



Centro Clima
CENTRO DE ESTUDOS INTEGRADOS SOBRE
MEIO AMBIENTE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO-PNUD
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA

***Estudo Comparativo entre Três Cenários
de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil e
uma Análise de Custo-Benefício***

Projeto BRA/00/020 – Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e
Controle Ambiental-SQA

Contrato com a FUNDAÇÃO COPPETEC BRA10-10522/2010, assinado em 16 de
abril de 2010.

Convenentes: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD)/Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (Centro Clima) da Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Julho de 2011



www.centroclima.org.br

***Estudo Comparativo entre Três Cenários
de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil e
uma Análise de Custo-Benefício***

Coordenação Geral

Prof. Emilio Lèbre La Rovere

Coordenação Técnica

Carolina Burle S. Dubeux

Equipe Técnica

Amaro Olimpio Pereira Junior (Setor de Energia)

Anamélia Medeiros (Setor de Agropecuária)

Flávia Beatriz Carloni e Patrícia Turano (Setor de Resíduos)

Raymundo Aragão (Setor de Indústria)

Renzo Solari (Setor de Mudança do Uso do Solo e Florestas)

William Wills (Setor de Transportes)

Luís Hashimura (Socioeconomia)

Adriano Salvi Burgi

Ana Carolina Fiorini

Apoio Administrativo

Carmen Brandão

Vinicius Miasato

Diagramação/Editoração

Elza M. S. Ramos



ÍNDICE

1. APRESENTAÇÃO	7
2. INTRODUÇÃO	8
3. SETOR ELÉTRICO	12
3.1 HIPÓTESES DOS CENÁRIOS	13
3.2 RESULTADOS DOS CENÁRIOS.....	15
3.3 CUSTOS DE ABATIMENTO	17
3.4 OUTRAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O SETOR DE ENERGIA.....	19
4. TRANSPORTES.....	20
4.1 HIPÓTESES DOS CENÁRIOS	21
4.2 RESULTADOS DOS CENÁRIOS.....	22
4.3 CUSTOS DE ABATIMENTO.....	25
5. INDÚSTRIA	27
5.1 HIPÓTESES DOS CENÁRIOS	27
5.2 RESULTADOS DOS CENÁRIOS.....	29
5.3 CUSTOS DE ABATIMENTO.....	33
6. MUDANÇA DO USO DO SOLO E FLORESTA	39
6.1 HIPÓTESES DOS CENÁRIOS	41
6.2 RESULTADOS DOS CENÁRIOS.....	43
6.3 CUSTOS DE ABATIMENTO.....	46
7. RESÍDUOS.....	49
7.1 HIPÓTESES DOS CENÁRIOS	52
7.2 RESULTADOS DOS CENÁRIOS.....	54
7.3 CUSTOS DE ABATIMENTO.....	56
8. AGROPECUÁRIA	57
8.1 HIPÓTESES DOS CENÁRIOS	59
8.2 RESULTADOS DOS CENÁRIOS.....	61
8.3 CUSTOS DE ABATIMENTO.....	64
9. EMISSÕES TOTAIS NOS CENÁRIOS A, B E C	67
10. CUSTOS MARGINAIS DE ABATIMENTO NOS CENÁRIOS B E C	73
11. CONCLUSÃO	94
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

TABELA

Tabela 1	Estimativas da Evolução do PIB.....	10
Tabela 2	População (10 ³ habitantes).....	10
Tabela 3	Evolução da demanda de energia elétrica	13
Tabela 4	Expansão da capacidade de geração no Cenário B (MW)	14
Tabela 5	Expansão da capacidade de geração no Cenário C (MW)	15
Tabela 6	Emissões da geração elétrica no Cenário A, por fonte, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	15
Tabela 7	Ações de mitigação no setor elétrico, do Cenário B em relação ao A, até 2030 (Mt CO ₂ eq) ..	16
Tabela 8	Emissões da geração elétrica no Cenário B, por fonte, até 2030 (Mt CO ₂ eq).....	16
Tabela 9	Ações de mitigação no setor elétrico, do Cenário C em relação ao B, até 2030 (Mt CO ₂ eq)..	16
Tabela 10	Ações de mitigação no setor elétrico, do Cenário C em relação ao A, até 2030 (Mt CO ₂ eq) ..	17
Tabela 11	Emissões da geração elétrica no Cenário C, por fonte, até 2030 (Mt CO ₂ eq).....	17
Tabela 12	Redução total de emissões da geração elétrica e custos associados.....	18
Tabela 13	Outros Setores de Energia	19
Tabela 14	Projeção dos custos médios dos combustíveis usados no setor de transportes (US\$/barril) ..	21
Tabela 15	Emissões do setor de transportes no Cenário A, por fonte, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	22
Tabela 16	Ações de mitigação no setor de transportes, do Cenário B em relação ao A, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	23
Tabela 17	Emissões de transportes do Cenário B, por fonte, até 2030 (Mt CO ₂ eq).....	23
Tabela 18	Ações de mitigação no setor de transportes, do Cenário C em relação ao B, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	24
Tabela 19	Ações de mitigação no setor de transportes, do Cenário C em relação ao A, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	24
Tabela 20	Emissões de transportes do Cenário C, por fonte, até 2030 (Mt CO ₂ eq).....	25
Tabela 21	Redução total de emissões de transportes e custos associados.....	26
Tabela 22	Emissões do Cenário A, do setor industrial por fonte, até 2030 (Mt CO ₂ eq).....	30
Tabela 23	Ações de mitigação no setor industrial, do Cenário B em relação ao A, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	30
Tabela 24	Emissões do Cenário B, do setor industrial por fonte, até 2030 (Mt CO ₂ eq).....	31
Tabela 25	Ações de mitigação no setor industrial do Cenário C em relação ao B, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	31
Tabela 26	Ações de mitigação no setor industrial do Cenário C em relação ao A, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	32
Tabela 27	Emissões do setor industrial do Cenário C, por fonte, até 2030 (Mt CO ₂ eq).....	33
Tabela 28	Redução total de emissões da indústria e custos associados	34
Tabela 29	Emissões de mudança do uso do solo e florestas no Cenário A, por fonte, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	44
Tabela 30	Ações de mitigação de mudanças do uso do solo e florestas no Cenário B em relação ao A, até 2030(Mt CO ₂ eq)	44
Tabela 31	Emissões de mudanças do uso do solo e florestas do Cenário B, por bioma, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	44
Tabela 32	Ações de mitigação do Cenário C em relação ao B, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	45
Tabela 33	Ações de mitigação de mudanças do uso do solo e florestas do Cenário C em relação ao A, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	45
Tabela 34	Emissões de mudanças do uso do solo e florestas do Cenário C, por bioma, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	46
Tabela 35	Redução total de emissões de mudança do uso de solo e florestas e custos associados	46
Tabela 36	Emissões de resíduos do Cenário A, por fonte, até 2030 (kt CO ₂ eq)	54
Tabela 37	Aumento de emissões de resíduos do Cenário B em relação ao A, até 2030 (kt CO ₂ eq)	54
Tabela 38	Emissões de resíduos do Cenário B, por fonte, até 2030 (kt CO ₂ eq)	55
Tabela 39	Ações de mitigação de resíduos do Cenário C em relação ao B, até 2030 (kt CO ₂ eq)	55
Tabela 40	Emissões de resíduos do Cenário C, por fonte, até 2030 (kt CO ₂ eq)	56
Tabela 41	Redução total de emissões de resíduos e custos associados.....	56
Tabela 42	Emissões de agropecuária do Cenário A, por fonte, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	61



Tabela 43	Ações de mitigação de agropecuária do Cenário B em relação ao A, até 2030 (Mt CO ₂ eq)...	62
Tabela 44	Emissões de agropecuária do Cenário B, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	62
Tabela 45	Ações de mitigação de agropecuária do Cenário C em relação ao B, até 2030 (Mt CO ₂ eq) ...	63
Tabela 46	Ações de mitigação de agropecuária do Cenário C em relação ao A, até 2030 (Mt CO ₂ eq)...	63
Tabela 47	Emissões de agropecuária do Cenário C, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	64
Tabela 48	Redução total de emissões de agropecuária e custos associados	64
Tabela 49	Evolução das emissões totais de GEE até 2030 (Mt CO ₂ eq)	70
Tabela 50	Emissões totais nos Cenários A, B e C, por setor, até 2030 (Mt CO ₂ eq)	72



FIGURAS

Figura 1	Contribuição dos GEE para as emissões totais brasileiras em 2005 (%)	11
Figura 2	Contribuição dos setores para as emissões de GEE totais brasileiras em 2005 (%)	11
Figura 3	Perfil atual das emissões do setor elétrico	12
Figura 4	Histórico das emissões de mudança de uso do solo e florestas (Mt CO ₂ eq)	40
Figura 5	Perfil atual das emissões de resíduos	49
Figura 6	Perfil atual das emissões da agropecuária	57
Figura 7	Emissões de energia nos Cenários A, B e C, até 2030	67
Figura 8	Emissões de processos industriais nos Cenários A, B e C, até 2030	68
Figura 9	Emissões de resíduos nos Cenários A, B e C, até 2030	68
Figura 10	Emissões líquidas (com reflorestamento) de mudança no uso do solo e floresta nos Cenários A, B e C, até 2030	69
Figura 11	Emissões de mudança no uso do solo e floresta (sem reflorestamento) nos Cenários A, B e C, até 2030	69
Figura 12	Emissões da agropecuária nos Cenários A, B e C, até 2030	70
Figura 13	Evolução das emissões totais de GEE até 2030	71
Figura 14	Curva de custo marginal de abatimento do Cenário B em relação ao Cenário A até 2020	74
Figura 15	Curva de custo marginal de abatimento do Cenário B em relação ao Cenário A de 2021 a 2030	76
Figura 16	Curva de custo marginal de abatimento do Cenário C em relação ao Cenário B até 2020	78
Figura 17	Curva de custo marginal de abatimento do Cenário C em relação ao Cenário B de 2021 a 2030	80
Figura 18	Curva de custo marginal de abatimento do Cenário C em relação ao Cenário A até 2020	82
Figura 19	Curva de custo marginal de abatimento do Cenário C em relação ao Cenário A de 2021 a 2030	84
Figura 20	Curva de custo marginal de abatimento do Cenário B em relação ao Cenário A de 2011 a 2030	87
Figura 21	Curva de custo marginal de abatimento do Cenário C em relação ao Cenário B de 2011 a 2030	89
Figura 22	Curva de custo marginal de abatimento do Cenário C em relação ao Cenário A de 2011 a 2030	91
Figura 23	Custo médio das ações de mitigação dos Cenários B e C em relação ao Cenário A e potencial de abatimento de 2011 a 2030	93

GLOSSÁRIO

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
APP	Áreas de Preservação Permanente
BEN	Balanco Energético Nacional
BEU	Balanco de Energia Útil
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i> - Captura e Armazenamento de Carbono
CH ₄	Metano
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CO ₂	Dióxido de Carbono
COP 15	XV Conferência sobre Mudança Climática das Nações Unidas, em Copenhague
COPPETEC	Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos
EIA/DOE	<i>Energy Information Administration/Department of Energy</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETEs	Estações de Tratamento de Esgotos
GEE	Gases do Efeito Estufa
GW	Gigawatt (bilhão de watts)
GWP	<i>Global Warming Potential</i> - Potencial de Aquecimento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IIASA	<i>International Institute for Applied Systems Analysis</i> – Instituto Internacional de Análises de Sistemas Aplicados
ILP	Integração Lavoura-Pecuária
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> – Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
Kt CO ₂ eq	Quilotonelada (mil toneladas) de dióxido de carbono equivalente
ktep	Mil toneladas equivalentes de petróleo
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
Mt CO ₂ eq	Megatonelada (milhão de toneladas) de dióxido de carbono equivalente
MW	Megawatt (milhão de watts)
N	Nitrogênio
N ₂ O	Óxido Nitroso
NAMA	<i>Nationally Appropriate Mitigation Action</i> - Ações Nacionalmente Apropriadas de Mitigação
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PDE 2020	Plano Decenal de Expansão de Energia 2020
PIB	Produto Interno Bruto
PNE 2030	Plano Nacional de Energia 2030
PNMC	Plano Nacional sobre Mudança do Clima
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PRODES	Projeto PRODES Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite
SF ₆	Hexafluoreto de enxofre
SIN	Sistema Interligado Nacional
SO ₂	Dióxido de enxofre
SPD	Sistema de Plantio Direto
TWh	Terawatt-hora (trilhão de watt-hora)
UA/ha	Unidade de animais por hectare



1. Apresentação

Este relatório se constitui em um sumário do “Estudo de Gases de Efeito Estufa no Brasil e uma Análise de Custo-benefício” realizado por intermédio do CONTRATO BRA10-10522/2010, celebrado entre a Fundação COPPETEC e o PNUD em âmbito do Projeto BRA/00/020 de Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental – Licitação Internacional (RFP) nº 5691/2009.



2. Introdução

Este estudo construiu três cenários prospectivos das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil: um cenário central de emissões de GEE (Cenário B) e cenários contrastados (Cenários A e C) e realizou uma análise econômica para estimar os custos a serem incorridos pelos cenários B e C quando comparados a A. Foram seis os setores analisados: geração de energia elétrica, transportes, indústria, resíduos, mudança de uso do solo e florestas e agropecuária.

