

Resumo dos Resultados: Cenários Setoriais de Emissões de GEE para a Descarbonização de Economia Brasileira

Centro Clima/COPPE/UFRJ

Abril de 2026

Sumário

Apresentação	1
Resultados (Trajetórias de Emissões de GEE do País nos dois Cenários).....	3
Seleção das Medidas de Mitigação – Curvas MACC	3
Resultados (Trajetórias de Emissões Setoriais de GEE nos dois Cenários)	10
Mudanças no Uso da Terra (MUT)	11
Agricultura	14
Indústria.....	14
Transportes	15
Resíduos	15
Energia	16
Participação dos Setores na Mitigação	19
Participação das Medidas de Mitigação.....	20
Custos e Emissões Evitadas por Período.....	21
Faixas de Custos e Emissões Evitadas Acumuladas	23
Análise de Sensibilidade do Preço do Carbono.....	25
Recomendações Setoriais	26

Apresentação

O estudo teve como objetivo a elaboração de CENÁRIOS SETORIAIS DE EMISSÕES PARA A DESCARBONIZAÇÃO DA ECONOMIA BRASILEIRA.

As trajetórias para se atingir o nível zero das emissões líquidas de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil dependem fundamentalmente de 3 fatores:

- o contexto político, econômico e tecnológico mundial e nacional
- as metas definidas para a trajetória de emissões anuais brutas e das remoções do país até atingir a descarbonização
- a contribuição de cada setor e fonte de emissões de GEE para o atingimento das metas.

Neste estudo, foram adotadas as seguintes premissas:

- um contexto internacional de implementação das metas do Acordo de Paris por seus países-membros, com redução gradual do consumo mundial de combustíveis fósseis;
- o cumprimento de limitação das emissões de GEE dos compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris.

As Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, sigla em inglês) do Brasil estabeleceram metas de 1,32 GtCO₂e em 2025, 1,2 GtCO₂e em 2030 e 0,85 GtCO₂e (limite inferior da faixa estabelecida) em 2035. Além disso, o país se comprometeu com o atingimento da neutralidade climática (emissões líquidas zero), em 2050. Os valores estimados para 2025 indicam que a meta não foi alcançada.

O estudo investigou as possibilidades de no futuro conciliar a redução de emissões de GEE com o desenvolvimento econômico e social do país. Assim, os cenários projetados assumem um nível acelerado de crescimento econômico, da ordem de 2,9% ao ano, em média, superior à média anual de 1991 a 2025, de 2,48% a.a., e permitindo alcançar a meta do Plano de Transformação Ecológica de dobrar o PIB/capita em 2050 com relação ao de 2022.

Para avaliar os impactos da transição ecológica, foram desenvolvidos dois cenários:

- **Cenário de Referência (REF)** = Aceleração do Desenvolvimento Econômico e Social
 - Aumento do desmatamento anual até 2022, queda de 2023 a 2025 e estabilidade até 2030 com valores constantes até 2050;

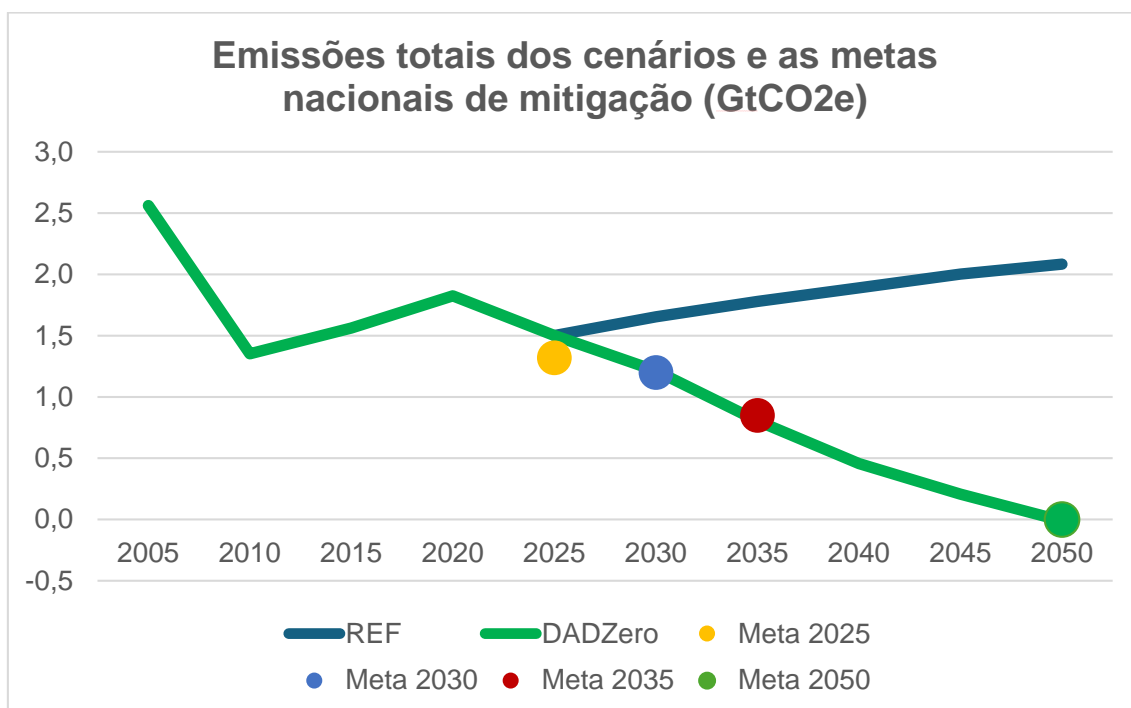
- Prosseguimento do Plano ABC, Renovabio e programas atuais de mitigação, no ritmo atual;
- Sem precificação explícita do carbono nem novas políticas climáticas até 2050;
- **Cenário de Descarbonização com Atraso no Desmatamento Zero (DADZero) =** Aceleração do Desenvolvimento Econômico e Social, com Transição Justa para a neutralidade climática em 2050.
 - Trajetória de emissões de GEE do país compatível com emissões líquidas zero em 2050 e metas da NDC em 2030 e 2035 (considerando a meta mais restritiva, em 2035);
 - Queda progressiva na área desmatada de 2025 até 2050 simulando o desmatamento zero na Mata Atlântica em 2030, na Amazônia em 2040 e nos demais biomas em 2050 (atraso em relação à meta governamental de desmatamento zero em 2030) e aumento de sumidouros de CO₂ a partir de 2025;
 - Precificação de Carbono, das emissões de GEE resultantes do uso de combustíveis fósseis e de Processos Industriais, a partir de 2026. Demais setores implementam medidas de mitigação com custos marginais de abatimento até o limite do preço do carbono. A exceção é o setor de AFOLU, no que se refere à redução do desmatamento e aumento de áreas protegidas.

No Cenário de Referência, a projeção incorpora a implementação de medidas de mitigação já em vigor sem que haja aumento da ambição. Seus resultados mostram que as metas não são alcançadas em nenhum dos anos de compromisso, com as emissões chegando a 2,01 GtCO₂e em 2050.

No cenário de descarbonização profunda, Cenário DADZero, são introduzidas em diversos setores da economia ações adicionais de mitigação de custos compatíveis com o preço de carbono em cada período (medidas mais baratas entram primeiro). Seus resultados mostram as emissões em conformidade com todas as metas estabelecidas.

A figura a seguir apresenta os resultados agregados dos cenários confrontados com as metas das NDCs do Brasil.

Resultados (Trajetórias de Emissões de GEE do País nos dois Cenários)



Seleção das Medidas de Mitigação – Curvas MACC

Para selecionar as medidas de mitigação dentre o conjunto de opções identificadas em cada setor, foi elaborada uma Curva de Custo Marginal de Abatimento (MACC, na sigla em inglês). Essa abordagem permite comparar as medidas quanto ao custo por tonelada equivalente evitada (US\$/tCO₂e) e ao potencial total de redução de emissões, facilitando a identificação e priorização das medidas mais custo-efetivas.

Cada medida foi posicionada na MACC conforme segue:

- Potencial de abatimento (eixo horizontal), expresso em toneladas de CO₂e evitadas;
- Custo marginal de abatimento (eixo vertical), expresso em US\$/tCO₂e.

As medidas com custo negativo indicam economia líquida, ou seja, os investimentos necessários são mais do que compensados pelas receitas ou economias geradas (por exemplo, pela redução do consumo de combustível).

Por outro lado, as medidas com custo positivo demandam investimentos adicionais que não são compensados pelas receitas diretas, tornando-se economicamente atrativas apenas sob a existência de instrumentos como a precificação de carbono.

Assim, a MACC constituiu uma base analítica para a seleção das medidas prioritárias, posteriormente incorporadas aos cenários de mitigação. As MACC para cada período são apresentadas detalhadamente nas figuras a seguir. Definiu-se a apresentação dos resultados no ano final de cada período, de modo a obter a melhor representação do custo marginal das medidas de mitigação.

