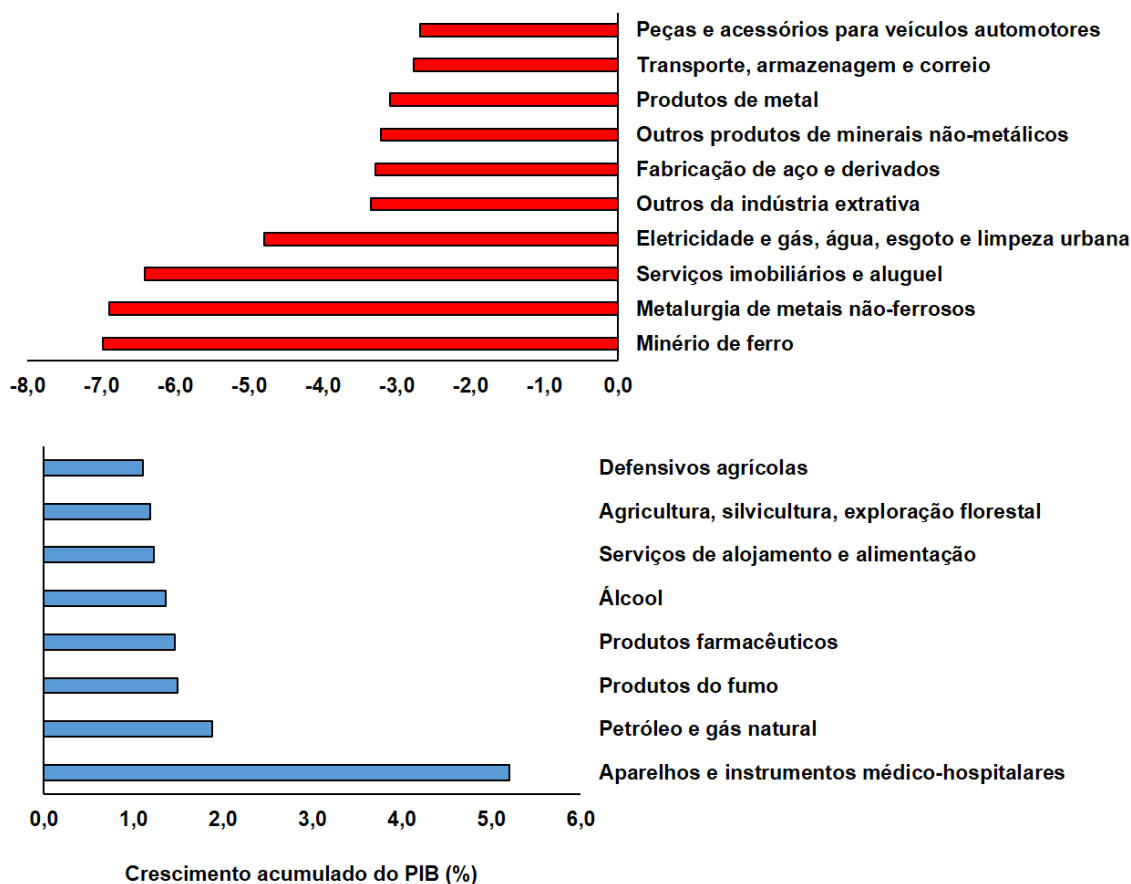


Figura 10: Impacto sobre o crescimento do PIB setorial acumulado na adoção do cenário BC10 em 2030

Na Figura 11, estão demonstrados os impactos sobre os indicadores de emprego e renda decorrentes da adoção dos cenários BC0 e BC10 em 2025 e 2030, respectivamente. As análises mostraram que os indicadores permanecem praticamente inalterados, principalmente os indicadores-chave que tratam da variação média anual do pessoal ocupado e da renda do trabalho.

Destaca-se que a variação negativa no pessoal ocupado, nos cenários REF e BC0 em 2025, decorre da inércia necessária para a recuperação do emprego decorrente da atual conjuntura econômica. Ou seja, não guarda relação com a adoção de medidas de mitigação de emissões de GEE.