O horizonte temporal da simulação é 2030, com valores para períodos intermediários quinquenais. Até 2020, o cenário central (B) incluiu os objetivos voluntários de mitigação assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Copenhague, discriminados na Lei Federal que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima, e, posteriormente detalhados pelo Decreto Federal nº 7390 de 09 de dezembro de 2010. Na medida do possível, tentou-se reproduzir os valores referenciais do decreto¹ com a construção do Cenário A, que representa a tendência, pois exclui as medidas de mitigação de emissões que constam no cenário central (adotadas a partir de 2009), como por exemplo, a construção de grandes empreendimentos como a usina hidrelétrica de Belo Monte. O Cenário C se distingue do B em razão das ações complementares ao Acordo de Copenhague.

A partir de 2020, a diferença entre os três cenários demonstra as oportunidades existentes para ampliação dos esforços brasileiros, permitindo que se estimem valores importantes para outras negociações, que eventualmente se apresentem em âmbito da Convenção do Clima das Nações Unidas.

Os cenários de mitigação de emissões foram construídos em uma base comum de desenvolvimento socioeconômico. A construção deste cenário socioeconômico brasileiro seguiu o modelo de construção dos inúmeros cenários de crescimento econômico mundial do IPCC² (família de Cenários A1, A2, B1 e B2). Neste trabalho utilizou-se a concepção do Cenário B2, não somente compatível com o cenário adotado no estudo da Empresa de Pesquisa Energética-EPE, adotado no Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 bem como com a Política Nacional sobre Mudança do Clima.

¹Apresentados em seu anexo.

²Sigla em inglês para Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima.



A evolução do PIB brasileiro foi estimada em 5% a.a até 2020 e 4% a.a. de 2021 a 2030. A população deverá atingir 207,7 milhões de habitantes em 2020 e 216,8 milhões em 2030.

Os principais valores adotados no cenário socioeconômico estão nas tabelas a seguir:

Tabela 1 Estimativas da Evolução do PIB

	PNE (2030)	PNUD (2010-2020)	PNUD (2021-2030)
	% aa		
Brasil	4,1	5,0	4,0
Agropecuária	4,2	5,1	4,1
Indústria	3,7	4,5	3,6
Serviços	4,2	5,1	4,1

Tabela 2 População (10³ habitantes)

Região	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Norte	14.545	15.663	16.529	17.245	17.846	18.289
Nordeste	51.705	54.294	56.301	57.959	59.353	60.381
Sudeste	78.185	81.932	84.838	87.238	89.255	90.743
Sul	26.889	28.028	28.911	29.641	30.254	30.706
Centro-Oeste	13.147	14.174	14.970	15.628	16.181	16.589
Brasil	184.470	194.091	201.549	207.711	212.889	216.707

Fonte: PNE 2030

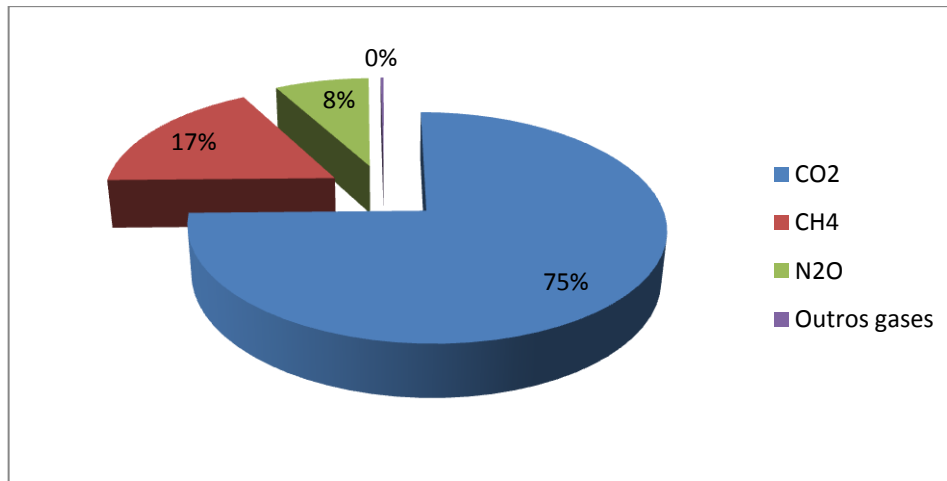
As projeções de PIB e de população acima apresentadas e de progresso técnico autônomo, entre outros, se constituíram nos parâmetros de desenvolvimento do país (cenário socioeconômico) e permitiram a construção dos cenários de emissão que correspondem aos níveis de atividade do cenário socioeconômico sob as hipóteses do Cenário A, (contrafactual), do Cenário B (central) e com medidas adicionais correspondentes ao Cenário C.

Por fim, para calcular os custos de mitigação associados às ações previstas nos diferentes cenários, foram construídas curvas de custo marginal de abatimento. Para o cálculo destes custos, os preços utilizados foram os médios de 2009 e a taxa de desconto foi de 8% a.a³. Ressalte-se que estes custos não internalizam custos ambientais das opções aqui consideradas.

No que se refere às emissões de GEE, o ponto de partida foram os resultados do Inventário de Emissões da Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, referentes a 2005, último ano

³ Obtidos de outros estudos, mencionados ao decorrer dos capítulos.

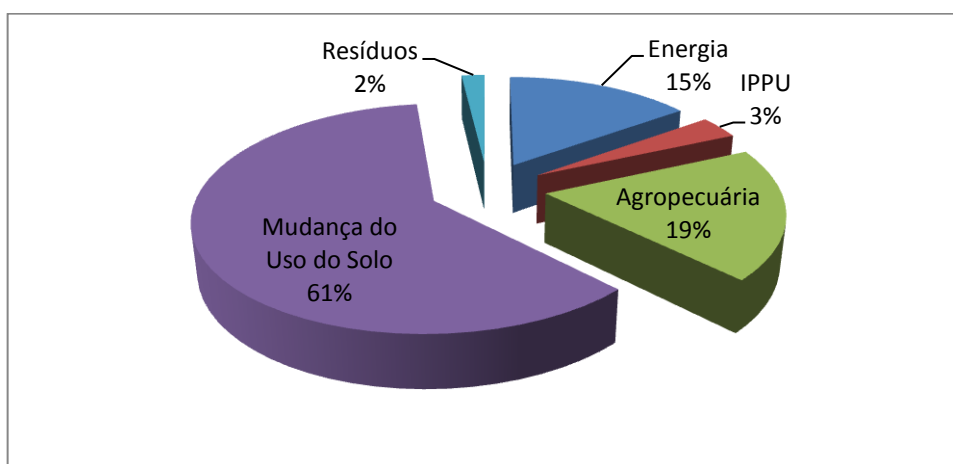
inventariado. As emissões naquele ano foram estimadas em 2.193 Mt CO₂eq, cuja importância relativa dos GEE pode ser observada na Figura 1.



Fonte: Brasil, 2010

Figura 1 Contribuição dos GEE para as emissões totais brasileiras em 2005 (%)

No que se refere aos setores emissores, a figura a seguir permite que se observe a grande responsabilidade do desmatamento no total de emissões, seguido pelo setor agropecuário, bastante menos emissor.



Fonte: Brasil, 2010

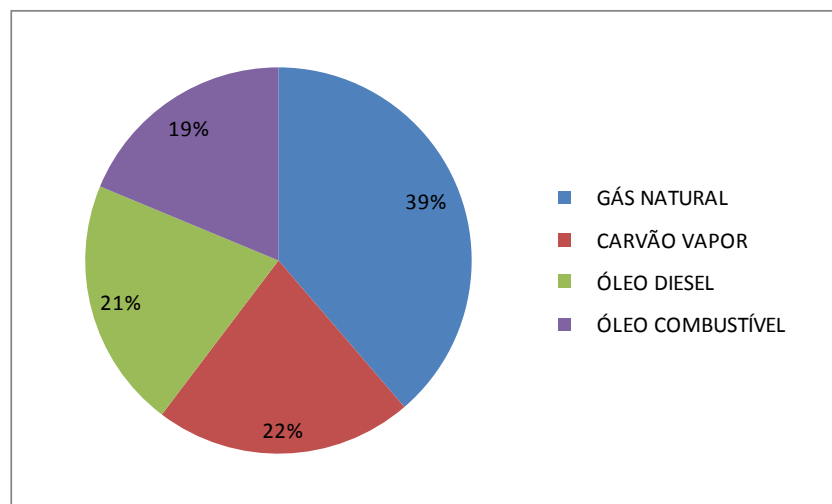
Figura 2 Contribuição dos setores para as emissões de GEE totais brasileiras em 2005 (%)

3. Setor Elétrico

O setor elétrico brasileiro é hidrotérmico, caracterizado pela forte presença de usinas hidrelétricas localizadas em diferentes bacias hidrográficas, que ficam afastadas dos centros consumidores. O sistema, por isso, é interligado por extensas linhas de transmissão. A capacidade hidráulica é complementada por usinas térmicas convencionais e nucleares e, além disso, há uma crescente expansão de usinas eólicas.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2009), no ano de 2008 da capacidade instalada de geração de aproximadamente 104 GW, mais de 78 GW são de hidrelétricas, 23 GW de termelétricas convencionais, 2 GW de nucleares e 414 MW de usinas eólicas.

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes do setor elétrico são relativamente baixas e são originadas de usinas a gás natural, a carvão mineral e a óleo diesel e combustível, como mostra a figura abaixo. Em 2008, as emissões de GEE foram inferiores a 34 MtCO₂eq.



Fonte: BEN 2009

Figura 3 Perfil atual das emissões do setor elétrico

Para as estimativas dos cenários do setor elétrico, primeiramente realizou-se uma projeção da demanda de energia e opções de fontes de energia para o atendimento da demanda, cuja escolha resulta em diferentes níveis de emissão, conforme tabela a seguir.

Tabela 3 Evolução da demanda de energia elétrica

Demanda	2010	2015	2020	2025	2030
TWh	475	530	660	793	953

Fonte: PDE 2020 (para o período 2011-2019); PNE 2030 (para o restante), (respectivamente EPE, 2011 e 2007)

Para as simulações, os dados técnico-econômicos foram obtidos do Departamento de Energia Americano (EIA/DOE) e o custo dos combustíveis estimado com base nos estudos do PNE 2030. O custo das ações de eficiência energética é a média das medidas de eficiência energética propostas no relatório do Banco Mundial “Estudo de Baixo Carbono para o Brasil” (Gouvello et al., 2010).

3.1 Hipóteses dos Cenários

Cenário A

O Cenário A, contrafactual⁴, exclui a expansão das fontes renováveis (incluindo grandes hidrelétricas) a partir de 2010 no parque de geração, além de programas de eficiência energética. Tais medidas são substituídas por geração termelétrica a gás natural⁵, hipótese mantida para todo o horizonte de tempo do estudo. Assim, não há neste cenário, nem expansão hidráulica e nem de outras fontes renováveis. Não há também inclusão de programas de eficiência energética. A economia de energia verificada neste cenário é a decorrente de progresso técnico autônomo.

Cenário B

No Cenário B, para o período até 2020, utilizou-se a composição de fontes de energia do PDE 2020 (EPE, 2011) e, para o período posterior, a evolução apontada no PNE 2030 (EPE, 2007). São consideradas ações na área de eficiência energética, constantes do PDE 2020, que visam manter e ampliar os programas e iniciativas já existentes, de modo a reduzir o consumo projetado de energia elétrica para o horizonte do estudo. Identificou-se, também, um potencial de geração a partir de metano recuperado

⁴Nota técnica da EPE (Brasil, 2010b)

⁵A fonte fóssil de geração de energia de menor custo no Brasil

de aterros sanitários de 4,35 TWh em 2030, o que representa 0,4% da demanda projetada para o referido ano⁶.

Em síntese, as medidas de mitigação do setor elétrico neste cenário são proporcionadas pela:

- Expansão em quase 34.000 MW do parque gerador hidroelétrico, destacando-se a primeira usina do complexo hidroelétrico do rio Tapajós e novas usinas hidráulicas a licitar.
- Expansão em mais de 20.000 MW do parque gerador a partir de fontes alternativas, destacando-se a instalação de 10.800 MW em centrais eólicas, 6.080 MW em centrais a biomassa e 3.380 MW em PCH.
- Ações de eficiência energética para reduzir 4,4% do consumo projetado de energia elétrica para o horizonte do estudo (economia de geração equivalente a uma usina hidráulica de 7.600 MW).

A composição das fontes de geração está apresentada na Tabela 2, a seguir:

Tabela 4 Expansão da capacidade de geração no Cenário B (MW)

MW	Baseado no PDE 2020			Baseado no PNE 2030	
	2010	2015	2020	2025	2030
Hidrelétricas	82.939	94.053	115.123	132.561	150.749
Nuclear	2.007	2.007	3.412	4.316	5.316
Gás Natural	9.180	11.659	11.659	16.033	22.783
Carvão	1.765	3.205	3.205	4.465	6.465
Óleo Combustível	2.371	8.790	8.790	8.864	8.864
Óleo Diesel	1.497	1.471	1.121	1.551	1.551
Outros Não Renováveis	686	686	686	686	686
PCH	3.806	4.957	6.447	12.966	16.966
Biomassa	4.496	7.353	9.163	14.159	20.209
Eólica	831	7.022	11.532	12.068	15.368
Total	109.578	140.853	171.138	203.571	244.859

Fonte: PDE 2020; PNE 2030

⁶ Considera-se que esta se refere a uma geração distribuída e, portanto, não faz parte do SIN. Desta maneira, esta geração é abatida da demanda, da mesma maneira como é feito com as medidas de eficiência energética.