Premissas

Valores monetários da MACC em moeda de 2020

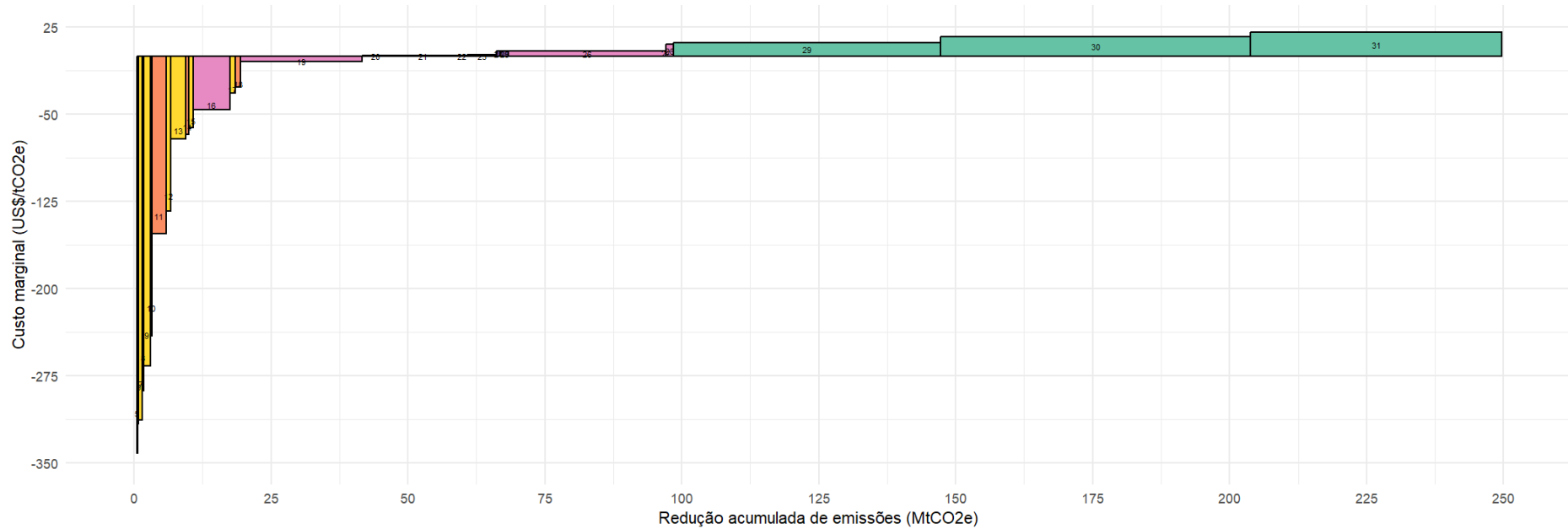
Taxa de câmbio = 5 R\$/US\$

Taxa de desconto = 8% a. a. (fluxos financeiros em valor presente)

Custo = (CAPEX + OPEX – Receitas) / Potencial de abatimento de emissões

Curva de Custo Marginal de Abatimento - 2030

DADZero - Emissões Evitadas x Preço do Carbono (2030) | Preço-limite = 21 US\$/tCO₂e

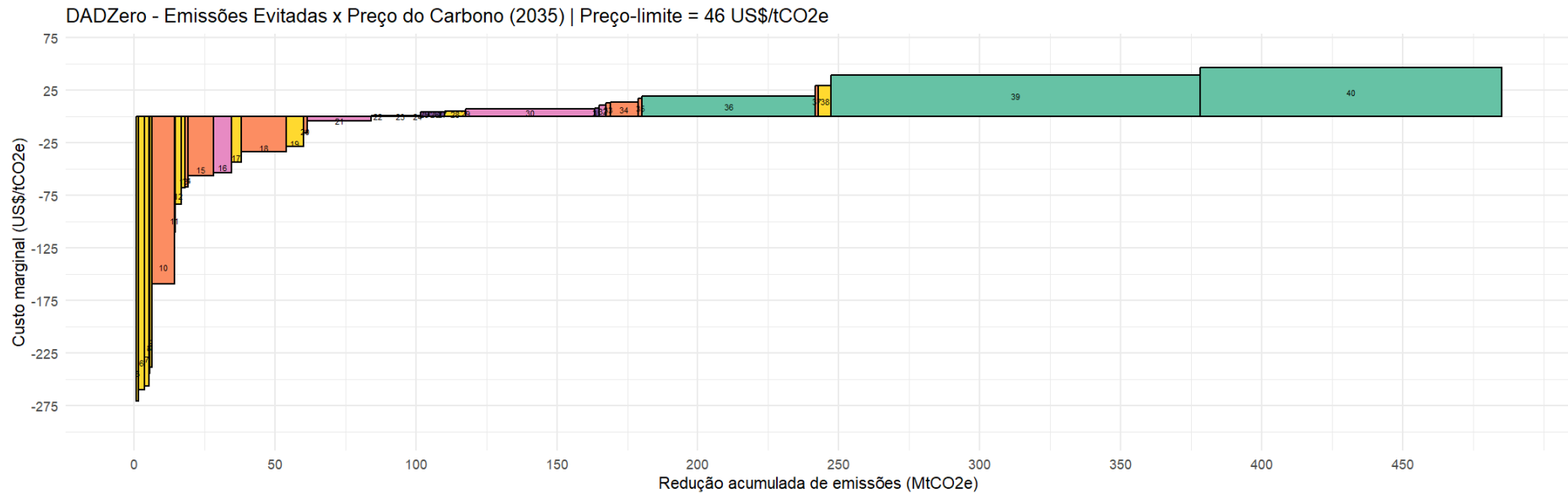


Grupos de Medidas

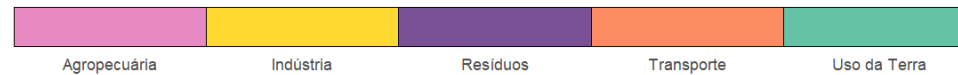


1 - Ind_Industria_EficEnergetica	8 - Ind_AlimBebidas_UsoCombRenovaveis	15 - Ind_Cimento_UsoResiduosEnerg	22 - Residuos_FlareEficiente_ETEInd	29 - FlorestaPlantada_FlorestaPlantada
2 - Ind_NaoFerrosos_EficEnergetica	9 - Ind_Quimica_UsoCombRenovaveis	16 - Agricultura_FixBioNitrogenio	23 - Ind_FerroAco_UsoCarvaoVegetal	30 - RestauoNativas_Publicas
3 - Ind_FerroAco_EficEnergetica	10 - Ind_PapelCelulose_UsoCombRenovaveis	17 - Ind_Cimento_AdicCinquer	24 - Residuos_Eletricidade_ETEInd	31 - RestauoNativas_Privadas
4 - Ind_Quimica_EficEnergetica	11 - TranspCarga_EficOperacoesLogisticas	18 - TranspPassageiros_ExpansEtanoAnidroHidratado	25 - Residuos_Eletricidade_ETEDom	
5 - Ind_PapelCelulose_EficEnergetica	12 - Ind_NaoFerrosos_UsoCombRenovaveis	19 - Agricultura_SistPlantioDireto	26 - Pecuaria_IntensificacaoPecBovina	
6 - Ind_AlimBebidas_EficEnergetica	13 - Ind_Cimento_EficEnergetica	20 - Residuos_FlareEficiente_ETEDom	27 - Ind_FerroAco_EAF	
7 - Ind_Industria_UsoCombRenovaveis	14 - TranspPassageiros_ExpansTranspAtivoUrbano	21 - Residuos_FlareEficiente	28 - Agricultura_ManejoDejAnimais	

Curva de Custo Marginal de Abatimento - 2035



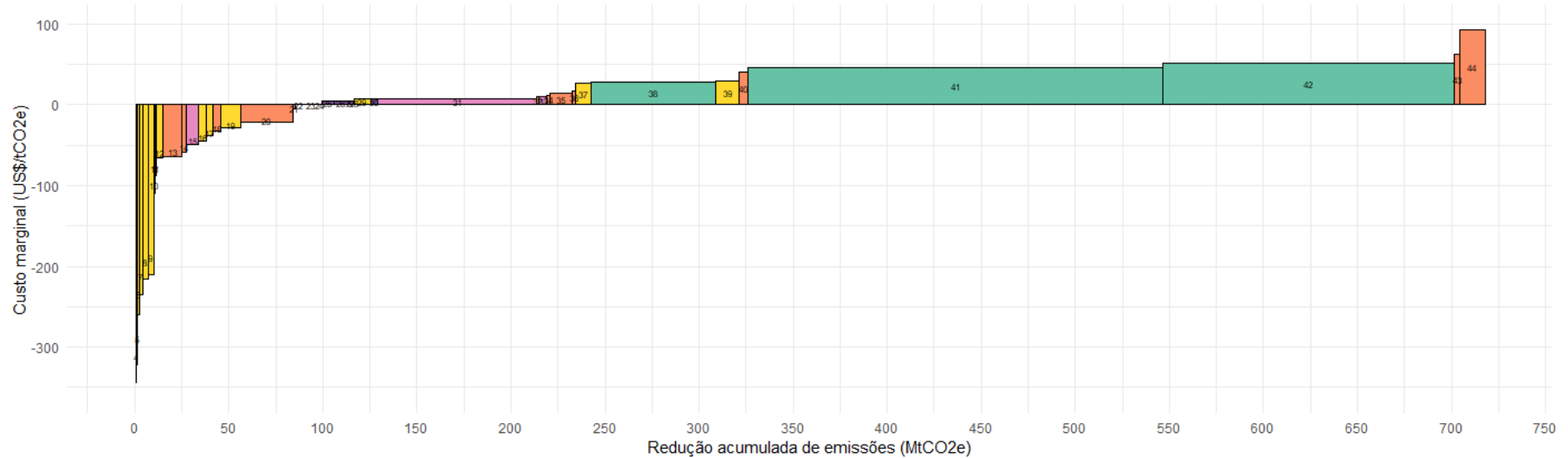
Grupos de Medidas



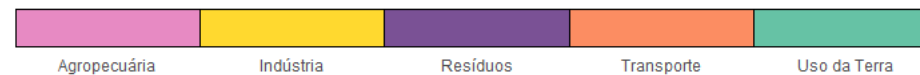
1 - Ind_Industria_EficEnergetica	9 - Ind_PapelCelulose_UsoCombRenovaveis	17 - Ind_Cimento_EficEnergetica	25 - Residuos_EletricAterro	33 - TranspCarga_ExpInfraAltaCapacidade_Cen8PBL
2 - Ind_NaoFerrosos_EficEnergetica	10 - TranspCarga_ExpInfraAltaCapacidade_Cen6PBL	18 - TranspPassageiros_ExpansEtanoAnidroHidratado	26 - Residuos_Eletricidade_ETEDom	34 - TranspCarga_ExpansaoBiodieselRodFerroVagat
3 - Ind_FerroAco_EficEnergetica	11 - Ind_Quimica_EficEnergetica	19 - Ind_Cimento_AdicCinquer	27 - Residuos_Eletricidade_ETEInd	35 - TranspCarga_ExpansaoBiometanoVeicPesados
4 - Ind_PapelCelulose_EficEnergetica	12 - Ind_NaoFerrosos_UsoCombRenovaveis	20 - TranspPassageiros_EletrificacaoVeicLeves_Metrop	28 - Ind_FerroAco_UsoCarvaoVegetal	36 - FlorestaPlantada_FlorestaPlantada
5 - Ind_AlimBebidas_UsoCombRenovaveis	13 - Ind_Cimento_UsoResiduosEnerg	21 - Agricultura_SistPlantioDireto	29 - Ind_FerroAco_EAF	37 - TranspCarga_EletrificacaoCargasUrbano
6 - Ind_Quimica_UsoCombRenovaveis	14 - TranspPassageiros_ExpansTranspAtivoUrbano	22 - Residuos_FlareEficiente_ETEDom	30 - Pecuaria_IntensificacaoPecBovina	38 - Ind_FerroAco_DR-GN
7 - Ind_Industria_UsoCombRenovaveis	15 - TranspCarga_EficOperacoesLogisticas	23 - Residuos_FlareEficiente	31 - Residuos_BiometanoAterro	39 - RestauoNativas_Publicas
8 - Ind_AlimBebidas_EficEnergetica	16 - Agricultura_FixBioNitrogenio	24 - Residuos_FlareEficiente_ETEInd	32 - Agricultura_ManejoDejAnimais	40 - RestauoNativas_Privadas