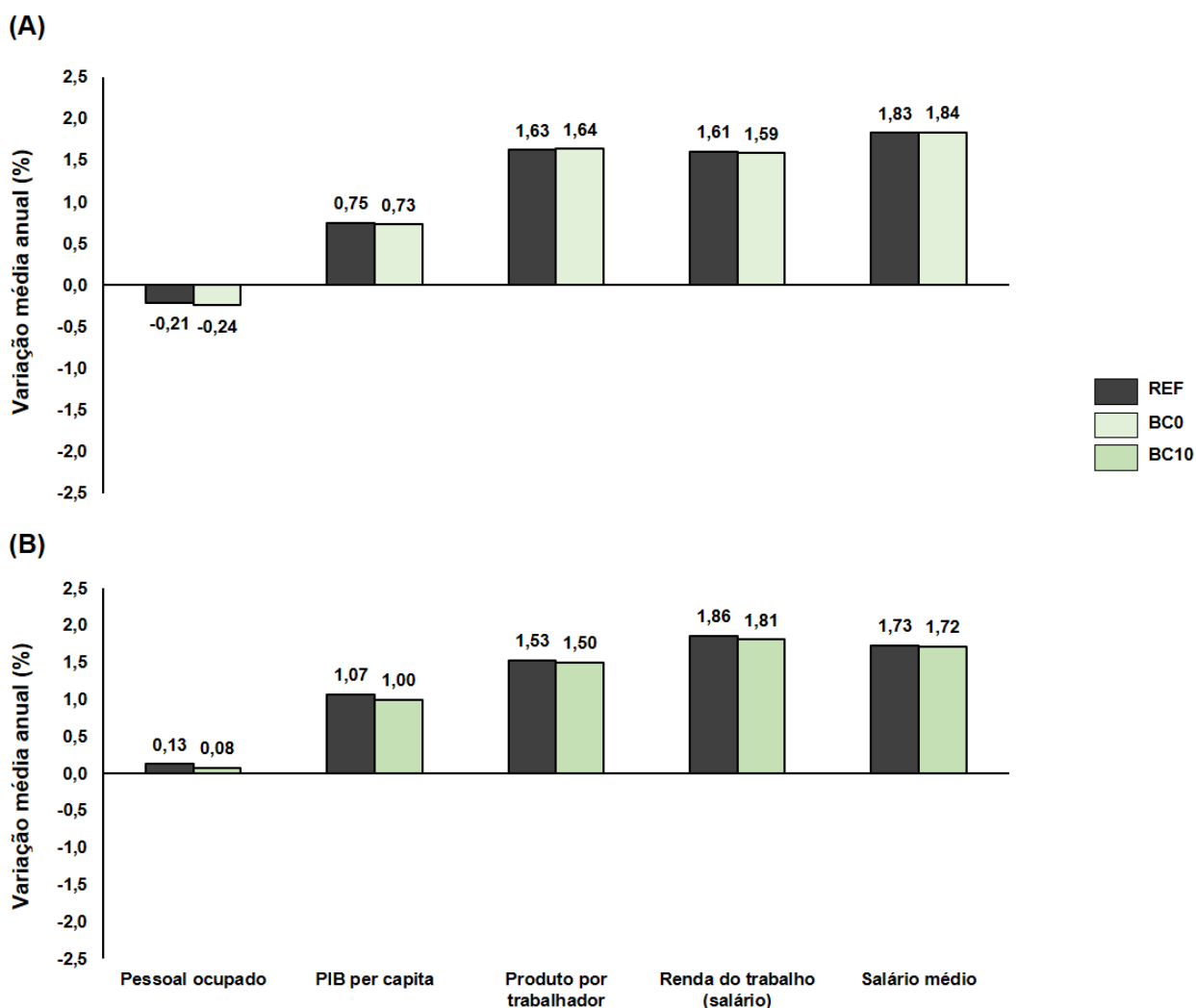


Figura 11: Variação média anual de indicadores de emprego e renda em 2025 a 2030

(A) Variação dos indicadores de emprego e renda até 2025, nos cenários REF e BC0.

(B) Variação dos indicadores de emprego e renda até 2030, nos cenários REF e BC10.

REF = Cenário de referência.

BCx = Cenário de baixo carbono, no qual “x” se refere à faixa de valor de carbono abrangida pelo cenário (US\$ 0 e US\$ 10/tCO₂e).