Cenário C

O Cenário C foi construído com medidas adicionais ao Cenário B. Foi considerada uma expansão da geração eólica suficiente para substituir a expansão da geração a carvão mineral do Cenário B. Adicionalmente, foi considerado um programa de eficiência energética que prevê uma economia de energia dois pontos percentuais maior do que o previsto no Cenário B, a partir 2020, reduzindo a demanda em 12% em 2030. Da mesma forma que acontece entre o Cenário B e A, as medidas de eficiência energética deslocam geração termelétrica a gás natural.

Tabela 5 Expansão da capacidade de geração no Cenário C (MW)

MW	2010	2015	2020	2025	2030
Hidrelétricas	82.939	94.053	115.123	132.561	150.749
Nuclear	2.007	2.007	3.412	4.316	5.316
Gás Natural	9.180	11.659	11.659	16.033	22.783
Carvão	1.765	1.765	1.765	3.205	3.205
Óleo Combustível	2.371	8.790	8.790	8.864	8.864
Óleo Diesel	1.497	1.471	1.121	1.551	1.551
Outros Não Renováveis	686	686	686	687	687
PCH	3.806	4.957	6.447	12.966	16.966
Biomassa	4.496	7.353	9.163	14.159	20.209
Eólica	831	7.002	11.532	15.780	21.830
Total	109.578	139.743	169.518	210.122	252.160

Fonte: Autores

3.2 Resultados dos Cenários

As emissões do Cenário A estão apresentadas na tabela a seguir, onde se observa a grande participação do gás natural para a geração de energia elétrica, seguida da participação do carvão mineral.

Tabela 6 Emissões da geração elétrica no Cenário A, por fonte, até 2030 (Mt CO₂eq)

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Gás Natural	57	73	160	85	277	87	393	89
Carvão	13	16	17	9	24	8	35	8
Óleo Combustível	7	9	10	5	14	4	14	3
Óleo Diesel	1	2	2	1	2	1	2	0
Total	78	100	189	100	317	100	444	100

Fonte: Autores

As medidas de mitigação do Cenário B são as seguintes:

Tabela 7 Ações de mitigação no setor elétrico, do Cenário B em relação ao A, até 2030 (Mt CO₂eq)

Ação de Mitigação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Hidrelétricas	24	66	70	50	108	52	147	49
Renováveis	7	20	36	26	55	27	86	29
Eficiência Energética	5	14	34	24	43	21	64	22
Total	37	100	140	100	205	100	297	100

Fonte: Autores

O Cenário B incorpora as medidas de mitigação da tabela acima e resulta nas seguintes emissões:

Tabela 8 Emissões da geração elétrica no Cenário B, por fonte, até 2030 (Mt CO₂eq)

Fontes de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Gás Natural	21	50	21	42	32	44	45	47
Carvão	13	30	17	35	24	34	35	36
Óleo Combustível	7	16	10	21	14	19	14	14
Óleo Diesel	1	4	2	3	2	3	2	2
Total	42	100	50	100	72	100	96	100

Fonte: Autores

As medidas de mitigação do Cenário C são as seguintes:

Estes valores têm que ser acertados

Tabela 9 Ações de mitigação no setor elétrico, do Cenário C em relação ao B, até 2030 (Mt CO₂eq)

Ação de Mitigação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Eólicas	0	0	0	0	16	73	27	69
Eficiência Energética		0	2	100	6	27	12	31
Total	0	0	8	100	22	100	38	100

Fonte: Autores

A tabela seguir adiciona as medidas contempladas no Cenário B com as do Cenário C, proporcionando uma redução de emissões bem significativa, quando se compara o Cenário C com o A.

Estes valores tem que ser acertados

Tabela 10 Ações de mitigação no setor elétrico, do Cenário C em relação ao A, até 2030 (Mt CO₂eq)

Ação de Mitigação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Hidrelétricas	24	66	70	49	108	47	147	44
Renováveis	7	20	36	25	71	31	113	34
Eficiência Energética	5	14	36	25	49	21	76	23
Total	37	100	142	100	227	100	336	100

Fonte: Autores

A tabela a seguir também apresenta as emissões totais do Cenário C. A conclusão é similar à que se chega com a construção do Cenário B. Ou seja, os baixos custos da energia de fonte hídrica e seu grande potencial mostram que esta é uma ação de mitigação bastante relevante.

Tabela 11 Emissões da geração elétrica no Cenário C, por fonte, até 2030 (Mt CO₂eq)

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Gás Natural	21	51	23	46	25	35	27	28
Carvão	13	31	13	25	13	18	16	17
Óleo Combustível	6	15	10	21	10	14	12	13
Óleo Diesel	1	4	2	3	2	3	2	2
Total	41	100	47	100	50	100	57	100

Fonte: Autores

3.3 Custos de Abatimento

A redução total a ser alcançada em cada cenário e os respectivos custos podem ser observados a seguir.

Tabela 12 Redução total de emissões da geração elétrica e custos associados

Ação de Mitigação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
Cenário B em relação ao Cenário A					
(2011 – 2020)					
Hidrelétricas	-84,48	469,4	-39.652	469,4	-39.652
Renováveis	-40,17	216,2	-8.685	685,5	-48.337
Efic. Energ. (eletric. geral)	-32,04	195,0	-6.247	880,5	-54.584
(2021 – 2030)					
Hidrelétricas	-84,48	1.273,0	-10.7543	1.273,0	-107.543
Renováveis	-40,17	705,4	-28.341	1.978,4	-135.884
Efic. Energ. (eletric. geral)	-32,04	535,8	-17165	2.514,2	-153.048
(2011 – 2030)					
Hidrelétricas	-84,48	1.742,4	-147.195	1.742,4	-147.195
Renováveis	-40,17	921,6	-37.026	2.664,0	-184.221
Efic. Energ. (eletric. geral)	-32,04	730,8	-23.411	3.394,8	-207.632
Cenário C em relação ao Cenário B					
(2011 – 2020)					
Hidrelétricas	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
Renováveis	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
Efic. Energ. (eletric. geral)	-3,00	10,0	-31,0	10,0	-31,0
(2021 – 2030)					
Hidrelétricas	0,00	0,0	0	0,0	0
Renováveis	4,44	215,0	954	215,0	954
Efic. Energ. (eletric. geral)	-3,06	91,4	-279	306,4	675
(2011 – 2030)					
Hidrelétricas	0,00	0,0	0	0,0	0
Renováveis	4,44	215,0	954	215,0	954
Efic. Energ. (eletric. geral)	-3,06	101,4	-310	316,4	645
Cenário C em relação ao Cenário A					
(2011 – 2020)					
Hidrelétricas	-84,48	469,4	-39.652	469,4	-39.652
Renováveis	-30,66	216,2	-6.628	685,5	-46.280
Efic. Energ. (eletric. geral)	-32,04	205,0	-6.568	890,5	-52.848
(2021 – 2030)					

Ação de Mitigação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
Hidrelétricas	-84,48	1.273,0	-107.542	1273,0	-107.542
Renováveis	-31,09	920,4	-28.616	2193,4	-136.158
Efic. Energ. (eletric. geral)	-28,02	627,2	-17.574	2.820,6	-153.733
(2011 – 2030)					
Hidrelétricas	-84,48	1.742,4	-147.194	1.742,4	-147.194
Renováveis	-30,98	1.136,6	-35.213	2.879,0	-182.406
Efic. Energ. (eletric. geral)	-28,99	832,2	-24.126	3.711,2	-206.532

Fonte: Autores

3.4 Outras Considerações Sobre o Setor de Energia

No setor de energia, foram analisadas somente medidas de redução de emissão no setor elétrico, de transportes e industrial. Estes dois últimos em capítulos próprios, como apresentados a seguir. Entretanto, foram estimadas as emissões dos outros setores de energia, como as do consumo final de energia do setor energético e as dos setores residencial, comercial e público. Estas foram mantidas iguais em todos os cenários. Até 2020 correspondem ao PDE 2020 e para o período 2021-2030 as estimativas utilizaram as taxas de crescimento do PNE 2030. Os valores são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 13 Outros Setores de Energia

Mt CO ₂	2015	2020	2025	2030
Setor Energético	54	77	130	187
Residencial	20	32	61	88
Comercial	3	3	8	11
Público	2	3	8	11



4. Transportes

O transporte rodoviário é movido pelos seguintes combustíveis: gasolina A, álcool anidro e álcool hidratado, utilizados basicamente para movimentar a frota de veículos leves, e o diesel e o biodiesel, utilizados principalmente por ônibus e caminhões, mas também utilizados por vans e picapes com capacidade de carga acima de 1 tonelada. O setor de transportes consumiu 62,444 ktep em 2008, 27,6% do consumo final total de energia no País, de acordo com o Balanço Energético (BEN 2009). Das 164 Mt CO₂eq estimadas para o setor em 2010, a maior parcela se refere ao consumo de diesel, seguida do consumo de gasolina.

A estimativa do setor de transportes segue aquela do setor de energia elétrica. Foi estimada a demanda de energia, igual para todos os cenários, e posteriormente as distintas quantidades dos combustíveis que compõem cada cenário e que resultam em diferentes níveis de emissão. Para o período 2010-2020, foi utilizado o Plano Decenal de Expansão de Energia, PDE 2020, que foi a base para o Acordo de Copenhague no que se refere ao setor de energia (no qual se insere o setor de transportes). No caso dos veículos leves, que consomem gasolina, álcool anidro e álcool hidratado, o crescimento anual da demanda de energia foi de 6,8% ao ano. Para o transporte pesado, que utiliza basicamente óleo diesel e biodiesel, a demanda por energia nesta década tem estimativa de crescimento de uma taxa anual de 5%. Para período de projeção 2020-2030, a taxa de crescimento do PIB foi reduzida para 4% ao ano e a partir da elasticidade da demanda em relação ao PIB, para os veículos leves, a taxa de crescimento anual da demanda foi de 5,4%. Para o transporte pesado, essa taxa de crescimento ficou em 4% ao ano.

Para o cálculo dos custos associados a cada medida de abatimento (substituição de combustíveis entre cenários) foi utilizada a projeção realizada por um estudo do Banco Mundial⁷ (Gouvello et al., 2010), e então calculados os custos totais de cada medida, em cada cenário. A exceção foram os custos do biodiesel, estimados a partir de dados do PDE 2019 (EPE, 2010b), que projeta os preços das principais matérias primas desse combustível, e do PNE 2030 (EPE, 2007), que projeta a participação de cada um dos insumos na produção do biodiesel.

⁷Com exceção da projeção do preço do biodiesel, que foi realizada a partir de PDE 2019 e PNE 2030.



Tabela 14 Projeção dos custos médios dos combustíveis usados no setor de transportes (US\$/barril)

Custos médios (US\$/barril)	2010	2015	2020	2025	2030
Gasolina	44.40	52.17	54.39	49.95	49.95
Álcool Anidro	43.96	41.96	38.29	34.44	31.36
Álcool Hidratado	41.86	39.96	36.47	32.80	29.86
Diesel	44.80	52.17	54.39	49.95	49.95
Biodiesel	94.52	113.49	130.75	154.33	176.04

Fonte: Gouvello *et al* (2010) e elaboração própria a partir de PDE 2019 e PNE 2030.

É importante ressaltar que os custos médios da gasolina e do óleo diesel aumentam muito pouco entre 2010 e 2030, enquanto que custo do etanol diminui significativamente. Já o custo do biodiesel aumenta rapidamente, crescendo 86% entre 2010 e 2030.

4.1 Hipóteses dos Cenários

Cenário A

O consumo de álcool hidratado e de biodiesel foi congelado em níveis de 2009 mantendo-se até 2030. O consumo de gasolina e de diesel foi calculado considerando-se a demanda total, descontados os valores dos biocombustíveis. Já o consumo de álcool anidro subiu acompanhando a elevação do consumo de gasolina, já que a gasolina vendida no País é formada a partir da mistura desses dois combustíveis. O percentual de mistura diminuiu progressivamente de 25% em 2009 para 20% em 2020 e se manteve constante em 20% a partir de 2020. Para os modais aéreo, hidroviário e aeroviário os cenários A, B e C são iguais, já que não há nenhuma medida de mitigação proposta no momento.

Cenário B

Neste cenário ocorre um avanço expressivo no consumo de etanol e de biodiesel. A taxa de crescimento do consumo de álcool hidratado foi de 13,91% ao ano entre 2010 e 2020. Para o período 2020-2030 a demanda por álcool hidratado continuou crescendo, porém a um ritmo menor, de 5,6% ao ano, equivalente ao crescimento anual indicado pelo PDE 2020 para o período 2015-2020, ajustado pelo menor crescimento do PIB nessa década. O consumo de gasolina C foi calculado a partir da diferença entre a demanda total

de energia e o consumo de álcool hidratado, e o percentual de mistura do álcool anidro na gasolina foi mantido em 25% em todo o horizonte projetado.

Para veículos pesados, a partir da demanda total por energia estimada e com o percentual de mistura de biodiesel no diesel mantido em 5% em todo o período de projeção, pode-se chegar ao consumo de óleo diesel e de biodiesel em cada ano.

Cenário C

O Cenário C apresenta metas mais otimistas no que diz respeito à penetração do etanol e do biodiesel. Para o álcool hidratado, no período 2020-2030, foi utilizada a taxa de crescimento anual no período 2015-2020 obtida no PDE 2020, que foi igual a 7,0%, e, portanto, maior do que no Cenário B. O volume de gasolina foi calculado através da diferença entre a energia contida no álcool hidratado e a energia anual demandada pelos veículos leves calculada anteriormente. O percentual de mistura de álcool anidro na gasolina permaneceu fixado em 25% em todo o cenário.