Curva de Custo Marginal de Abatimento - 2040

DADZero - Emissões Evitadas x Preço do Carbono (2040) | Preço-limite = 94 US\$/tCO₂e



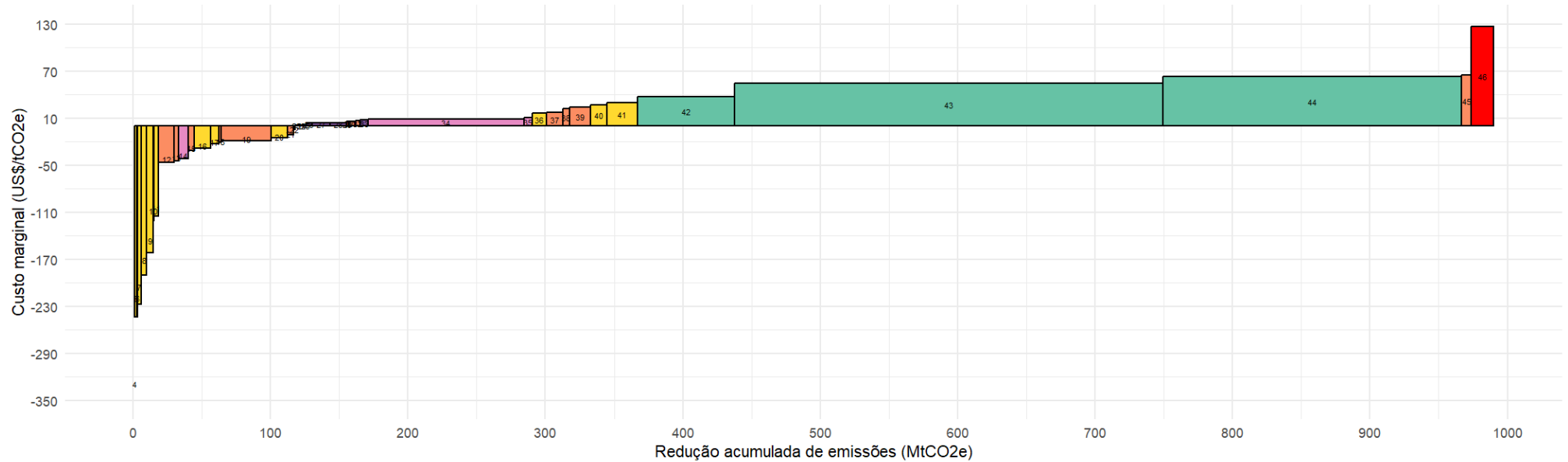
Grupos de Medidas



1 - Ind_Industria_EficEnergetica	10 - Ind_Quimica_EficEnergetica	19 - Ind_Cimento_AdioClinquer	28 - Ind_FerroAco_EAF	37 - Ind_Industria_SubstHFCs
2 - Ind_NaoFerrosos_EficEnergetica	11 - TranspPassageiros_Eletrific_TranspPubUrbano_Metrop	20 - TranspPassageiros_ExpansEtanoAnidroHidratado	29 - Ind_FerroAco_UsoCarvaoVegetal	38 - FlorestaPlantada_FlorestaPlantada
3 - Ind_FerroAco_EficEnergetica	12 - Ind_Cimento_EficEnergetica	21 - Agricultura_SistPlantioDireto	30 - Residuos_BiometanoAterro	39 - Ind_FerroAco_DR-GN
4 - Ind_PapelCelulose_EficEnergetica	13 - TranspCarga_EficOperacoesLogisticas	22 - Residuos_FlareEficiente_ETEDom	31 - Pecuaria_IntensificacaoPecBovina	40 - TranspCarga_Eletrific_Hibrid_Caminhoes_Regional
5 - Ind_AlimBebidas_EficEnergetica	14 - TranspPassageiros_ExpansTranspAtivoUrbano	23 - Residuos_FlareEficiente	32 - TranspCarga_ExpansaoBiometanoVeicPesados	41 - RestauroNativas_Publicas
6 - Ind_AlimBebidas_UsoCombRenovaveis	15 - Agricultura_FixBioNitrogenio	24 - Residuos_FlareEficiente_ETEInd	33 - Agricultura_ManejoDejAnimais	42 - RestauroNativas_Privadas
7 - Ind_PapelCelulose_UsoCombRenovaveis	16 - Ind_NaoFerrosos_UsoCombRenovaveis	25 - Residuos_EletricAterro	34 - TranspPassageiros_EletrificacaoVeicLeves_Metrop	43 - TranspPassageiros_OnibusUrb_Eletrific_Qualific
8 - Ind_Quimica_UsoCombRenovaveis	17 - Ind_Cimento_UsoResiduosEnerg	26 - Residuos_Eletricidade_ETEDom	35 - TranspCarga_ExpansaoBiodieselRodFerroVAcuat	44 - TranspCarga_ExpInfraAltaCapacidade_Cen6PBL
9 - Ind_Industria_UsoCombRenovaveis	18 - TranspCarga_ExpInfraAltaCapacidade_Cen8PBL	27 - Residuos_Eletricidade_ETEInd	36 - TranspCarga_EletrificacaoCargasUrbano	

Curva de Custo Marginal de Abatimento - 2045

DADZero - Emissões Evitadas x Preço do Carbono (2045) | Preço-limite = 127 US\$/tCO2e



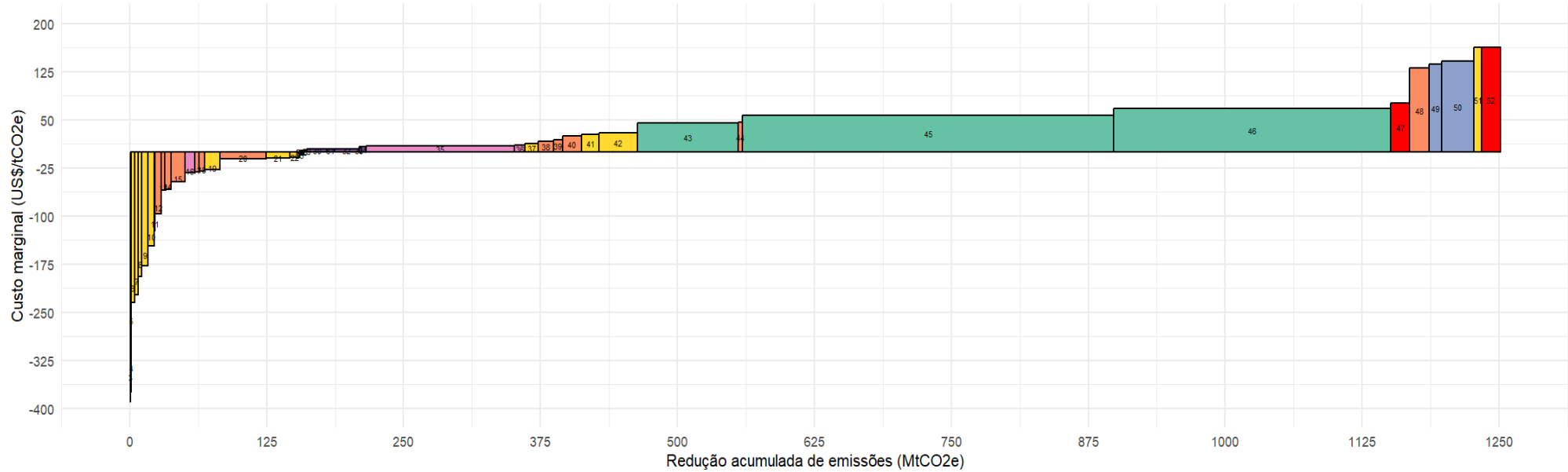
Grupos de Medidas



1 - Ind_Industria_EficEnergetica	11 - Ind_Cimento_EficEnergetica	21 - TranspCarga_ExplnfraAltaCapacidade_Cen8PBL	31 - TranspPassageiros_OnibusUrb_Eletrific_Qualific	41 - Ind_FerroAco_DR-GN
2 - Ind_FerroAco_EficEnergetica	12 - TranspCarga_EficOperacoesLogisticas	22 - Agricultura_SistPlantioDireto	32 - TranspCarga_EletrificacaoCargasUrbano	42 - FlorestaPlantada_FlorestaPlantada
3 - Ind_NaoFerrosos_EficEnergetica	13 - TranspPassageiros_ExpansTranspAtivoUrbano	23 - Residuos_FlareEficiente_ETEDom	33 - Residuos_BiometanoAterro	43 - RestauoNativas_Publicas
4 - Ind_PapelCelulose_EficEnergetica	14 - Agricultura_FixBioNitrogenio	24 - Residuos_FlareEficiente	34 - Pecuaria_IntensificacaoPecBovina	44 - RestauoNativas_Privadas
5 - Ind_AlimBebidas_UsoCombRenovaveis	15 - TranspPassageiros_EletrificacaoVeicLeves_Metrop	25 - Residuos_FlareEficiente_ETEInd	35 - Agricultura_ManejoDejAnimais	45 - TranspCarga_Eletrific_Hibrid_Caminhoes_Regional
6 - Ind_AlimBebidas_EficEnergetica	16 - Ind_Cimento_AdicCinquer	26 - Residuos_Eletricidade_ETEInd	36 - Ind_FerroAco_UsoCaviaoVegetal	46 - SetorEnergetico_Descarbonizacao_OeG
7 - Ind_PapelCelulose_UsoCombRenovaveis	17 - Ind_NaoFerrosos_UsoCombRenovaveis	27 - Residuos_EletricAterro	37 - TranspCarga_ExpansaoBiodieselRodFerroAquat	
8 - Ind_Industria_UsoCombRenovaveis	18 - TranspPassageiros_Eletrific_TranspPubUrbano_Metrop	28 - Residuos_Eletricidade_ETEDom	38 - TranspPassageiros_EletrificacaoVeicLeves	
9 - Ind_Quimica_UsoCombRenovaveis	19 - TranspPassageiros_ExpansEtanolAnidroHidratado	29 - TranspCarga_ExpansaoBiometanoVeicPesados	39 - TranspCarga_ExplnfraAltaCapacidade_Cen6PBL	
10 - Ind_Quimica_EficEnergetica	20 - Ind_Cimento_UsoResiduosEnerg	30 - Ind_FerroAco_EAF	40 - Ind_Industria_SubstHFCs	