Considerações finais

O Projeto “Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em Setores-Chave do Brasil” considera um exercício inédito, em nível nacional, de modelagem integrada de cenários de mitigação de emissões de GEE. O procedimento metodológico trouxe robustez às projeções apresentadas na medida em que garantiu tanto consistência macroeconômica quanto identificação de potenciais setoriais aditivos de abatimento de emissões. Ademais, apresentou as oportunidades de mitigação por uma lógica de custo-efetividade, ressaltando os impactos que sua implementação traria para diferentes agregados econômicos, entre os quais, PIB, nível de emprego e renda.

A adoção das ações com valor de carbono implícito nulo (cenário BC0) é compatível com o cumprimento da meta da NDC para 2025, representando redução com relação à projeção referencial das emissões de 5%. Em 2030, o cumprimento do compromisso assumido exige a adoção do cenário BC10, que demanda esforço econômico de internalização de preço de carbono na economia da ordem de US\$10 por tonelada de dióxido de carbono equivalente. Todavia, trata-se de patamar reduzido de valoração do carbono, compatível com valores verificados na segunda fase do comércio de permissões de emissões da União Europeia (EU-ETS).¹⁴ Mais que isso, permitiria superar a meta proposta pela NDC na medida em que resultaria em emissões de cerca de 1.100 MtCO₂e em 2030.

O setor de Afolu contribui com mitigação de 11 MtCO₂e, em 2025, e 157 MtCO₂e, em 2030. A expansão das seguintes atividades é determinante para o nível de mitigação de emissões de 2025:

- Plantio de florestas comerciais;
- Sistemas conservacionistas (sistemas integrados de cultivo e plantio direto);
- Aporte de nitrogênio via fertilização biológica.

O aumento do papel do setor para o cumprimento da NDC, em 2030, deriva de:

- Expansão das ações de redução do desmatamento;
- Ampliação do restauro florestal;
- Intensificação da pecuária.

A ampliação da adoção de atividades de baixo carbono no sistema energético contribuiria com redução de emissões de cerca de 60 MtCO₂e, em 2025, e 210 MtCO₂e, em 2030. Os setores energético e de gestão de resíduos apresentam o maior potencial de redução em 2025, e, em 2030, o setor industrial também desempenha papel relevante. De fato, trata-se de setores com menores custos de abatimento de emissões, tendo destaque o papel da eficiência na conversão de energia e aproveitamento energético de resíduos para o cumprimento das metas da NDC. As principais ações setoriais de baixo carbono são:

- Troca de queimadores no setor industrial;
- Redução de queima em *flare* e instalação de unidades de recuperação de vapor em plataformas de E&P de óleo e gás;
- Eficientização e substituição de fogões a GLP para gás natural e substituição de lâmpadas fluorescentes por LED nas edificações;

¹⁴ The Climate Group (2013). Analyzing the issues that matter to the Clean Revolution. Insight briefing: Carbon pricing. Disponível em: <<https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/archive/files/May-Insight-Briefing---Carbon-Pricing.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2017.

- Repotenciação de usinas hidrelétricas e cogeração de energia, a partir da cana, no setor elétrico;
- Aproveitamento energético proveniente de resíduos sólidos urbanos e de estações de tratamento de efluentes para a produção de biometano e eletricidade;
- Mudança no modal no setor de transportes.

A implementação dos cenários BC0, em 2025, e BC10, em 2030, pouco impactaria os indicadores de PIB, emprego e renda. Os setores siderúrgico e elétrico seriam mais afetados mediante a internalização de um valor de carbono na economia de US\$10/tCO_{2e}. Em virtude do poder de encadeamento desses setores com setores 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.

É importante mencionar que, até o presente momento, não foram medidos efeitos da adoção de mecanismos de mercado para a implementação dos cenários de baixo carbono construídos pelo projeto. Portanto, os impactos decorrentes da implementação das metas da NDC desconsideram, por exemplo, a possível reciclagem de recursos oriundos da taxaço de carbono junto a setores-chave. Tal aspecto, seguramente, amenizaria efeitos negativos sobre os indicadores de PIB, emprego e renda e, possivelmente, potencializaria efeitos positivos derivados do direcionamento do imposto de carbono aos setores mais dinâmicos da economia.