No caso do transporte pesado, assumiu-se que o percentual de mistura de biodiesel no diesel ficaria mantido em 5% até 2020, aumentando para 6% em 2025 e para 7% em 2030, diferentemente do Cenário B onde se mantém em 5% até 2030.

4.2 Resultados dos Cenários

A tabela a seguir apresenta as emissões do Cenário A. Pode-se observar que o consumo de diesel é a principal fonte de emissões de gases de efeito estufa, seguido pelo consumo de gasolina. A metodologia de cálculo das emissões relativas ao álcool e ao biodiesel seguem a do PDE 2020, onde é considerado que o CO₂ emitido é reabsorvido pela cana-de-açúcar, fechando o ciclo do combustível renovável.

Tabela 15 Emissões do setor de transportes no Cenário A, por fonte, até 2030 (Mt CO₂eq)

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Gasolina A	75	32	98	32	138	36	178	38
Álcool Anidro								
Álcool Hidratado								
Gás Natural	6	3	7	2	9	2	11	2
Diesel	136	58	173	57	206	53	238	51

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Biodiesel								
Querosene	13	6	17	6	21	5	25	5
Óleo Combustível	6	3	8	3	13	3	17	4
Eletricidade								
Total	236	100	304	100	386	100	469	100

Fonte: Autores

Na tabela a seguir, referente ao Cenário B, pode-se observar que o etanol é responsável por mitigar a maior parte das emissões em todo o período.

Tabela 16 Ações de mitigação no setor de transportes, do Cenário B em relação ao A, até 2030 (Mt CO₂eq)

Ação de Mitigação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Incremento do uso de Etanol	26	91	50	91	75	92	100	93
Incremento do uso de Biodiesel	3	9	5	9	7	8	8	7
Total	28	100	55	100	82	100	108	100

Fonte: Autores

Na tabela a seguir, podem-se observar as emissões do Cenário B, onde o consumo de óleo diesel continua sendo a fonte mais relevante.

Tabela 17 Emissões de transportes do Cenário B, por fonte, até 2030 (Mt CO₂eq)

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Gasolina A	49	24	48	19	63	21	78	22
Álcool Anidro								
Álcool Hidratado								
Gás Natural	6	3	7	3	9	3	11	3
Diesel	133	64	168	68	199	65	230	64
Biodiesel								
Querosene	13	6	17	7	21	7	25	7
Óleo Combustível	6	3	8	3	13	4	17	5
Eletricidade								
Total	207	100	249	100	305	100	361	100

Fonte: Autores

Na tabela a seguir, podem-se observar os resultados das ações de mitigação do Cenário C em relação ao Cenário B. Entre 2010 e 2020 o Cenário C foi idêntico ao Cenário B, e entre 2020 e 2030 a maior utilização dos biocombustíveis proporcionou a diferença entre os dois cenários.

Tabela 18 Ações de mitigação no setor de transportes, do Cenário C em relação ao B, até 2030 (Mt CO₂eq)

Ação de Mitigação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Incremento do uso de Etanol	0	0	0	0	21	87	42	91
Incremento do uso de Biodiesel	0	0	0	0	3	13	4	9
Total	0	0	0	0	24	100	46	100

Fonte: Autores

Comparando-se o Cenário C ao Cenário A, pode-se ter uma ideia da redução total das emissões que podem ser alcançadas, principalmente com o etanol, conforme a tabela a seguir.

Tabela 19 Ações de mitigação no setor de transportes, do Cenário C em relação ao A, até 2030 (Mt CO₂eq)

Ação de Mitigação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Incremento do uso de Etanol	26	91	50	91	96	93	142	95
Incremento do uso de Biodiesel	3	9	5	9	7	7	8	5
Total	28	100	55	100	103	100	149	100

Fonte: Autores

A próxima tabela a apresenta as emissões do Cenário C. O óleo diesel é o maior emissor do setor, com um percentual de participação que variou entre 64% em 2015 e 72% em 2030.

Tabela 20 Emissões de transportes do Cenário C, por fonte, até 2030 (Mt CO₂eq)

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Gasolina A	49	24	48	19	42	15	36	11
Álcool Anidro								
Álcool Hidratado								
Gás Natural	6	3	7	3	9	3	11	3
Diesel	133	64	168	68	199	70	230	72
Biodiesel								
Querosene	13	6	17	7	21	7	25	8
Óleo Combustível	6	3	8	3	13	4	17	5
Eletricidade								
Total	207	100	249	100	284	100	319	100

Fonte: Autores

4.3 Custos de Abatimento

A redução total a ser alcançada em cada cenário e os respectivos custos podem ser observados a seguir.

Tabela 21 Redução total de emissões de transportes e custos associados

Ação de mitigação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
Cenário B em relação ao Cenário A					
(2011 – 2020)					
Incremento do uso de Etanol	0,34	256,4	87	256,4	87
Incremento do uso de Biodiesel	223,79	28,4	6.352	284,8	6.439
(2021 – 2030)					
Incremento do uso de Etanol	0,34	750,5	255	750,5	255
Incremento do uso de Biodiesel	223,79	65,0	14.541	815,5	14.796
(2011 – 2030)					
Incremento do uso de Etanol	0,34	1.007,0	341	1.007,0	341
Incremento do uso de Biodiesel	223,79	93,4	20.893	1.100,3	21.234
Cenário C em relação ao Cenário B					
(2011 – 2020)					
Incremento do uso de Etanol	0,00	0,0	0	0,0	0
Incremento do uso de Biodiesel	0,00	0,0	0	0,0	0
(2021 – 2030)					
Incremento do uso de Etanol	-7,6	207,6	-1.577,5	207,6	-1.577,5
Incremento do uso de Biodiesel	183,5	35,0	6.420,9	242,6	4.843,4
(2011 – 2030)					
Incremento do uso de Etanol	-7,6	207,6	-1577,5	207,6	-1577,5
Incremento do uso de Biodiesel	183,5	35,0	6420,9	242,6	4843,4
Cenário C em relação ao Cenário A					
(2011 – 2020)					
Incremento do uso de Etanol	0,3	256,4	87,0	256,4	87,0
Incremento do uso de Biodiesel	223,8	28,4	6.351,7	284,8	6.438,6
(2021 – 2030)					
Incremento do uso de Etanol	-1,38	958	-1.323	958	-1.323
Incremento do uso de Biodiesel	209,67	100	20.962	1.058	19.639
(2011 – 2030)					
Incremento do uso de Etanol	-1,02	1.215	-1.236	1.215	-1.236
Incremento do uso de Biodiesel	212,79	128	27.314	1.343	26.078

Fonte: Autores



5. Indústria

O setor industrial brasileiro se constitui no principal consumidor de energia, conforme dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2010a). Em 2009, a indústria foi responsável pelo consumo energético de 76,6 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, ou 37,2% do total nacional. De acordo com o Segundo Inventário Brasileiro de Emissões (Brasil, 2010), o uso de energia no setor industrial foi responsável pela emissão de 117,8 milhões de toneladas de CO₂ equivalentes em 2005. A estas se somam 37,1 milhões de toneladas de CO₂ equivalentes relativas a processos, especialmente na produção de cimento. A análise do setor industrial considera, de forma combinada, as emissões originadas do uso de energia e de processos.

No que se refere às estimativas, a evolução da atividade do setor foi estabelecida conforme o PDE 2020 (EPE, 2011) e, a partir de 2020, corresponde a valores médios do PNE 2030 (EPE, 2007).

As emissões associadas ao uso de energia na indústria referem-se apenas ao uso de combustíveis; aquelas devidas à eletricidade estão contabilizadas em sua geração, ou seja, no setor elétrico.

Os custos de abatimento para diferentes ações de mitigação referentes ao uso de combustíveis foram estimados a partir de Henriques Junior (2010) e Henriques Junior et al. (2010), que apresentam uma análise dos custos de abatimento para indústria, em função da solução adotada, a seguir reproduzida.

No que se refere a tecnologias que resultam em menores emissões de processos industriais foram considerados custos de EPA (2006), McKinsey (2009) e IIASA (2010) sendo que estes últimos tiveram um fator adicional de 50% sobre o custo indicado (tendo em vista serem originariamente estabelecidos para os países da Comunidade Européia).

5.1 Hipóteses dos Cenários

Cenário A

Neste cenário não há ganhos a partir de programas de eficiência energética e a matriz de consumo final permanece a mesma. A intensidade energética ou o consumo específico correspondem aos valores do balanço de energia útil (BEN, 2009).

Para determinação das emissões relativas aos processos industriais, foram inicialmente considerados os valores dispostos no Decreto 7390 para o período 2011-2020. Como tais valores referem-se à soma das emissões de processos industriais e tratamento de resíduos, foi arbitrada a parcela correspondente a processos industriais com base nos inventários já realizados. A partir de 2021, inclusive, as emissões de processos industriais foram estimadas a partir da variação da atividade industrial apresentados no PNE 2030 (EPE, 2006).

Cenário B

Este cenário difere do Cenário A, no que se refere à indução do aumento da eficiência energética, cujas taxas de evolução nos distintos segmentos industriais foram obtidas no PDE e mantidas até 2030. Foram consideradas as ações com retorno econômico (custo de abatimento negativo).

No que se refere à intensidade energética e à matriz de consumo final, foram também utilizadas aquelas obtidas no PDE até 2020 e fixadas até 2030. Adicionalmente são ainda consideradas as seguintes ações: reciclagem de materiais (5% na produção de cimento – substituição de clínquer por escória de alto forno – progressivamente a partir de 2016 até 2030⁸), e incremento no uso de carvão vegetal: substituição de carvão mineral e coque metalúrgico por carvão vegetal na produção de ferro gusa, reduzindo em 10% as emissões do setor (hipótese de Mckinsey 2009⁹).

No que se refere a processos, são mantidas as hipóteses do Cenário A, destacando-se a maior utilização de carvão vegetal no setor siderúrgico.

Cenário C

Neste cenário adotam-se medidas complementares em relação às descritas no Cenário B. No que se refere ao uso de energia, a intensidade energética foi estimada a partir de ações de eficiência energética, que até 2020 atinge os coeficientes técnicos do BEU e para o período subsequente são introduzidas medidas de eficiência adicionais (2^a

⁸Esta ação será considerada adicional às medidas de conservação de energia, pois permitirão redução do consumo de energia na etapa de produção de clínquer.

⁹A substituição do coque mineral utilizado nas usinas integradas deve ser feita de forma indireta, estimulando que os fornos elétricos do País consumam ferro-gusa produzido com carvão vegetal no limite da viabilidade técnica, e liberando sucata metálica para utilização nas usinas integradas em substituição ao coque” (Mckinsey, 2009).



ordem), e atingimento de potenciais indicados nos estudos da CNI (2010), que foram incorporados progressivamente até 2030. Foram incorporadas ações de eficiência energética que não apresentam retorno econômico (custo de abatimento positivo). A matriz de consumo final até 2020 é aquela indicada no PDE 2020 e para 2021 em diante, ocorre substituição de fontes energéticas e utilização de material alternativo.

Para processos industriais, a construção do Cenário C leva em conta a adoção de mudanças dos processos industriais, incorporando soluções orientadas à redução de emissões de GEE, tais como: a utilização de SO_2 em substituição ao SF_6 na produção de magnésio; utilização de nova geração de catalisadores na produção de etileno; introdução de tecnologias de destruição térmica na fabricação de ácido adípico, com redução nas emissões de N_2O ; otimização de redução catalítica e decomposição do N_2O , na fabricação de ácido nítrico; modernização de plantas produtoras de amônia e utilização de fontes de hidrogênio com menor teor de carbono; utilização de materiais compostos na produção de cimento, reduzindo as emissões associadas à calcinação de matérias primas; construção de novas plantas de redução de minério de ferro, reduzindo as perdas de carbono especialmente nas fases de sinterização e aplicação de tecnologias de redução direta; modernização de plantas de produção de alumínio, com utilização de sistemas de controle informatizados ou utilização de sistemas de injeção controlada de alumina; e aplicação de tecnologias de captura e sequestro de carbono (CCS), em processos específicos como na produção de amônia, cimento e siderurgia. São também alocadas ao setor industrial a redução das emissões de SF_6 e gases refrigerantes, devido a redesenho de equipamentos e técnicas mais avançadas de coleta destes gases em atividades de manutenção.

5.2 Resultados dos Cenários

A tabela a seguir apresenta resultados consolidados para o Cenário A.

Tabela 22 Emissões do Cenário A, do setor industrial por fonte, até 2030 (Mt CO₂eq)

Fonte de emissão	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Cimento	59	24	81	24	93	25	107	25
Ferro-gusa e aço	63	26	91	27	106	28	123	29
Ferroligas	2	1	3	1	3	1	4	1
Mineração e pelotização	17	7	23	7	25	7	28	7
Não-ferrosos e outros metalúrgicos	14	6	18	6	20	5	23	5
Química	49	20	60	18	67	18	76	18
Alimentos e bebidas	6	3	9	3	10	3	11	3
Têxtil	2	1	3	1	3	1	3	1
Papel e celulose	7	3	10	3	11	3	12	3
Cerâmica	8	3	11	3	12	3	13	3
Outras indústrias	17	7	23	7	26	7	29	7
Total	242	100	331	100	377	100	429	100

Fonte: Autores.