Curva de Custo Marginal de Abatimento - 2050

DADZero - Emissões Evitadas x Preço do Carbono (2050) | Preço-limite = 163 US\$/tCO₂e



Grupos de Medidas



1 - Ind_Industria_EficEnergetica	12 - TranspPassageiros_EletrificacaoVeicLeves_Metrop	23 - Agricultura_SistPlantioDireto	34 - Residuos_BiometanoAterro	45 - RestauoNativas_Publicas
2 - Ind_FerroAco_EficEnergetica	13 - TranspPassageiros_EletrificacaoVeicLeves_Metrop	24 - Ind_Cimento_CCS	35 - Pecuaria_IntensificacaoPecBovina	46 - RestauoNativas_Privadas
3 - Ind_PapelCelulose_EficEnergetica	14 - TranspPassageiros_EletrificacaoVeicLeves	25 - Residuos_FlareEficiente	36 - Agricultura_ManejoDejAnimais	47 - SetorEnergetico_CCS_FermentEtanol
4 - Ind_NaoFerrosos_EficEnergetica	15 - TranspCarga_EficOperacoesLogisticas	26 - Residuos_FlareEficiente_ETEDom	37 - Ind_FerroAco_UsoCarvaoVegetal	48 - TranspPassageiros_IntrodDieselVerdeRodov/Ferrov
5 - Ind_AlmBebidas_EficEnergetica	16 - Agricultura_FixBiolNitrogenio	27 - Residuos_FlareEficiente_ETEInd	38 - TranspCarga_ExpansaoBiodieselRodFerro/Aquat	49 - Eletricidade_CCS_TermoGN
6 - Ind_AlmBebidas_UsoCombRenovaveis	17 - TranspPassageiros_ExpansTranspAtivoUrbano	28 - TranspCarga_EletrificacaoCargasUrbano	39 - TranspCarga_Eletrific_Hibrid_Caminhoes_Regional	50 - Eletricidade_CCS_CaldeirasBagaco
7 - Ind_PapelCelulose_UsoCombRenovaveis	18 - TranspPassageiros_OnibusUrb_Eletrific_Qualific	29 - TranspCarga_ExpansaoBiometanoVeicPesados	40 - TranspCarga_ExplnfraAltaCapacidade_Cen6PBL	51 - Ind_Quimica_QuimicaVerde
8 - Ind_Cimento_EficEnergetica	19 - Ind_Cimento_AdicClinker	30 - Residuos_Eletricidade_ETEDom	41 - Ind_Industria_SubstHFCs	52 - SetorEnergetico_Descarbonizacao_OeG
9 - Ind_Industria_UsoCombRenovaveis	20 - TranspPassageiros_ExpansEtanolAnidroHidratado	31 - Residuos_Eletricidade_ETEInd	42 - Ind_FerroAco_DR-GN	
10 - Ind_Quimica_UsoCombRenovaveis	21 - Ind_Cimento_UsoResiduosEnerg	32 - Residuos_EletricAterro	43 - FlorestaPlantada_FlorestaPlantada	
11 - Ind_Quimica_EficEnergetica	22 - Ind_NaoFerrosos_UsoCombRenovaveis	33 - Ind_FerroAco_EAF	44 - TranspCarga_ExplnfraAltaCapacidade_Cen8PBL	

Observa-se a existência de oportunidades de mitigação com custos negativos na indústria em todos os períodos analisados. Essas oportunidades concentram-se, sobretudo, em medidas de eficiência energética e na substituição de combustíveis fósseis por combustíveis renováveis. Há também espaço para ganhos de eficiência nas operações logísticas no setor de transportes, com custos negativos projetados até 2050. No setor agropecuário, identificam-se medidas de custo negativo, como a fixação biológica de nitrogênio e a adoção de sistemas de plantio direto.

A adoção das demais medidas reflete o esforço necessário para reduzir as emissões, e o preço implícito do carbono torna muitas delas custo-efetivas. Nesse contexto, as oportunidades de mitigação relacionadas à mudança do uso da terra são significativas. Ações como o restauro de vegetação nativa em áreas públicas e privadas e o plantio de florestas comerciais são essenciais para remover gases de efeito estufa da atmosfera e viabilizar o cumprimento dos compromissos climáticos do Brasil. O custo marginal de abatimento dessas ações varia de 31 USD/t em 2030 a 46 USD/t em 2035, atingindo cerca de 67 USD/t em 2050.

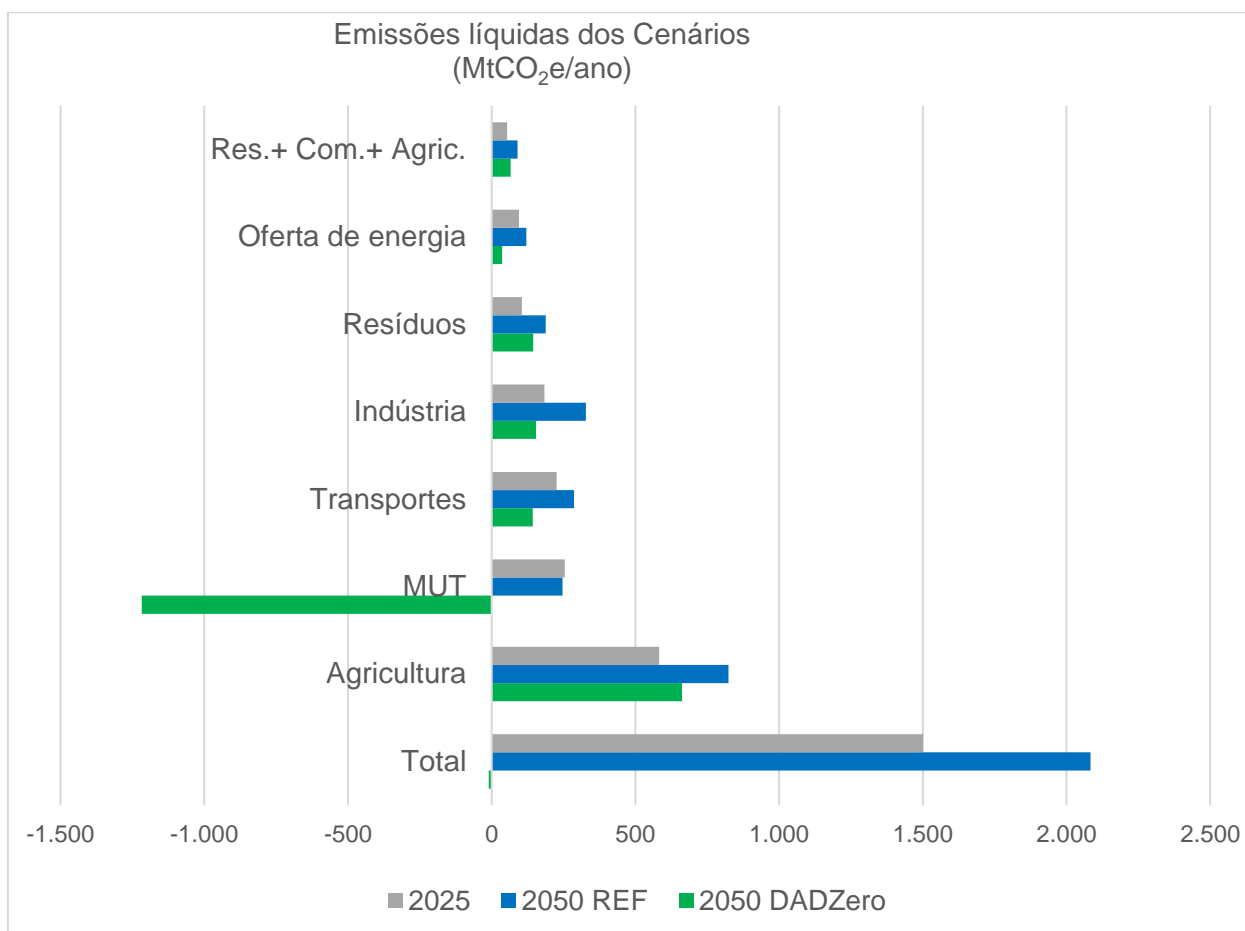
Atender ao requisito de zerar as emissões líquidas em 2050 exige a adoção de medidas de maior intensidade tecnológica e de patamares mais elevados de custo marginal de abatimento. A partir de 2045, o setor de exploração, produção e refino de petróleo acelera sua descarbonização, com custo marginal estimado em 127 USD/t. Em 2050, tecnologias como a captura e o armazenamento de carbono em termelétricas a biomassa (BCCS) ou a gás natural (CCS) e no setor de cimento (CCUS), biocombustíveis avançados e a química verde passam a ganhar relevância para a concretização de uma economia brasileira com emissões líquidas zeradas.