Para o cenário B, os resultados para as ações previstas estão representados na tabela a seguir.

Tabela 23 Ações de mitigação no setor industrial, do Cenário B em relação ao A, até 2030 (Mt CO₂eq)

Ação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Eficiência energética	5,4	96	6,9	47	10,1	51	13,7	54
Reciclagem (Cimento)	0,2	4	0,5	3	0,9	5	1,4	6
Incremento do uso de carvão vegetal	0,0	0	7,4	50	8,7	44	10,2	40
Total	5,6	100	22,4	100	38,0	100	31,8	100

Fonte: Autores

As emissões estimadas para este Cenário são apresentadas na tabela a seguir.

Tabela 24 Emissões do Cenário B, do setor industrial por fonte, até 2030 (Mt CO₂eq)

Fonte de emissão	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Cimento	58	24	78	25	88	26	103	26
Ferro-gusa e aço	63	27	82	27	95	28	112	28
Ferroligas	2	1	3	1	3	1	3	1
Mineração e pelotização	16	7	21	7	22	6	25	6
Não-ferrosos e outros met.	13	6	17	6	19	5	22	6
Química	47	20	57	18	61	18	72	18
Alimentos e bebidas	6	3	8	3	9	3	10	3
Têxtil	2	1	3	1	3	1	3	1
Papel e celulose	6	3	9	3	10	3	11	3
Cerâmica	7	3	9	3	10	3	11	3
Outras indústrias	16	7	21	7	22	6	25	6
Total	237	100	309	100	339	100	398	100

Fonte: Autores

Em comparação ao Cenário B, são esperados os seguintes resultados das ações de mitigação:

Tabela 25 Ações de mitigação no setor industrial do Cenário C em relação ao B, até 2030 (Mt CO₂eq)

Ação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Produção de amônia (novas tecnologias)	0	0	0,7	2	1,6	3	2,8	3
Produção de etileno (uso de catalisadores)	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)	0	0	1,8	4	4,3	8	7,7	9
Produção de ferro e aço (novas tecnologias)	0	0	4,9	11	11,6	23	20,5	23
Produção de alumínio (informatização de sistemas de controle)	0	0	0,7	2	1,6	3	2,9	3
Produção de ácido adípico (destruição térmica de N ₂ O)	0	0	2,0	5	4,8	9	8,5	10
Produção de ácido nítrico (decomposição de N ₂ O)	0	0	0,0	0	0,2		0,4	0
Produção de magnésio (subst. de SF ₆ por SO ₂)	0	0	0,0	0	0,2		0,4	0

Ação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Redução de fugas de SF ₆	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Redução de vazamentos (Refrigeração)	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Produção de cimento (CCS)	0	0	0,4	0	0,9	2	1,5	2
Produção de amônia (CCS)	0	0	1,4	3	3,4	7	5,9	7
Produção de ferro e aço (CCS)	0	0	4,9	11	11,6	22	20,5	23
Eficiência Energética	10,9	100	27,2	61	11,3	22	17,1	19
Total	10,9	100	44,3	100	51,6	100	88,2	100

Fonte: Autores

Em comparação ao Cenário A, são esperados os seguintes resultados:

Tabela 26 Ações de mitigação no setor industrial do Cenário C em relação ao A, até 2030 (Mt CO₂eq)

Ação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Eficiência energética	16,3	99	34,1	52	21,4	24	30,8	26
Reciclagem (cimento)	0,2	1	0,5	1	0,9	1	1,4	1
Incremento do uso de carvão vegetal	0	0	7,4	11	8,7	10	10,2	9
Produção de amônia (novas tecnologias)	0	0	0,7	1	1,6	2	2,8	2
Produção de etileno (novas tecnologias)	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)	0	0	1,8	3	4,3	5	7,7	6
Produção de ferro e aço (novas tecnologias)	0	0	4,9	8	11,6	13	20,5	17
Produção de alumínio (informatização de sistemas de controle)	0	0	0,7	1	1,6	2	2,9	2
Produção de ácido adípico (destruição térmica de N ₂ O)	0	0	2,0	3	4,8	5	8,5	7
Produção de ácido nítrico (decomposição de N ₂ O)	0	0	0,0	0	0,2	0	0,4	0
Produção de magnésio (subst. de SF ₆ por SO ₂)	0	0	0,0	0	0,2	0	0,4	0
Redução de fugas de SF ₆	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0

Ação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Redução de vazamentos (refrigeração)	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Produção de cimento (CCS)	0	0	0,4	1	0,9	1	1,5	1
Produção de amônia (CCS)	0	0	1,4	2	3,4	4	5,9	5
Produção de ferro e aço (CCS)	0	0	4,9	8	11,6	13	20,5	17
Total	16,4	100	65,0	100	89,6	100	119,9	100

Fonte: Autores

As emissões previstas para o Cenário C são sumarizadas a seguir.

Tabela 27 Emissões do setor industrial do Cenário C, por fonte, até 2030 (Mt CO₂eq)

Fonte de emissão	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Cimento	56	25	72	27	82	28	93	30
Ferro-gusa e aço	62	27	70	26	70	24	68	22
Ferroligas	2	1	2	1	2	1	3	1
Mineração e pelotização	15	7	17	7	20	7	23	7
Não-ferrosos e outros met.	12	5	14	5	16	5	17	5
Química	44	20	46	17	48	17	49	16
Alimentos e bebidas	6	2	7	3	8	3	9	3
Têxtil	2	1	2	1	2	1	3	1
Papel e celulose	6	3	8	3	9	3	10	3
Cerâmica	7	3	8	3	9	3	11	3
Outras indústrias	15	7	19	7	22	8	25	8
Total	226	100	265	100	287	100	309	100

Fonte: Autores

5.3 Custos de Abatimento

A redução total a ser alcançada em cada cenário e os respectivos custos podem ser observados a seguir.

Tabela 28 Redução total de emissões da indústria e custos associados

Ação de mitigação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
Cenário B em relação ao Cenário A					
(2011 – 2020)					
Eficiência energética	-57,20	67,8	-3.876	67,8	-3.876
Uso de material reciclado (cimento)	-57,20	2,4	-140	70,2	-4.016
Incremento do uso de carvão vegetal na siderurgia	8,90	32,3	288	102,5	-3.728
(2021 – 2030)					
Eficiência energética	-57,20	231,3	-13.231	231,3	-13.231
Uso de material reciclado (cimento)	-57,20	9,5	-544	240,8	-13.776
Incremento do uso de carvão vegetal na siderurgia	8,90	88,8	790	329,6	-12.986
(2011 – 2030)					
Eficiência energética	-57,20	299,1	-17.107	299,1	-17.107
Uso de material reciclado (cimento)	-57,20	12,0	-684	311,0	-17.791
Incremento do uso de carvão vegetal na siderurgia	8,90	121,1	1.078	432,1	-16.713
Cenário C em relação ao Cenário B					
(2011 – 2020)					
Produção de etileno (novas tecnologias)	-32,40	0	0	0	0
Produção de amônia (novas tecnologias)	-32,40	2	-63	2	-63
Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)	-23,40	5	-120	7	-182
Produção de ferro e aço	7,20	14	97	21	-85
Produção de celulose	20,00	0	0	21	-85
Indústria do alumínio (informatização de sistemas de controle)	60,00	2	116	23	31
Produção de magnésio: substituição de SF ₆ por SO ₂	60,00	0	15	23	46
Produção de ácido adípico: destruição térmica	60,00	6	347	29	393



Ação de mitigação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
Produção de ácido nítrico	60,00	0	16	29	409
Redução de fugas de SF ₆ em equipamentos elétricos	60,00	0	0	29	409
Refrigeração (redução de vazamentos)	70,00	0	0	29	409
CCS – Produção de cimento	72,00	1	74	30	482
CCS – Produção de amônia	77,40	4	311	34	794
CCS – Produção de ferro e aço	82,80	14	1.121	47	1.915
Eficiência energética	237,70	131	31.088	178	33.003
(2021 – 2030)					
Produção de etileno (novas tecnologias)	-32,40	0	-1	0	-1
Produção de amônia (novas tecnologias)	-32,40	18	-575	18	-575
Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)	-23,40	48	-1.116	65	-1.691
Produção de ferro e aço	7,20	128	918	193	-773
Produção de celulose	20,00	0	0	193	-773
Indústria do alumínio (informatização de sistemas de controle)	60,00	18	1.082	211	309
Produção de magnésio: substituição de SF ₆ por SO ₂	60,00	2	138	213	446
Produção de ácido adípico: destruição térmica	60,00	53	3.184	266	3.630
Produção de ácido nítrico	60,00	2	148	269	3.778
Redução de fugas de SF ₆ em equipamentos elétricos	60,00	0	1	269	3.778
Refrigeração (redução de vazamentos)	70,00	0	1	269	3.779
CCS – Produção de cimento	72,00	10	687	278	4.466
CCS – Produção de amônia	77,40	37	2.859	315	7.326
CCS – Produção de ferro e aço	82,80	128	10.558	443	17.883



Ação de mitigação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
Eficiência energética	237,70	163	38.800	606	56.684
(2011 – 2030)					
Produção de etileno (novas tecnologias)	-32,40	0	-1	0	-1
Produção de amônia (novas tecnologias)	-32,40	20	-637	20	-638
Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)	-23,40	53	-1.235	72	-1.873
Produção de ferro e aço	7,20	141	1.016	214	-858
Produção de celulose	20,00	0	0	214	-858
Indústria do alumínio (informatização de sistemas de controle)	60,00	20	1.198	233	340
Produção de magnésio: substituição de SF ₆ por SO ₂	60,00	3	152	236	493
Produção de ácido adípico: destruição térmica	60,00	59	3.530	295	4.023
Produção de ácido nítrico	60,00	3	163	298	4.186
Redução de fugas de SF ₆ em equipamentos elétricos	60,00	0	1	298	4.187
Refrigeração (redução de vazamentos)	70,00	0	1	298	4.188
CCS – Produção de cimento	72,00	11	760	308	4.948
CCS – Produção de amônia	77,40	41	3.171	349	8.119
CCS – Produção de ferro e aço	82,80	141	11.679	490	19.798
Eficiência energética	237,70	294	69.889	784	89.686
Cenário C em relação ao Cenário A					
(2011 – 2020)					
Uso de material reciclado (cimento)	-57,20	2	-140	2	-140
Produção de amônia (novas tecnologias)	-32,40	2	-63	4	-202
Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)	-23,40	5	-120	9	-322
Produção de ferro e aço	7,20	14	97	23	-224
Incremento do uso de carvão vegetal na siderurgia	8,90	32	288	55	64
Produção de celulose	20,00	0	0	55	64



Ação de mitigação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
Indústria do alumínio (informatização de sistemas de controle)	60,00	2	116	57	180
Produção de magnésio: substituição de SF ₆ por SO ₂	60,00	0	15	58	194
Produção de ácido adípico: destruição térmica	60,00	6	347	63	541
Produção de ácido nítrico	60,00	0	16	64	557
Redução de fugas de SF ₆ em equipamentos elétricos	60,00	0	0	64	557
Refrigeração (redução de vazamentos)	70,00	0	0	64	557
CCS – Produção de cimento	72,00	1	74	65	631
CCS – Produção de amônia	77,40	4	311	69	942
CCS – Produção de ferro e aço	82,80	14	1.121	82	2.063
Eficiência energética	137,06	199	27.212	281	29.275
(2021 – 2030)					
Uso de material reciclado (cimento)	-57,2	10	-544	10	-544
Produção de etileno (novas tecnologias)	-32,40	0	-1	10	-545
Produção de amônia (novas tecnologias)	-32,40	18	-575	27	-1.119
Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)	-23,40	48	-1.116	75	-2.235
Produção de ferro e aço	7,20	128	918	202	-1.317
Incremento do uso de carvão vegetal na siderurgia	8,90	89	790	291	-527
Produção de celulose	20,00	0	0	291	-527
Indústria do alumínio (informatização de sistemas de controle)	60,00	18	1.082	309	555
Produção de magnésio: substituição de SF ₆ por SO ₂	60,00	2	138	312	692
Produção de ácido adípico: destruição térmica	60,00	53	3.184	365	3.876
Produção de ácido nítrico	60,00	2	148	367	4.024
Redução de fugas de SF ₆ em equipamentos elétricos	60,00	0	1	367	4.024

Ação de mitigação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)	
Refrigeração (redução de vazamentos)	70,00	0		1	367	4.025
CCS – Produção de cimento	72,00	10		687	377	4.712
CCS – Produção de amônia	77,40	37		2.859	414	7.572
CCS – Produção de ferro e aço	82,80	128		10.558	541	18.129
Eficiência energética	64,81	395		25.569	936	43.698
(2011 – 2030)						
Uso de material reciclado (cimento)	-57,20	10		-544	10	-544
Produção de etileno (novas tecnologias)	-32,40	0		-1	10	-545
Produção de amônia (novas tecnologias)	-32,40	20		-637	29	-1.182
Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)	-23,40	53		-1.235	82	-2.418
Produção de ferro e aço	7,20	141		1.016	223	-1.402
Incremento do uso de carvão vegetal na siderurgia	8,90	121		1.078	344	-324
Produção de celulose	20,00	0		0	344	-324
Indústria do alumínio (informatização de sistemas de controle)	60,00	20		1.198	364	874
Produção de magnésio: substituição de SF ₆ por SO ₂	60,00	3		152	367	1.026
Produção de ácido adípico: destruição térmica	60,00	59		3.530	425	4.557
Produção de ácido nítrico	60,00	3		163	428	4.720
Redução de fugas de SF ₆ em equipamentos elétricos	60,00	0		1	428	4.721
Refrigeração (redução de vazamentos)	70,00	0		1	428	4.722
CCS – Produção de cimento	72,00	11		760	439	5.482
CCS – Produção de amônia	77,40	41		3.171	480	8.653
CCS – Produção de ferro e aço	82,80	141		11.679	621	20.331
Eficiência energética	88,99	593		52.781	1.214	73.113

Fonte: Autores

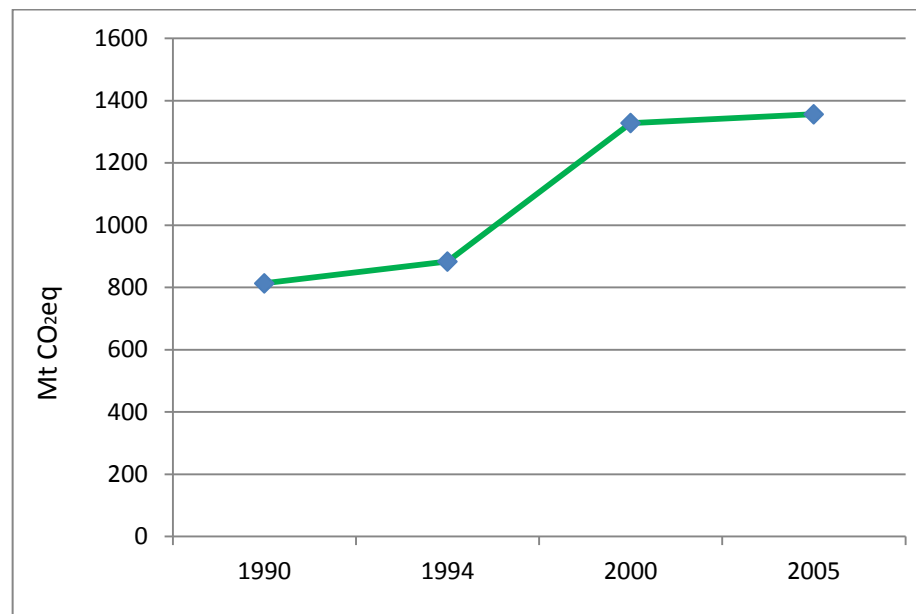


6. Mudança do Uso do Solo e Floresta

As florestas tropicais armazenam, aproximadamente, 200 bilhões de toneladas de carbono (IPCC, 2000). Atualmente as emissões mundiais do desmatamento são estimadas entre 20-25% das emissões totais de GEE. O Brasil responde por 2,3% das emissões globais de GEE, mas essa porcentagem sobe até 5% das emissões globais, quando o setor de mudança do uso do solo e floresta é considerado (Banco Mundial, 2009).

O Brasil possui a segunda maior área de florestas do mundo, ocupando 56% do território nacional (4,7 milhões de km²). Esta cobertura vegetal está dividida em seis biomas: Amazônia com maior superfície alcançando, 4,19 milhões de km²; Cerrado com 2,04 milhões de km²; Mata Atlântica com 1,11 milhões de km²; Caatinga com 0,84 milhões de km²; Pampa com 0,17 milhões de km²; e Pantanal com 0,15 milhões de km². Sua cobertura vegetal original tem sido diminuída desde o descobrimento do Brasil, de modo que atualmente o bioma Mata Atlântica tem menos de 8% da sua cobertura original. Os biomas Amazônia e Cerrado ainda têm vasta cobertura original e foram suprimidos em 18% e 20%, respectivamente (Banco Mundial, 2009).

A principal fonte de emissão de GEE deste setor é a mudança dos estoques de biomassa lenhosa e conversão de florestas que se dá pelo desmatamento, cujas causas principais são a exploração madeireira, a expansão da pecuária extensiva, a agricultura de grande escala e a produção de carvão vegetal. Em 2005, as emissões líquidas deste setor somaram 1,35 bilhões de toneladas de CO₂eq (Brasil, 2010), das quais 95% CO₂, quase totalmente originados do desmatamento. A este setor atribuem-se 61% das emissões totais brasileiras, sendo os biomas mais emissores o Amazônia (65%) e o Cerrado (24%). A figura a seguir, apresenta os resultados do Segundo Inventário Brasileiro.



Fonte: a partir de Brasil (2010)

Figura 4 Histórico das emissões de mudança de uso do solo e florestas (Mt CO₂eq)

O bioma Amazônia observou picos de desmatamento em 1995 e 2004, onde as áreas atingidas foram de 29.059 e 27.400 km², respectivamente. A partir de 2005 se registrou um decréscimo no desflorestamento do Amazonas, apresentando o menor valor em 2007, com uma superfície cerca de 11.500 km². Segundo dados atuais do INPE a taxa de desmatamento em 2008 foi de 12.911 km², e em 2009 ficou abaixo dos 8.000 km². No bioma Cerrado a taxa de desmatamento anual médio que era de 18,02 mil km²/ano no período 1994-2002 caiu no período de 2002-2008 para 14,1 mil km²/ano (MMA, 2009).

Para se estimar as emissões do setor de florestas, primeiramente identificaram-se as áreas a serem desmatadas e/ou a serem reflorestadas em cada cenário a ser analisado e, em seguida, estimou-se o conteúdo médio de carbono em cada uma destas áreas.

No que se referem a custos de mitigação, os valores utilizados são, principalmente, o custo de oportunidade da melhor utilização alternativa do solo em cada um dos biomas estudados e o custo de manutenção da floresta em pé ou o estoque de carbono.

A construção dos cenários futuros de emissões/remoções de GEE para o Brasil utilizou, principalmente, o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) de 2008 (Brasil, 2008) e instituída pela Lei nº 12.187 da Política Nacional de Mudança do Clima



(Brasil, 2009) e regulamentada pelo Decreto nº 7.390 (Brasil, 2010c), além do documento da contribuição brasileira para a mitigação da mudança climática com as respectivas NAMA's, apresentado na COP 15 em Copenhague, como base para as projeções até 2030. Também, foram incorporadas outras atividades possíveis de serem aplicadas no País para o incremento das reduções e/ou remoções de GEE neste setor, e utilizadas em outros estudos como o elaborado pela McKinsey (2009) e do Banco Mundial (Gouvello et al., 2010) entre outras iniciativas.

6.1 Hipóteses dos Cenários

Cenário A

Para este cenário de emissões, assume-se que não haverá medidas de contenção do desmatamento no Brasil. Portanto, seguem as tendências da linha de base do desflorestamento histórico no País, as quais foram utilizadas e apresentadas pelo Ministério de Meio Ambiente (MMA), na COP 15, em Copenhague.

As premissas deste cenário são as seguintes:

- Desmatamento de 19.535 Km²/ano de superfícies (média do desmatamento – PRODES de 1996-2005) para o bioma Amazônia.
- Desmatamento de 15.700 km²/ano no bioma Cerrado (média do desmatamento de 1996-2005).
- Desmatamento de 17.081 km²/ano nos demais biomas brasileiros (Caatinga, Pantanal e Mata Atlântica).

Cenário B

Para este cenário utilizou-se o preconizado no Plano Nacional sobre Mudança do Clima (Brasil, 2008) para o período 2010-2020, onde as medidas de mitigação das emissões de GEE do setor podem ser realizadas através da redução do desflorestamento na Amazônia e no Cerrado e aumento ou expansão das florestas plantadas. Para os demais biomas se manteve sem modificação a superfície desflorestada seguindo a linha de base.

As ações de mitigação deste cenário são as seguintes:



- Redução do Desmatamento na Amazônia em 80% em relação à linha de base de 19.535 km², em 2020.
- Redução do Desmatamento no Cerrado em 40% em relação à linha de base de 15.700 km², em 2020.
- Expansão das florestas plantadas em 3 milhões de hectares até 2020 (passando de 6,3 milhões de hectares em 2009, para 9,3 milhões de hectares, em 2020).

Após 2020, no caso de desmatamento, estas metas continuam constantes, ou seja, se manteria a quantidade de superfície de vegetação suprimida nestes dois principais biomas até 2030. Em relação à expansão das florestas plantadas, principalmente da espécie Eucalipto, a área plantada passará a 11,2 milhões de hectares, em 2030, conforme as projeções de aumento na produção das indústrias de Celulose e Papel e Siderurgia (Gouvello et al., 2010).

Cenário C

Com o objetivo da redução máxima possível das emissões de GEE no Brasil, para este Cenário C, se tem como pressupostos a implantação de medidas mais intensivas, em relação ao Cenário B, na diminuição do desmatamento até o fim do período estudado. Também, se pressupõe o aumento do sequestro de carbono por sumidouros florestais através de ações de florestamento e reflorestamento.

As hipóteses assumidas para este Cenário C são:

- Redução do desflorestamento na Amazônia em duas fases, a primeira de 85% de redução até 2020 e a segunda de 90% de redução, em relação à linha de base de 19.500 km², em 2030.
- Redução do desmatamento no Cerrado em duas fases, a primeira de 45% de redução até 2020 e a segunda de 60% em 2030, em relação à linha de base de 15.700 km².
- Redução total (100%) do desmatamento no bioma Mata Atlântica em 2030, em relação ao desmatamento em 2005, segundo dados do MMA.



- Revegetação de áreas de Reserva Legal, Áreas de Preservação Permanente (APP) e a criação de corredores ecológicos, por intermédio de ações de recuperação de áreas degradadas, no bioma da Mata Atlântica. Seguindo o preconizado pelas metas do Pacto pela Restauração da Mata Atlântica¹⁰, onde se pretende o plantio de 15 milhões de hectares até 2050 com fins de restauração florestal nativa, isto significaria o plantio anual de 370 mil hectares neste bioma. Portanto, em 2030, estariam estabelecidos 7,5 milhões de hectares com cobertura florestal.
- Expansão das florestas plantadas, principalmente da espécie Eucalipto, em 3 milhões de hectares até 2020 e mais 3 milhões de hectares até 2030 (passando de 6,3 milhões de hectares em 2009, para 12,3 milhões de hectares em 2030).

Para este cenário não foram consideradas reduções no desmatamento nos biomas Caatinga e Pantanal. Entende-se que são biomas de grande importância no que se refere a condições ambientais e de biodiversidade ecológica, mas do ponto de vista das emissões de carbono, apresentam valores marginais no total das emissões de GEE, devido ao baixo fator de carbono estocado na sua cobertura vegetal e, portanto, não foram incluídas nas ações de mitigação.

No caso das florestas plantadas utilizou-se como hipótese, o possível aumento na produção das indústrias de Celulose e Papel e principalmente Siderurgia no País, com o fim de aumentar a participação significativa do carvão vegetal renovável na produção de ferro-gusa, isto validado pelo preconizado no PNMC.

6.2 Resultados dos Cenários

Emissões do Cenário A

Os valores de referência para as emissões de desmatamento no País até 2030 estão apresentados na tabela a seguir.

¹⁰O Pacto pela Restauração da Mata Atlântica tem como missão articular instituições públicas e privadas, governos, empresas e proprietários, com o objetivo de integrar seus esforços e recursos para a geração de resultados em conservação da biodiversidade, geração de trabalho e renda na cadeia produtiva da restauração, manutenção, valoração e pagamento de serviços ambientais e adequação legal das atividades agropecuárias nos 17 estados do bioma (<http://www.pactomataatlantica.org.br>).

Tabela 29 Emissões de mudança do uso do solo e florestas no Cenário A, por fonte, até 2030 (Mt CO₂eq)

Fonte de Emissão	2015	2020	2025	2030
	Mt CO ₂ eq	Mt CO ₂ eq	Mt CO ₂ eq	Mt CO ₂ eq
Desmatamento	1404	1404	1404	1404

Fonte: Autores

Emissões do Cenário B

Os valores do Cenário B para as ações de mitigação até 2030 estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 30 Ações de mitigação de mudanças do uso do solo e florestas no Cenário B em relação ao A, até 2030 (Mt CO₂eq)

Ação de Mitigação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Redução do Desmatamento	592	88	887	86	887	84	887	80
Expansão das florestas plantadas	78	12	140	14	173	16	222	20
Total	670	100	1027	100	1060	100	1109	100

Fonte: Autores

Os valores das emissões de desmatamento no País no Cenário B, até 2030, estão apresentados na tabela a seguir e foram obtidos reduzindo-se as emissões do Cenário A, com as ações de mitigação preconizadas neste cenário.

Tabela 31 Emissões de mudanças do uso do solo e florestas do Cenário B, por bioma, até 2030 (Mt CO₂eq)

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Amazonas	442	54	190	37	190	37	190	37
Cerrado	237	29	194	38	194	38	194	38
Outros Biomas	133	16	133	26	133	26	133	26
Total	812	100	517	100	517	100	517	100

Fonte: Autores

Emissões do Cenário C

Os valores que podem ser alcançados pelo Cenário C para as ações de mitigação até 2030 em relação ao Cenário B estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 32 Ações de mitigação do Cenário C em relação ao B, até 2030 (Mt CO₂eq)

Ação de Mitigação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Redução Desmat.	85	44	128	39	184	38	239	372
Reflor. APP e RL na Mata Atlântica	31	16	62	19	93	19	124	19
Remoções das florestas plantadas	78	40	140	42	202	42	279	44
Total	194	100	330	100	479	100	642	100

Fonte: Autores

Os valores que podem ser alcançados pelo Cenário C para as ações de mitigação até 2030, em relação ao Cenário A, estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 33 Ações de mitigação de mudanças do uso do solo e florestas do Cenário C em relação ao A, até 2030 (Mt CO₂eq)

Por Fonte	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Redução Desmat.	677	78	1.015	75	1.071	70	1.126	64
Reflor. APP e RL na Mata Atlântica	31	4	62	5	93	6	124	7
Remoções de carbono das florestas plantadas	156	18	280	21	375	24	501	29
Total	864	100	1357	100	1539	100	1.751	100

Fonte: Autores

Os valores das emissões de desmatamento no País, no Cenário C até 2030 estão apresentados na tabela a seguir e foram obtidos reduzindo-se as emissões do Cenário A com as ações de mitigação preconizadas nos cenários B e C.