Resultados (Trajetórias de Emissões Setoriais de GEE nos dois Cenários)

Em 2025, de um total de emissões líquidas estimado em 1,5 Gt CO₂e, a Agricultura (incluindo a Pecuária) é o principal setor emissor, respondendo por 39% das emissões, seguida por Mudança de Uso da Terra (17%) e Transportes (15%). Em 2050, no Cenário de Referência, no qual as emissões líquidas totais alcançam 2,1 Gt CO₂e, a Agricultura permanece como principal fonte (40%), mas a Indústria passa a ocupar a segunda posição (16%), superando Transportes (14%) e Mudança de Uso da Terra e Florestas - MUT (12%).

No cenário de descarbonização (DADZero), as emissões líquidas totais são zeradas, pois o setor de Mudança de Uso da Terra atua como um sumidouro líquido de carbono,

compensando as emissões remanescentes dos demais setores. Considerando apenas os setores com emissões positivas, que somam 1,2 Gt CO₂e, a Agricultura permanece como principal fonte de emissões (apesar de suas remoções), respondendo por 55% desse total, seguida pela Indústria (13%) e pelos setores de Transportes e Resíduos, com 12% cada.



Mudanças no Uso da Terra (MUT)

No cenário de descarbonização, as emissões do setor caem de 2025 a 2050, alcançando o desmatamento zero em 2050 e há grande expansão dos sumidouros de carbono florestais, com o aumento das áreas das Unidades de Conservação e Terras Indígenas, o restauro de florestas nativas e privadas e o aumento das áreas de florestas homogêneas. A queda do desmatamento é associada ao fortalecimento de políticas públicas de controle e monitoramento, como o PPCDAm e planos equivalentes em outros biomas. As emissões brutas

do desmatamento são zeradas em 2030 no caso da Mata Atlântica, em 2040 na Amazônia e em 2050 no Cerrado e demais biomas, conforme ilustrado na tabela abaixo.

As emissões brutas de MUT diminuem de 664 MtCO₂e em 2025 para zero em 2050. Ao mesmo tempo, as remoções anuais de carbono aumentam de 410 MtCO₂e para cerca de 1.228 MtCO₂e, impulsionadas por iniciativas de restauração florestal e políticas setoriais como o PLANAPEG, o Plano ABC+, as concessões florestais, o aumento das áreas protegidas e a demanda por biomassa para fins energéticos. Como resultado, o setor torna-se gradualmente um importante sumidouro líquido de carbono, compensando emissões residuais da economia.

**Área Desmatada, Emissões Brutas, Remoções e Emissões Líquidas de MUT –
Cenários REF e DADZero, 2020-2050 por bioma**

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Cenário REF							
Área Desmatada (mil hectares)							
Amazônia	1.085	580	616	616	616	616	616
Cerrado	791	724	770	770	770	770	770
Mata Atlântica	13	12	12	12	12	12	12
Demais biomas	379	430	458	458	458	458	458
Total	2.268	1.745	1.856	1.856	1.856	1.856	1.856
Mudança de Uso da Terra (MtCO₂e)							
Emissões Brutas	1039	664	707	707	707	707	707
Remoções	-373	-410	-420	-420	-437	-444	-461
Emissões Líquidas	665	254	288	288	271	263	246
Cenário DADZero							
Área Desmatada (mil hectares)							
Amazônia	1085	580	435	217	-	-	-
Cerrado	791	724	564	282	169	51	-
Mata Atlântica	13	12	-	-	-	-	-
Demais biomas	379	430	387	271	163	65	-
Total	2.268	1.745	1.386	770	332	116	-
Mudança de Uso da Terra (MtCO₂e)							
Emissões Brutas	1.039	664	508	265	55	19	0
Remoções	-373	-410	-547	-699	-872	-1.104	-1.228
Emissões Líquidas	665	254	-38	-434	-817	-1.085	-1.228

Agricultura

No cenário de descarbonização, as emissões brutas da agricultura continuam crescentes ao longo do período, passando de 662 MtCO₂e em 2025 para 738 MtCO₂e em 2050. No entanto, esse nível em 2050 é 14% inferior ao do cenário de referência, devido à maior adoção de tecnologias de baixa emissão previstas no Plano ABC+, como a recuperação de pastagens degradadas, a integração lavoura-pecuária-floresta, o plantio direto, a fixação biológica de nitrogênio, o tratamento de dejetos animais e o aumento da eficiência da pecuária bovina, inclusive com redução da idade de abate. Essas práticas contribuem simultaneamente para reduzir emissões e aumentar o estoque de carbono no solo. As remoções associadas a essas práticas atingem seu pico em 2035 e se estabilizam em torno de 74 MtCO₂e a partir de 2040, refletindo a saturação gradual do carbono no solo após o alcance das metas do Plano ABC+. Ainda assim, as emissões líquidas do setor crescem cerca de 14% entre 2025 e 2050, indicando a necessidade de ampliar a adoção de tecnologias de baixa emissão e de intensificar de forma sustentável a pecuária.

Indústria

No cenário de descarbonização, a mitigação das emissões do setor industrial resulta da combinação de maiores ganhos de eficiência energética, maior participação de energias renováveis e mudanças tecnológicas nos principais segmentos industriais, comparativamente ao cenário de referência. As medidas incluem melhorias de eficiência em processos produtivos (como otimização de fornos, recuperação de calor e controle avançado), maior uso de biomassa e eletricidade, substituição de HFCs por fluidos de baixo GWP e introdução de tecnologias específicas por segmento. Nos minerais não metálicos destacam-se a redução do teor de clínquer no cimento, o uso de combustíveis alternativos e a introdução gradual de CCUS. Na siderurgia, avançam a produção de aço via carvão vegetal, ganhos de eficiência e maior participação de rotas de redução direta. Na indústria química ampliam-se as rotas de química verde, enquanto nos segmentos de papel e celulose e outras indústrias predominam ganhos adicionais de eficiência e aumento da participação de energias renováveis.

Essas transformações reduzem a intensidade energética industrial para 29,7 ktep/PIB em 2050 — abaixo do nível observado em 2015 — e fazem com que o consumo total de energia da indústria seja 16% menor que no cenário REF. A principal mudança, contudo, ocorre na

composição da matriz energética: no REF, a biomassa se mantém em 42% e a eletricidade cresce para atingir 27% do consumo energético em 2050; no DADZero, a eletricidade atinge os mesmos 27%, mas a participação da biomassa aumenta para 54% em 2050, reduzindo significativamente a intensidade de carbono da energia consumida. Como resultado, as emissões industriais no cenário DADZero atingem 154 MtCO₂e em 2050, 53% inferiores às do cenário REF (328 MtCO₂e). A mitigação no setor industrial decorre, portanto, sobretudo da descarbonização da matriz energética e da adoção de tecnologias de baixo carbono, mais do que da redução da demanda de energia da indústria.

Transportes

No cenário de descarbonização, o setor passa por uma transformação estrutural mais profunda do que no cenário de referência, combinando redução da intensidade energética, diversificação de fontes e mudanças na divisão modal. As principais medidas incluem maior uso de etanol hidratado na frota flex, aumento da mistura regulamentada de biocombustíveis (etanol anidro, biodiesel e HVO), eletrificação acelerada da frota — especialmente no transporte urbano de cargas e coletivo — e maior penetração de HEV e BEV no transporte individual, além da otimização da logística de cargas. Em ambos os cenários também avançam políticas e programas como Mover, PBEV, PLVB e Despoluir, bem como investimentos em infraestrutura de transporte coletivo e ferroviário (PAC/Avançar), redução da necessidade de viagens (home office, IoT) e melhorias gerais de eficiência do sistema. Como resultado, em 2050 o consumo total de energia no setor no cenário DADZero é 25% menor que no cenário de referência e as emissões atingem 143 MtCO₂e, 37% abaixo de 2025. A matriz energética torna-se progressivamente menos intensiva em carbono: a participação do diesel mineral cai de 42% no cenário REF para cerca de 30% no DADZero, enquanto crescem a eletricidade e os biocombustíveis avançados. A descarbonização avança mais rapidamente nos transportes urbanos, ao passo que o transporte inter-regional permanece mais dependente de combustíveis líquidos, ainda que progressivamente menos intensivos em carbono.

Resíduos

A universalização dos serviços de saneamento e gestão de resíduos tende a elevar as emissões do setor ao longo do tempo. Em ambos os cenários analisados, os níveis de cobertura de serviços de saneamento são fortemente elevados (e levados ao mesmo nível de

universalização) em relação à situação atual, incluindo a coleta e destinação adequada, variando entre eles apenas o grau de mitigação adotado. O cenário de referência (REF) considera as medidas atualmente implementadas, incluindo a queima do metano em flares de baixa eficiência (20%), além de aproveitamento energético ainda limitado por meio da geração de eletricidade a partir de biogás e da produção de biometano.

No cenário de descarbonização (DADZero), essas mesmas medidas são ampliadas com maior destruição de metano por meio de *flares* de alta eficiência (80%), além da expansão da geração elétrica a partir de biogás e da produção de biometano. Ainda assim, as emissões do setor crescem 38% entre 2025 e 2050 em função da expansão das atividades sanitárias, que não é acompanhada no mesmo ritmo pela mitigação. Apesar desse crescimento, em 2050 as emissões no cenário DADZero são 23% menores do que no REF.

O atraso na implementação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos e do Plano Nacional de Saneamento Básico, apesar do Novo Marco Legal do Saneamento, também contribui para retardar a universalização dos serviços. Assim, o setor enfrenta um duplo desafio: ampliar o acesso aos serviços de gestão de resíduos e saneamento e, ao mesmo tempo, intensificar as políticas de mitigação, especialmente aquelas voltadas à captura e destruição do metano.