Tabela 34 Emissões de mudanças do uso do solo e florestas do Cenário C, por bioma, até 2030 (Mt CO₂eq)

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Amazonas	411	57	142	37	118	36	95	34
Cerrado	215	30	161	42	145	44	129	47
Mata Atlântica	47	7	32	8	16	5	0	0
Outros Biomas	54	7	54	14	54	16	54	19
Total	727	100	389	100	333	100	278	100

Fonte: Autores

6.3 Custos de Abatimento

As medidas de mitigação do setor de mudança do uso do solo, no Cenário B proporcionarão uma grande redução de emissões, conforme pode ser observado na tabela a seguir. Ressalte-se o alto potencial de mitigação da redução do desmatamento na Amazônia e seus baixos custos.

Tabela 35 Redução total de emissões de mudança do uso de solo e florestas e custos associados

Ação de mitigação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
Cenário B em relação a Cenário A					
(2011 - 2020)					
Redução do desmatamento na Amazônia	2,30	5.558,5	12.785	5.558,5	12.785
Redução do desmatamento no Cerrado	5,10	947,1	4.830	6.505,6	17.615
Expansão das florestas plantadas	10,30	791,6	8.153	7.297,2	25.768
(2021-2030)					
Redução do desmatamento na Amazônia	2,30	7.579,8	17.433	7.579,8	17.433
Redução do desmatamento no Cerrado	5,10	1.291,6	6.587	8.871,3	24.020
Expansão das florestas plantadas	10,30	1.828,9	18.838	10.700,2	42.858
(2011 - 2030)					
Redução do desmatamento na Amazônia	2,30	13.138,3	30.218	13.138,3	30.218



Ação de mitigação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
Redução do desmatamento no Cerrado	5,10	2.238,7	11.417	15.377,0	41.635
Expansão das florestas plantadas	10,30	2.620,5	26.991	17.997,4	68.626
Cenário C em relação ao Cenário B					
(2011 - 2020)					
Redução do desmatamento na Amazônia	2,00	347,4	695	347,4	695
Redução do desmatamento no Cerrado	4,80	236,8	1.137	584,2	1.831
Redução do desmatamento na Mata Atlântica	7,30	348,2	2.542	932,4	4.373
Revegetação de corredores ecológicos no bioma Mata Atlântica	165,30	340,6	56.305	1.273,0	60.678
Expansão das florestas plantadas	10,40	791,6	8.232	2.064,6	68.911
(2021-2030)					
Redução do desmatamento na Amazônia	2,00	734,3	1.469	734,3	1.469
Redução do desmatamento no Cerrado	4,80	500,5	2.402	1.234,8	3.871
Redução do desmatamento na Mata Atlântica	7,30	648,9	4.737	1.883,7	8.608
Revegetação de corredores ecológicos no bioma Mata Atlântica	165,30	959,9	158.677	2.843,7	167.285
Expansão das florestas plantadas	10,40	2.141,9	22.276	4.985,6	189.561
(2011 - 2030)					
Redução do desmatamento na Amazônia	2,00	1.081,7	2.163	1.081,7	2.163
Redução do desmatamento no Cerrado	4,80	737,3	3.539	1.819,0	5.702
Redução do desmatamento na Mata Atlântica	7,30	997,2	7.279	2.816,1	12.982
Revegetação de corredores ecológicos no bioma Mata Atlântica	165,30	1.300,6	214.982	4.116,7	227.964
Expansão das florestas plantadas	10,40	2.933,5	30.508	7.050,2	258.472
Cenário C em relação ao Cenário A					
(2011 - 2020)					
Redução do desmatamento na Amazônia	2,28	5.905,9	13.479	5.905,9	13.479
Redução do desmatamento no Cerrado	5,03	1.183,9	5.967	7.089,8	19.446
Redução do desmatamento na Mata Atlântica	7,30	348,2	2.542	7.438,0	21.988

Ação de mitigação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
Expansão das florestas plantadas	10,35	1.583,1	16.386	9.021,2	38.374
Revegetação de corredores ecológicos no bioma Mata Atlântica	165,30	340,6	56.305	9.361,8	94.679
(de 2021 a 2030)					
Redução do desmatamento na Amazônia	2,28	8.314,1	18.902	8.314,1	18.902
Redução do desmatamento no Cerrado	5,03	1.792,0	8.989	10.106,1	27.891
Redução do desmatamento na Mata Atlântica	7,30	648,9	4.737	10.755,0	32.629
Expansão das florestas plantadas	10,35	3.970,8	41.113	14.725,8	73.742
Revegetação de corredores ecológicos no bioma Mata Atlântica	165,30	959,9	158.677	15.685,8	232.419
(2011 - 2030)					
Redução do desmatamento na Amazônia	2,28	14.220,0	32422	14.220,0	32.422
Redução do desmatamento no Cerrado	5,03	2.976,0	14969	17.196,0	47.391
Redução do desmatamento na Mata Atlântica	7,30	997,2	7280	18.193,2	54.670
Expansão das florestas plantadas	10,35	5.553,9	57483	23.747,1	112.153
Revegetação de corredores ecológicos no bioma Mata Atlântica	165,3	1.300,6	214.989	25.047,7	327.142

Fonte: Autores

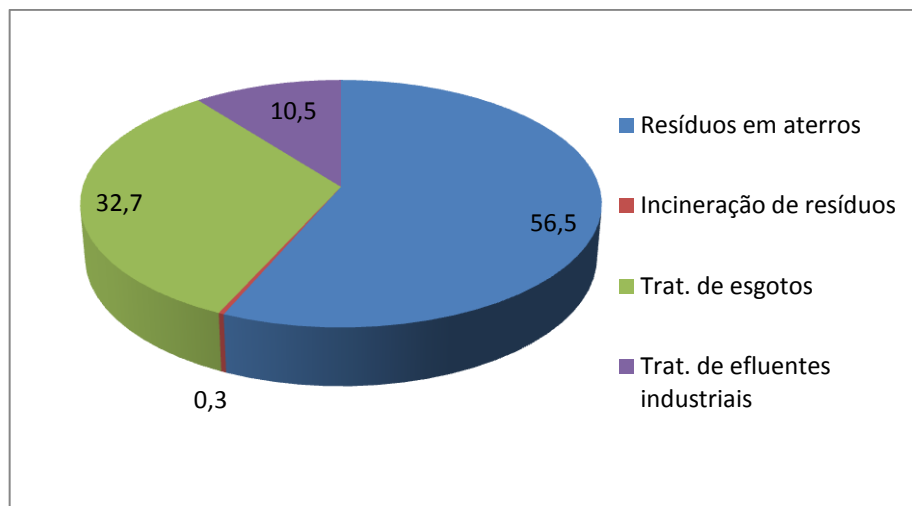


7. Resíduos

A matéria orgânica, quando disposta em condições de anaerobiose, forma biogás, composto em grande parte de CO_2 e CH_4 . Quando a matéria orgânica é renovável, o CO_2 por ser de origem biogênica e por vir a ser sequestrado da atmosfera por atividades agrícolas das quais se originou, não resulta em aumento do efeito estufa, pois é novamente sequestrado no ciclo do carbono. No caso do CH_4 , devido ao seu GWP¹¹, somente quando queimado e, portanto, transformado em CO_2 , também não resulta em aumento do efeito estufa. Assim, o setor de tratamento de resíduos, por lidar fundamentalmente com o tratamento e a disposição de matéria orgânica pode emitir GEE em maior ou menor escala, em função do nível de anaerobiose dos seus sistemas, e da transformação de CH_4 de origem biogênica em CO_2 .

Quando incinerados, os resíduos sólidos geram emissões de CO_2 , CH_4 e N_2O . No caso dos dois primeiros GEE, somente as emissões de origem não renovável devem ser contabilizadas pelas razões expostas acima. N_2O também se forma no caso dos esgotos domésticos, em função do conteúdo de nitrogênio na alimentação humana.

A figura a seguir apresenta a responsabilidade de cada destinação de resíduos para o ano de 2005 onde foram emitidas no total 41Mt CO_2eq (Brasil, 2010).



Fonte: Autores a partir de Brasil (2010)

Figura 5 Perfil atual das emissões de resíduos

¹¹O CH_4 tem poder de aquecimento global (GWP, sigla em inglês) 21 vezes superior ao CO_2 .



Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), Industriais (RSI) e de Saúde (RSS)

Um aterro sanitário pode ser considerado um grande biorreator, onde ocorre biodegradação da matéria orgânica, em ambiente predominantemente anaeróbio, gerando biogás. Note-se que os lixões também formam estes gases, mas em menor quantidade devido à sua pouca condição de anaerobiose. Portanto, quanto mais aterros vierem a substituir lixões, maiores as emissões de GEE se nada for feito para eliminá-las.

Em relação aos resíduos sólidos industriais (RSI), para os aterros industriais somente são encaminhados materiais inorgânicos, sendo muito difícil a formação de gases. Os resíduos de serviços de saúde (RSS) só são importantes para as emissões de GEE quando incinerados, principalmente pelo conteúdo de papéis e plásticos.

Esgotos Domésticos e Efluentes Industriais

Os esgotos domésticos e os efluentes industriais são fontes de emissão de biogás, da mesma forma que os RSU. São, também, fontes de N_2O , que pode ser produzido através da decomposição de compostos nitrogenados. As emissões de CO_2 não são consideradas por serem de origem renovável, como anteriormente mencionado. Os efluentes com alto teor de matéria orgânica, como os esgotos domésticos e aqueles das indústrias alimentícias, de bebidas e de papel e de algodão, têm um alto potencial para emissão de CH_4 . Ressalte-se que o aumento do tratamento de esgotos em condições anaeróbicas, resulta em maiores emissões de GEE em comparação com o lançamento em corpos hídricos como ocorre no caso da disposição de resíduos em aterros, em substituição a lixões.

Assim, para as estimativas de emissões do setor de resíduos como um todo, a análise obedeceu aos seguintes passos:

- Projeção da produção futura, comum aos três cenários considerados.
- Análise das opções de destinação e tratamento para cada cenário.
- Estimativa do teor de carbono e do potencial de formação de metano e de N_2O das opções de destinação e tratamento consideradas em cada cenário.
- Análise do custo de abatimento das opções de destinação e tratamento consideradas em cada cenário.



- Estimativa das emissões de cada cenário, com base no novo *mix* de modos de disposição e opções de tratamento que compõem cada cenário.

Para a estimativa da produção de RSU foi feita uma regressão com base em uma série histórica que correlaciona PIB, população e geração de resíduos. A partir da função obtida e das projeções de crescimento econômico e populacional e da taxa de resíduos gerados pela população (geração *per capita*) da ABRELPE (ABRELPE, 2008; 2009) foi estimada a produção de resíduos futura.

Quanto aos RSI, para a estimativa de sua quantidade futura, utilizaram-se os dados da ABRELPE (ABRELPE, 2008; 2009) sobre quantidade atual e considerou-se um crescimento à mesma taxa que o PIB industrial também a partir dos valores do cenário socioeconômico. Note-se que para aqueles que contêm restos orgânicos e outros materiais não perigosos, devido a não identificação de dados detalhados quanto a sua destinação, assumiu-se que têm o mesmo destino e a mesma composição dos RSU e, portanto, a estimativa de emissões segue a mesma metodologia destes.

No que se refere à incineração, a massa de RSS, de RSU e de RSI foi projetada a partir dos dados da ABRELPE (ABRELPE, 2008; 2009) e do Segundo Inventário Nacional de Emissões (Alves e Vieira, 2010) e considerando que o crescimento destes resíduos ao longo do tempo também seria proporcional ao crescimento do PIB.

Para esgoto doméstico e comercial, a projeção da quantidade de geração futura foi baseada no aumento da população e na taxa de geração de carga orgânica *per capita* no que se refere às emissões de metano e no aumento da população e na quantidade de proteína consumida *per capita* no que se refere às emissões de óxido nitroso.

A estimativa da produção de efluentes industriais foi realizada somente para os dez setores industriais que possuem maior carga orgânica em seus efluentes, já que juntos representam mais de 99% da carga orgânica industrial produzida no País (Alves e Vieira, 2010).

No que se referem a custos de abatimento, estes foram estimados para sistemas de destruição de metano e para tanto utilizadas as estimativas do estudo do Banco Mundial (Gouvello et al., 2010). Segundo este estudo, o custo de implantação de sistemas de captura e destruição de metano em aterros é de R\$ 26,00 por habitante e de

RS\$ 16,00 em estações de tratamento de esgotos (ETEs). Para ambos os casos, considerou-se uma expectativa de 20 anos de vida útil do empreendimento.