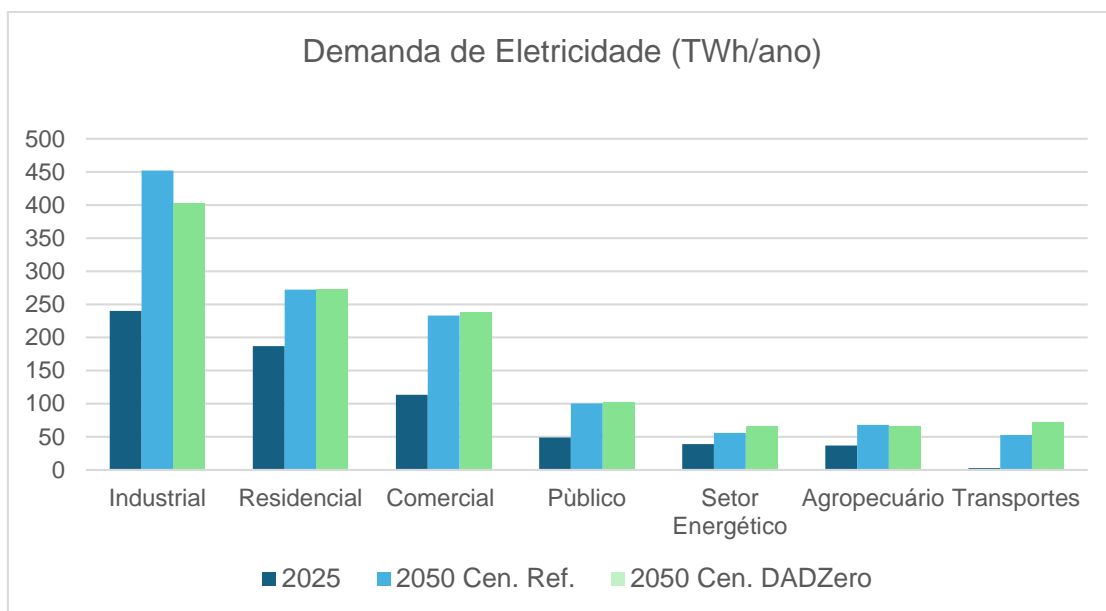
Energia

Demanda de eletricidade por setor: A demanda total de eletricidade cresce de forma significativa ao longo do período em ambos os cenários, refletindo a eletrificação crescente dos usos finais da energia e mudanças na estrutura produtiva da economia. Em 2050, a demanda total atinge 1.234 TWh no cenário de Referência e 1.217 TWh no cenário DADZero, que incorpora ações de eficiência energética, com níveis muito próximos entre os cenários.

No cenário de descarbonização, a demanda de eletricidade do setor energético é maior devido à eletrificação das plataformas de petróleo e das refinarias, que substituem a geração local a partir de combustíveis fósseis pela eletricidade proveniente do sistema elétrico. O setor de transportes apresenta a maior taxa do crescimento da demanda elétrica, impulsionado pela eletrificação da frota.

Em contraste, a demanda elétrica do setor industrial é menor no cenário DADZero do que no cenário de referência, resultado de um menor consumo energético na indústria. No setor residencial, não foram aplicadas medidas de mitigação no cenário DADZero, portanto o consumo de energia elétrica é igual ao do Cenário REF. Da mesma forma, nos setores comercial,

público e agropecuário, as diferenças refletem apenas a evolução da atividade econômica em cada cenário.



Oferta de eletricidade: A expansão da geração elétrica acompanha o crescimento da demanda em ambos os cenários. A geração total aumenta de 785 TWh em 2025 para cerca de 1.219 TWh em 2050 no cenário de Referência e 1.202 TWh no cenário DADZero.

A matriz elétrica permanece majoritariamente renovável ao longo do período. A geração hidrelétrica continua sendo a principal fonte do sistema, com crescimento limitado, baseado principalmente na repotenciação de usinas existentes e na expansão de pequenas centrais hidrelétricas.

A expansão da oferta ocorre sobretudo por fontes eólica e solar, que apresentam as maiores taxas de crescimento. No cenário DADZero, essas fontes assumem papel ainda mais relevante na expansão da geração elétrica e a biomassa mantém participação importante na matriz. A geração nuclear é ampliada em ambos os cenários com a entrada em operação de Angra III.

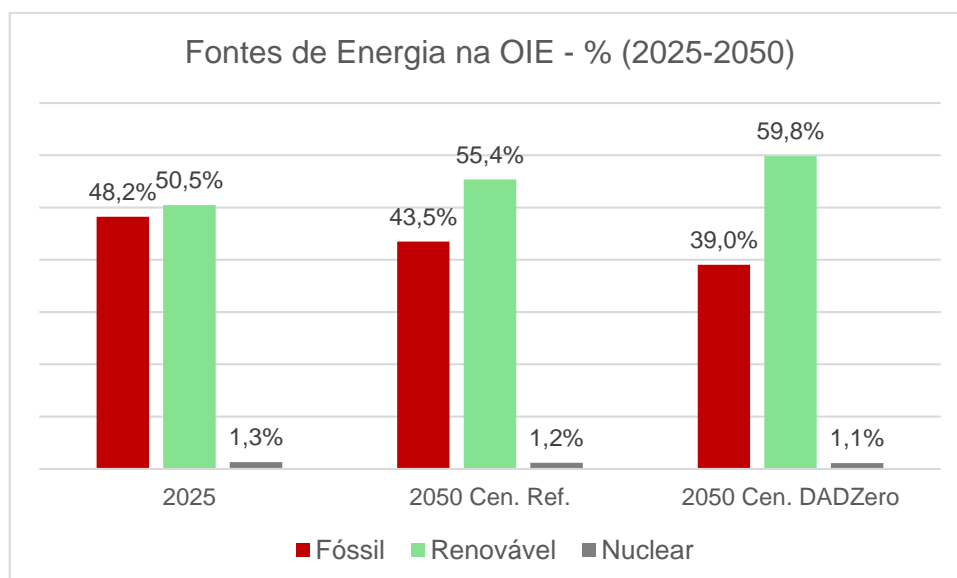
As termelétricas a gás natural seguem exercendo papel de flexibilidade e estabilidade do sistema, embora com menor relevância no cenário DADZero diante da maior participação das fontes renováveis. Já a geração a carvão é mantida no Cenário REF, mas seu descomissionamento ocorre após 2040 no cenário DADZero.

Oferta interna de energia: A oferta interna total de energia cresce ao longo do período em ambos os cenários, acompanhando o aumento da atividade econômica e da demanda energética no país.

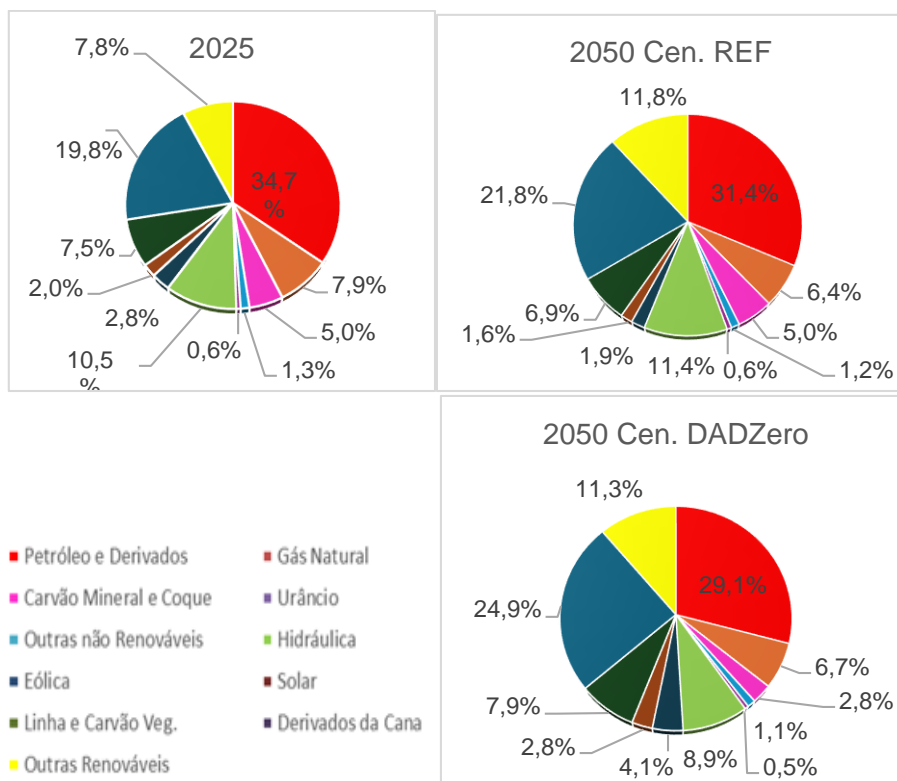
No cenário de Referência, o crescimento da oferta interna de energia permanece mais associado à continuidade do uso de combustíveis fósseis, com participação ainda relevante dos derivados de petróleo, principalmente no setor de transportes e em parte da indústria. O gás natural também mantém papel importante na matriz energética.

No cenário DADZero, a expansão da oferta interna de energia ocorre com maior participação de fontes renováveis e eletricidade. A participação dos derivados de petróleo diminui gradualmente, em função da eletrificação do transporte e da substituição por biocombustíveis. A biomassa amplia sua presença na matriz energética, especialmente associada ao crescimento dos biocombustíveis no setor de transportes e ao uso de resíduos no setor industrial.

Como resultado, observa-se uma transição gradual da matriz energética brasileira, com maior participação de eletricidade e fontes renováveis no cenário DADZero, enquanto o cenário de Referência mantém maior dependência relativa de combustíveis fósseis ao longo do horizonte de análise.

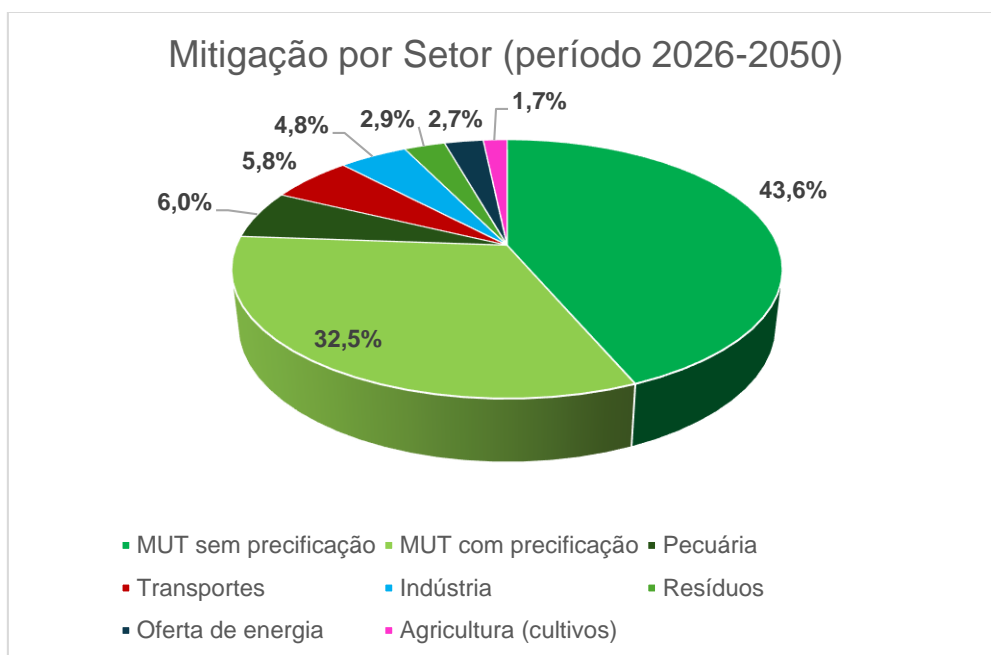


Participação das Fontes na OIE – (%/ano)



Participação dos Setores na Mitigação

Comparando-se o Cenário DADZero com o Cenário de Referência, a mitigação total no período de 2026 a 2050 (estimada em 29,4 bilhões de toneladas de CO₂e) é fortemente concentrada no setor de Mudança de Uso da Terra (MUT), que responde pela maior parte do esforço, somando 76,1% quando se consideram conjuntamente as medidas de redução de desmatamento e aumento de UCs e TI (sem precificação, 43,6%) e com precificação de carbono (32,5%). Em um nível intermediário de contribuição, destacam-se a pecuária (6,0%), os transportes (5,8%) e a indústria (4,8%), cujas participações são relativamente próximas. Já os setores de resíduos (2,9%), oferta de energia (2,7%) e cultivos agrícolas (1,7%) apresentam participações menores no total mitigado, refletindo saturação, limitações técnicas e/ou econômicas.



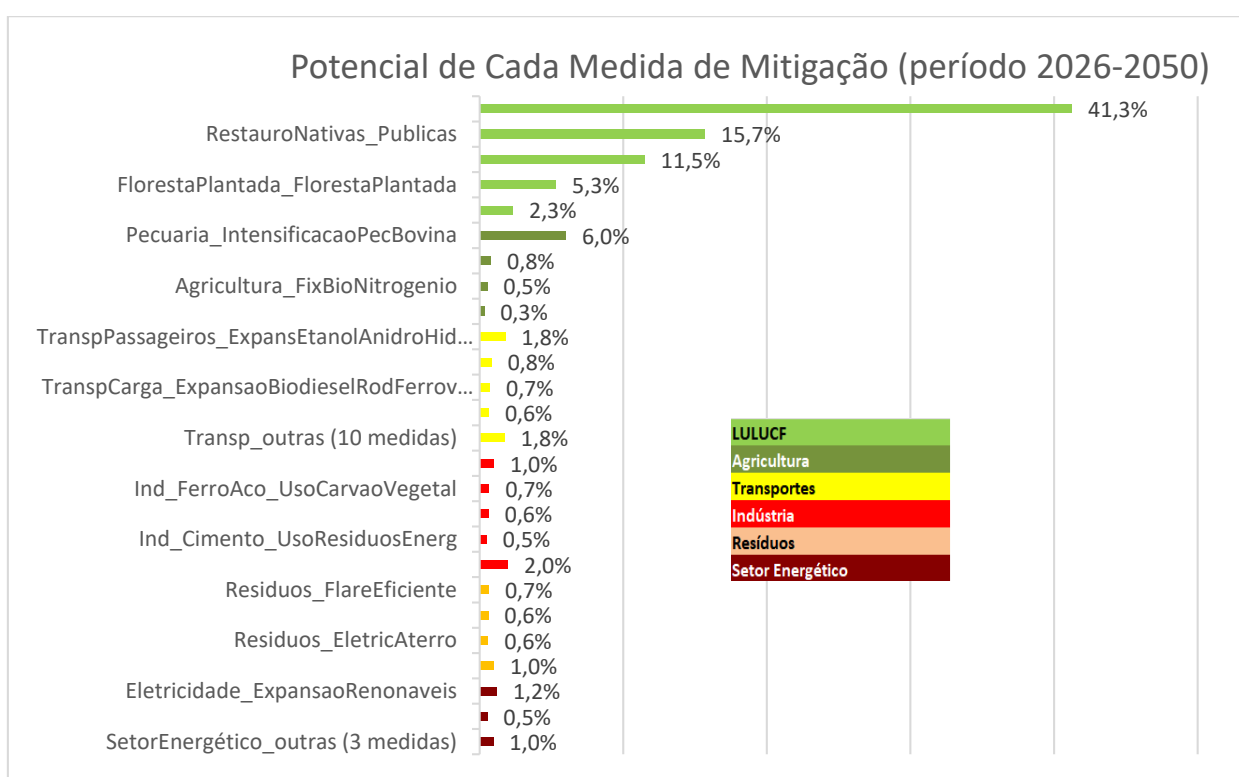
Nota: MUT sem precificação se refere à redução do desmatamento e aumento de unidades de conservação e terras indígenas.

Participação das Medidas de Mitigação

A desagregação do potencial de mitigação por medida no período de 2026 a 2050 demonstra a forte concentração dos esforços em ações relacionadas ao uso da terra. A redução do desmatamento (não precificada) se destaca amplamente como a principal medida individual, respondendo por 41,3% da mitigação total, seguida pelas iniciativas de restauração de vegetação nativa em áreas públicas (15,7%) e privadas (11,5%). Ainda no âmbito de LULUCF, medidas como florestas plantadas (5,3%) e ampliação de áreas protegidas (2,3%), esta última também não precificada, apresentam contribuições relevantes.

Entre as demais categorias, a intensificação da pecuária bovina (6,0%) se sobressai como a principal medida. No setor de transportes, as reduções são mais pulverizadas, com destaque para a expansão do etanol anidro e hidratado em veículos de passageiros (1,8%), expansão da infraestrutura de alta capacidade (0,8%), aumento da participação de biodiesel (0,7%) e investimentos em eficiência de operações logísticas (0,6%) no transporte de carga. Em conjunto, outras dez medidas no setor de transportes alcançam 1,8%. Na indústria, as contribuições são relativamente modestas e distribuídas entre diversas medidas, como mudanças tecnológicas na siderurgia (redução direta com gás natural e uso de carvão vegetal que juntos mitigam 1,7%) e no cimento (adições ao clínquer e uso de resíduos em fornos que alcançam 1,1%), além de um conjunto de 16 medidas adicionais que somam 2,0%.

Nos setores de resíduos e energia, o potencial de mitigação também se apresenta distribuído entre várias iniciativas de menor escala, como aumento da eficiência na queima de biogás, e aproveitamento energético com a geração de eletricidade. Já na agricultura (cultivos), medidas como plantio direto, fixação biológica de nitrogênio e manejo de dejetos animais têm participação limitada individualmente. Em conjunto, o gráfico evidencia que, embora exista um portfólio diversificado de ações, a maior parte do potencial de mitigação está concentrada em poucas medidas, especialmente aquelas associadas à redução do desmatamento e à restauração de ecossistemas, como anteriormente mencionado.



Nota: O uso de biogás como fonte energética está contabilizado em resíduos. Em “outras”, medidas com potencial individual menor que 1%.

Custos e Emissões Evitadas¹ por Período

A análise da evolução setorial ao longo dos períodos (cinco quinquênios) indica uma ampliação progressiva do esforço de mitigação ao longo do tempo, refletindo a maturação e a

¹ Nesta seção, os valores foram convertidos a uma taxa de câmbio média em 2025 de 5,6 R\$/US\$

expansão das diferentes medidas implementadas. Em termos de magnitude, o setor de AFOLU se destaca de forma clara, concentrando a maior parte das emissões evitadas em todos os quinquênios. Além disso, observa-se crescimento expressivo da contribuição dos setores de transporte e indústria para os esforços de mitigação, sobretudo a partir do terceiro quinquênio, enquanto a oferta de energia passa a contribuir de forma mais significativa a partir do quarto quinquênio. O setor de resíduos amplia gradualmente sua participação ao longo de todo o horizonte analisado.

Emissões evitadas acumuladas (MtCO₂eq)	2026 – 2030	2031 – 2035	2036 – 2040	2041 – 2045	2046 – 2050
Ações de Mitigação (total)	1.501	3.809	6.130	8.097	9.879
Política de Precificação de Carbono (subtotal)	813	2.071	3.221	4.516	5.947
AFOLU	624	1.579	2.383	3.266	3.968
Restauro de floresta nativa em áreas públicas (concessão governamental)	168	506	924	1.376	1.640
Restauro de floresta nativa em áreas privadas	133	413	680	962	1.193
Floresta plantada (homogênea e iLPF)	146	311	338	353	420
Agricultura (fixação biológica de nitrogênio e sistema de plantio direto)	86	144	81	41	43
Pecuária (recuperação de pastagem degradada, intensificação, outros)	90	205	361	535	673
Transporte (carga e passageiro)	19	164	352	493	668
Mudança de modal e outras medidas	17	70	125	160	174
Eletro-mobilidade	0	10	47	105	151
Biocombustíveis	2	84	180	228	343
Indústria	41	120	244	399	604
Indústria intensiva em energia	39	117	215	339	489
Indústria leve (resto da indústria)	1	3	29	60	116
Oferta de Energia	32	82	82	158	446
Geração de eletricidade	32	82	82	81	275
Consumo do setor energético e emissões fugitivas	0	0	0	78	171
Resíduos	98	126	160	200	260
Resíduos sólidos urbanos	0	13	40	76	124
Efluentes Líquidos	98	112	120	124	136
Outras Políticas de Mitigação (subtotal)	688	1.738	2.909	3.580	3.932
AFOLU (redução do desmatamento, UC, territórios indígenas, outros)	688	1.738	2.909	3.580	3.932

Faixas de Custos e Emissões Evitadas Acumuladas

A análise das faixas de custo evidencia que uma parcela relevante do potencial de mitigação precificada está associada a medidas de custo negativo ou muito baixo, especialmente no período inicial. Entre 2026 e 2030, cerca de 17% do abatimento pode ser alcançado a custos iguais ou inferiores a zero, percentual que chega a 42% quando consideradas medidas com custos de até US\$5/tCO₂e, indicando a presença de oportunidades com benefício econômico líquido.

Ao longo do tempo, observa-se redução da participação dessas medidas de baixo custo, refletindo o esgotamento progressivo das opções mais custo-efetivas. Ainda assim, a meta inferior da NDC brasileira para 2035 pode ser alcançada a um custo de até US\$46,1/tCO₂e. Mesmo nos períodos finais, permanece uma fração relevante de mitigação a custos reduzidos, enquanto o aumento do volume total de emissões evitadas passa a depender crescentemente de medidas com custos mais elevados. Nesse contexto, a meta de emissões líquidas zero é atingida apenas a um custo de US\$162,5/tCO₂e.

Preço do carbono definido em cada quinquênio (US\$/tCO₂e) e (R\$/tCO₂e)

Período	2026–2030	2031–2035	2036–2040	2041–2045	2046–2050
Preço	20,6 (115,4)	46,1 (258,2)	93,5 (523,6)	127,2 (712,3)	162,5 (910,0)

Abatimento acumulado para diferentes níveis de preço de carbono (% de GtCO₂e evitado no período)

Faixas de preço de CO ₂ (US\$/tCO ₂ e)	26–30	31–35	36–40	41–45	46–50
≤ 0	17%	17%	13%	12%	12%
≤ 5	42%	25%	17%	16%	16%
≤ 10	42%	35%	30%	29%	28%
≤ 15	61%	37%	33%	29%	29%
≤ 20,6	100%	53%	33%	32%	31%
≤ 30	–	54%	46%	37%	36%
≤ 46,1	–	100%	47%	45%	44%
≤ 70	–	–	98%	98%	92%
≤ 93,5	–	–	100%	98%	94%
≤ 105	–	–	–	98%	94%
≤ 127,2	–	–	–	100%	94%
≤ 162,5	–	–	–	–	100%

Análise de Sensibilidade do Preço do Carbono

A análise de sensibilidade evidencia que o nível de preço do carbono é particularmente relevante para o alcance das metas mais ambiciosas de mitigação no longo prazo. Testados preços mais baixos, observa-se uma redução do esforço de mitigação a partir de 2040, com impacto crescente nos períodos subsequentes. Em 2040, a diferença é relativamente limitada (13 MtCO₂e), ampliando-se em 2045 (17 MtCO₂e) e alcançando 100 MtCO₂e em 2050.

O resultado da análise mostra que grande parte do esforço de mitigação permanece viável mesmo sob um preço de carbono significativamente inferior ao do cenário DADZero. Em 2050, enquanto o preço de US\$162,5/tCO₂e permite que se alcancem emissões líquidas zero, US\$67/tCO₂e já seria suficiente para eliminar aproximadamente 95% das emissões do Cenário de Referência, restando cerca de 100 MtCO₂e.

Isso indica que preços de carbono mais moderados ainda são capazes de induzir reduções muito expressivas de emissões, mas se tornam insuficientes para viabilizar a parcela final e mais custosa da descarbonização. Cabe destacar que, nesse estágio, o potencial de mitigação associado à redução do desmatamento já se encontra esgotado, não sendo possível ampliar a contribuição desta fonte de emissão.

Análise de sensibilidade das emissões à variação do preço de carbono	2030	2035	2040	2045	2050
Emissões anuais no Cen. REF (MtCO₂e)	1.650	1.769	1.884	2.000	2.081
Preço do carbono no Cenário DADZero (USD/tCO₂e)	21	46	94	127	163
Emissões anuais no Cen. DADZero (MtCO₂e)	1218	815	471	220	0
Preço do carbono reduzido - teste de sensibilidade (USD/tCO₂e)	21	46	63	65	67
Redução do esforço de mitigação com preço de carbono menor (MtCO₂e)			13	17	100
Emissões anuais no Cen. DADZero com preço do carbono reduzido (MtCO₂e)	1218	815	484	237	100

Recomendações Setoriais

MUT + Remoções

Os investimentos em projetos de mitigação de emissões no setor de **LULUCF** enfrentam desafios estruturais, econômicos e institucionais, entre eles os altos custos de implementação e manutenção de projetos como restauração florestal e reflorestamentos comerciais, ambos em larga escala, e fortalecimento da governança territorial para controle do desmatamento. Além disso, os benefícios econômicos desses projetos estão associados a horizontes de planejamento de longo prazo e retornos financeiros incertos (devido aos riscos técnicos e operacionais), o que tende a reduzir sua atratividade para investidores privados. Também são relevantes as limitações institucionais e de coordenação entre políticas públicas, bem como desafios relacionados à regularização fundiária, ao monitoramento do uso da terra e à capacidade de fiscalização ambiental. Soma-se a isso a competição econômica pelo uso da terra, especialmente com atividades agropecuárias de maior rentabilidade no curto prazo, o que pode restringir a adoção de iniciativas voltadas à conservação e restauração florestal. A superação dessas barreiras depende do fortalecimento de políticas públicas de ordenamento territorial e controle do desmatamento, da ampliação de instrumentos econômicos como Mercado de Créditos de Carbono, Pagamento por Serviços Ambientais e Concessões Florestais, além da disponibilização de linhas de crédito direcionadas e fundos de investimento voltados à restauração e ao uso sustentável da terra, capazes de reduzir riscos e ampliar a atratividade econômica desses projetos.

Agropecuária + Remoções

Os investimentos em projetos de mitigação de emissões no setor de agricultura também enfrentam desafios relevantes de natureza econômica, tecnológica e institucional. Entre os principais obstáculos destacam-se os custos iniciais associados à adoção de práticas produtivas de baixo carbono, como a recuperação de pastagens degradadas, manejo eficiente do uso do solo e aumento da produtividade da pecuária bovina. Além disso, muitos produtores enfrentam restrições de acesso a crédito, assistência técnica e informação, o que dificulta a adoção e a difusão dessas tecnologias, especialmente entre pequenos e médios produtores. A percepção de risco produtivo e econômico, associada à transição para novos sistemas de manejo, também pode reduzir os incentivos à adoção de práticas de mitigação. A superação dessas barreiras depende do fortalecimento de políticas públicas e instrumentos de incentivo, como linhas de

financiamento direcionadas à agricultura de baixa emissão de carbono (como o Plano ABC+, Plano Safra), programas de assistência técnica e extensão rural, incentivos econômicos à adoção de práticas sustentáveis e mecanismos de financiamento climático capazes de reduzir riscos e ampliar a escala de implementação dessas tecnologias.

Indústria

No setor industrial, uma das principais barreiras aos investimentos em mitigação é o alto custo de tecnologias de baixo carbono, especialmente aquelas que ainda não estão plenamente consolidadas comercialmente. Exemplos incluem o uso de hidrogênio de baixo carbono, a redução direta do ferro na siderurgia e soluções de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS) na indústria. Além disso, persistem incertezas regulatórias e desafios logísticos que aumentam o risco para investidores. Superar essas barreiras exige maior clareza regulatória, instrumentos de apoio à inovação e financiamento, além de mudanças institucionais e comportamentais que favoreçam a transição.

Transportes

Os principais obstáculos aos investimentos em mitigação no setor de transportes incluem o elevado custo inicial (CAPEX), a insegurança regulatória (especialmente crítica no caso dos biocombustíveis avançados, mas presente em todo o setor) e a histórica carência de infraestrutura para modos de alta capacidade de carga (ferroviário e aquaviário). Para viabilizar a descarbonização, é fundamental estabelecer marcos legais estáveis que garantam segurança jurídica e atraiam capital privado, além de ampliar programas como o PAC para a modernização logística. A qualificação do transporte público exige novos modelos de financiamento extra tarifários (dependentes da aprovação do novo Marco Legal do Transporte Público Coletivo) e a ampliação de faixas exclusivas, enquanto o transporte ativo demanda infraestrutura urbana conectada e segura. O fomento à produção de biocombustíveis convencionais e avançados (HVO/SAF), aliado a uma rede de recarga robusta para a mobilidade elétrica, é vital para reduzir a dependência do diesel mineral e da gasolina. Políticas que promovam a integração modal e a eficiência sistêmica são pontos-chave para viabilizar a redução de 50% nas emissões e garantir a segurança energética nacional até 2050.

Resíduos

No setor de resíduos, os principais obstáculos aos investimentos envolvem os grandes aportes necessários para a universalização das atividades sanitárias no prazo determinado e, no âmbito das mudanças climáticas, a aplicação de técnicas efetivas para a destruição ou utilização do metano. Um dos maiores obstáculos é a dificuldade de financiamento de projetos de saneamento devido ao longo tempo de retorno, dificultando a participação até mesmo do BNDES, que com seus instrumentos atuais não tem conseguido viabilizá-los na escala necessária.

Energia

No setor de oferta de energia, as dificuldades e desafios associados à mitigação das emissões de GEE estão relacionados à dependência estrutural de fontes fósseis que garantem o suprimento energético nos períodos de ponta de carga e auxiliam na compensação da variabilidade das fontes renováveis intermitentes. Adicionalmente, existem restrições econômicas associadas ao capital instalado e à manutenção da estabilidade da produção baseada em fontes mais intensivas em carbono.

Além disso, aspectos legislativos e regulatórios também constituem barreiras importantes para a ampliação da participação das fontes renováveis, incluindo incertezas quanto à definição de mecanismos de remuneração para novas tecnologias e limitações relacionadas à expansão da infraestrutura de transmissão. Embora o novo Marco Regulatório do Setor Elétrico (Lei nº 15.269/2025) represente um avanço ao estabelecer parte da estrutura regulatória voltada à modernização do setor elétrico, ainda persistem lacunas quanto aos instrumentos efetivos de remuneração para serviços de flexibilidade e armazenamento no sistema elétrico.

Outro desafio relevante é o elevado custo de investimento e as dificuldades de financiamento associadas a tecnologias emergentes, como hidrogênio de baixo carbono, geração eólica offshore, captura e armazenamento de carbono (CCS) e sistemas de armazenamento em baterias, o que limita sua viabilização em larga escala, mesmo diante de mecanismos de apoio financeiro, como os disponibilizados pelo BNDES.