7.1 Hipóteses dos Cenários

Cenário A

Neste cenário, haveria a continuação das tendências observadas no passado com a alocação dos resíduos nos tipos diferentes de tratamento obedecendo à mesma proporção atual. Além disso, considerou-se não haver nenhuma captura adicional de metano, de modo a representar um cenário em que nenhuma intervenção é feita no setor para minimizar as emissões de GEE.

Cenário B

Resíduos sólidos: porquanto o Plano Nacional de Resíduos Sólidos previsto no Decreto nº 7.404, que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos, ainda não está pronto, não há ações específicas com metas e prazos estabelecidos para serem aplicados. Além disso, como nem no Decreto nº 7390 que regulamenta a Política Nacional sobre Mudança do Clima, nem no Acordo de Copenhague foram definidas ações específicas para este setor, optou-se por considerar o Cenário B como representativo da política de universalização do acesso aos serviços de manejo. Como não há ainda números que explicitem como esta universalização se dará, considerou-se que esta abrangência o serviço de coleta e disposição de resíduos não perigosos em aterros sanitários e ocorreria de maneira linear a partir do estágio em que se encontra em 2010 até atingir 100% em 2030. A destinação dos demais resíduos sólidos obedeceria à tendência observada no passado, portanto, nestes casos o Cenário B seria igual ao A.

Esgotos urbanos: o Cenário B se mantém igual ao A até 2020. De 2020 a 2030, considera-se a busca pela universalização do saneamento prevista na Lei Nacional de Saneamento Básico, sancionada em 2007 (BRASIL, 2007). Embora a lei estabeleça a implementação de um Plano Básico de Saneamento, este plano ainda não está pronto e, portanto, não há metas estabelecidas. Assim, assumiu-se que a fração de pessoas nas áreas urbanas com esgotamento sanitário inadequado – cujo esgoto não é coletado e é disposto em valas, fossas rudimentares ou corpos hídricos ou que nem possuem



esgotamento sanitário – diminui linearmente ao longo do período, enquanto essa mesma quantidade de esgoto passa a ser coletada e tratada por estações de tratamento, sendo 30% por reatores anaeróbios e 70% por lagoas facultativas¹². Assim, a quantidade de carga orgânica enviada para cada destino ou tratamento foi calculada a partir dessas proporções. A eficiência da queima do metano capturado nos sistemas de tratamento por reatores anaeróbios foi mantida em 50%, como no Cenário A.

Efluentes industriais: também não houve alterações nesse cenário em relação ao A, uma vez que o tratamento desse tipo de resíduo é obrigatório e de responsabilidade de cada indústria, e que dados sobre a geração de efluentes e a captura e queima de metano são escassos.

Cenário C

Resíduos sólidos: neste cenário é acrescentada a prática de captura e queima do metano gerado no cenário B, que cresce linearmente a partir de 2010, chegando a 100% em 2030. A incineração dos RSU, RSS e RSI nesse cenário se manteriam iguais a do Cenário A.

Esgotos urbanos: a construção do Cenário C levou em consideração a meta dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio de reduzir para 16,95% a população urbana sem esgotamento sanitário adequado até 2015 (PNUD, 2010). Para isso, considerou-se uma redução linear entre os anos de 2011 e 2015 das frações populacionais correspondentes a esgotamento não adequado, de forma a alcançar essa meta em 2015. A partir de 2015 até 2030, a redução linear dessas frações é continuada de forma que em 2030 elas sejam nulas e a universalização do saneamento para a população urbana seja alcançada. A quantidade de carga orgânica enviada para cada destino ou tratamento foi calculada como no Cenário B, porém no caso de estações com sistema de reator anaeróbio, foi atrelado um queimador de metano com eficiência máxima¹³.

Efluentes industriais: não houve alterações nesse cenário em relação ao A, pelos mesmos motivos explicados no Cenário B.

¹²Essas proporções foram calculadas de acordo com a divisão da população brasileira. Sabe-se que cerca de 30% da população brasileira vive em municípios com mais de 500 mil habitantes e o restante em municípios menores, de acordo com a Contagem 2007 do IBGE. Portanto, é razoável supor que nos municípios mais populosos é mais adequado usar um sistema de tratamento que, apesar de mais caro, ocupa menos espaço. Já para municípios menos populosos, pode-se usar um sistema que ocupe mais espaço e, portanto, de menor custo.

¹³Esta hipótese é irreal porquanto não existe queima de 100%. Tem finalidade apenas demonstrativa do alcance do cenário.

7.2 Resultados dos Cenários

Para o Cenário A, as emissões totais do setor de resíduos foram estimadas em cerca de 81 milhões de toneladas de CO₂eq no ano de 2030, conforme tabela a seguir.

Tabela 36 Emissões de resíduos do Cenário A, por fonte, até 2030 (kt CO₂eq)

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%
RSU em aterros	44366	65,7	48887	65,1	50630	63,8	49659	61,3
RSI em aterros	3634	5,4	4373	5,8	4790	6,0	4910	6,1
Incineração de RSU	0,3	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0
Incineração de RSI	170	0,3	211	0,3	252	0,3	301	0,4
Incineração de RSS	13	0,02	21,4	0,03	31	0,04	45	0,1
Esgotos	12016	17,8	12416	16,5	12744	16,1	12993	16,0
Efluentes	7349	10,9	9158	12,2	10929	13,8	13044	16,1
Total	67536	100	75066	100	79377	100	80951	100

Fonte: Autores

As emissões do setor de resíduos se ampliam no Cenário B conforme se amplia o acesso da população aos serviços de saneamento básico. O aumento das emissões seria de 11 Mt CO₂eq, conforme detalhado na tabela a seguir.

Tabela 37 Aumento de emissões de resíduos do Cenário B em relação ao A, até 2030 (kt CO₂eq)

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%
Ampliação dos serviços de destinação adequada de resíduos	680	100	2142	100	6293	97	10654	96
Ampliação dos serviços de tratamento adequado de esgotos	0	0	0	0	206	3	422	4
Total	680	100	2142	100	6498	820	11075	100

Fonte: Autores

Com o aumento dos serviços de coleta e tratamento de resíduos, as emissões totais do setor de resíduos para o Cenário B foram estimadas em cerca de 92 milhões de toneladas de CO₂eq em 2030, conforme tabela a seguir.

Tabela 38 Emissões de resíduos do Cenário B, por fonte, até 2030 (kt CO₂eq)

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%
RSU em aterros	45036	66,0	51028	66,1	56922	66,3	60313	65,5
RSI em aterros	3634	5,3	4373	5,7	4790	5,6	4910	5,3
Incineração de RSU	0,3	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0
Incineração de RSI	170	0,2	211	0,3	252	0,3	301	0,3
Incineração de RSS	13	0,02	21	0,03	31	0,04	45	0,05
Esgotos	12016	17,6	12416	16,1	12950	15,1	13414	14,6
Efluentes	7349	10,8	9158	11,9	10929	12,7	13044	14,2
Total	68216	100	77208	100	85875	100	92026	100

Fonte: Autores

No Cenário C, as emissões do Cenário B são mitigadas consideravelmente ao se evitá-las com a destruição do metano gerado¹⁴. Os valores referentes à mitigação que poderia ser alcançada neste cenário encontram-se na tabela a seguir.

Tabela 39 Ações de mitigação de resíduos do Cenário C em relação ao B, até 2030 (kt CO₂eq)

Ação de Mitigação	2015		2020		2025		2030	
	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%
Destruição de metano em aterros	1620	95,4	7025	96,3	18095	96,4	31854	96,7
Tratamento de esgoto e destruição de metano	78	4,6	269	3,7	677	3,6	1103	3,3
Total	1698	100	7294	100	18772	100	32956	100

Fonte: Autores

Portanto, com a redução alcançada neste cenário, as emissões totais do setor de resíduos foram estimadas em cerca de 59 milhões de toneladas de CO₂eq no ano de 2030, conforme detalhadas a seguir.

¹⁴ Quando ocorre a recuperação do metano com o aproveitamento energético e não somente a queima, esta medida torna-se ainda mais interessante. Uma simulação sobre a utilização de metano como energético encontra-se no setor de energia.

Tabela 40 Emissões de resíduos do Cenário C, por fonte, até 2030 (kt CO₂eq)

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%	kt CO ₂ eq	%
RSU em aterros	43647	65,6	44881	64,2	40553	60,0	31056	52,6
RSI em aterros	3402	5,1	3495	5,0	3064	4,6	2313	3,9
Incineração de RSU	0,3	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0
Incineração de RSI	170	0,3	211	0,3	252	0,4	301	0,5
Incineração de RSS	13	0,02	21	0,03	31	0,05	45	0,1
Esgotos	11938	17,9	12147	17,4	12274	18,3	12312	20,8
Efluentes	7349	11,0	9158	13,1	10929	16,3	13043	22,1
Total	66519	100	69914	100	67103	100	59070	100

Fonte: Autores

7.3 Custos de Abatimento

A tabela a seguir apresenta os resultados do Cenário C considerados os valores máximos de mitigação que podem ser alcançados e seus respectivos custos.

Tabela 41 Redução total de emissões de resíduos e custos associados

Ação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
Cenário C em relação ao Cenário B					
(2011 - 2020)					
Destruição de metano em aterros	10,03	26,1	262	26,1	262
Destruição de metano de ETEs	11,26	1,2	13	27,3	275
(2021 - 2030)					
Destruição de metano em aterros	10,03	198,0	1.986	198,0	1.986
Destruição de metano de ETEs	11,26	7,3	82	205,3	2.068
(2011 - 2030)					
Destruição de metano em aterros	10,03	224,1	2.248	224,1	2.248
Destruição de metano de ETEs	11,26	8,4	95	232,6	2.343

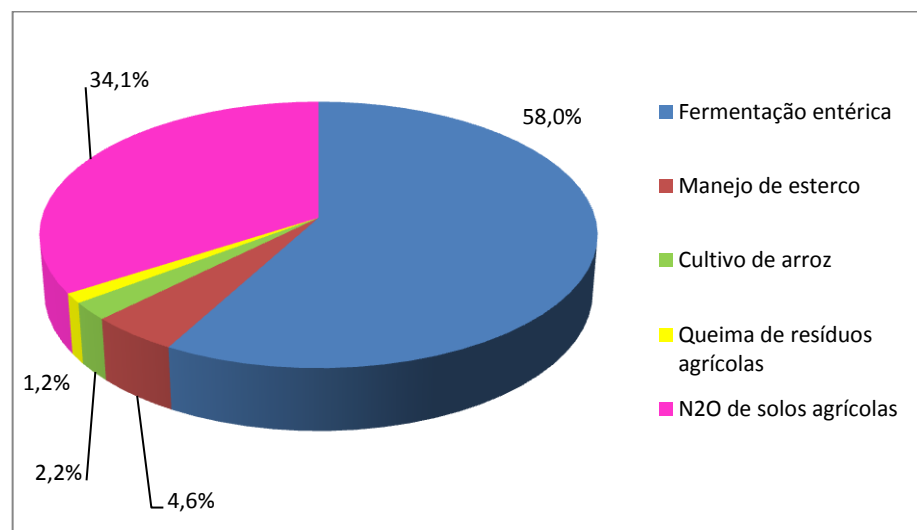
Fonte: Autores



8. Agropecuária

Os principais gases de efeito estufa associados às subatividades do setor agropecuário são o N_2O e o CH_4 .¹⁵ As emissões de N_2O ocorrem em função do nível de incorporação do N mineral no solo (aumento da disponibilidade de N), como resultado da aplicação de fertilizantes nitrogenados, mineralização do N de resíduos agrícolas abandonados ou aplicados no solo e a mineralização da própria matéria orgânica contida no solo. Além disso, emissões de N_2O são também decorrentes da adoção de práticas agrícolas como o processo de queima de resíduos vegetais em culturas de algodão herbáceo e cana-de-açúcar. Já na pecuária, a emissão de N_2O resulta das práticas de manejo de dejetos/esterco adotadas em criadouros. Por fim, destacam-se as emissões de metano (CH_4), cuja elevada quantidade aliada ao alto potencial de aquecimento global (21 vezes em relação ao CO_2) fazem deste gás o principal contribuinte das emissões de GEE no setor agropecuário. A emissão de CH_4 decorre, sobretudo, do processo de fermentação entérica em herbívoros ruminantes. Adicionalmente, contabilizam-se as emissões de metano decorrentes do processo de decomposição anaeróbica de dejetos de animais em confinamento, da queima de resíduos agrícolas e do cultivo de arroz em solos inundados.

A figura a seguir apresenta as emissões deste setor em 2005.



Fonte: Autores a partir de Brasil (2010)

Figura 6 Perfil atual das emissões da agropecuária

¹⁵ Emissões de CO_2 estão associadas ao uso de combustíveis e à perda de matéria orgânica do solo inventariadas respectivamente em emissões de energia e de mudança do uso do solo e florestas.

A atividade da agropecuária no Brasil exerce forte pressão na totalidade das emissões nacionais de gases de efeito estufa (GEE). Dados do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões (Brasil, 2010) revelam que a agropecuária é o segundo setor de maior peso nas emissões nacionais, precedido apenas da atividade de mudança no uso da terra e florestas.

A importância desta atividade em termos de emissões é proporcional à relevância do País como produtor e fornecedor internacional de bens agropecuários. A crescente demanda global por produtos agrícolas está no centro do debate sobre a trajetória das emissões do setor agropecuário. As projeções nacionais para o agronegócio para o decênio 2010-2020 assinalam um significativo aumento na produção de grãos e carnes, impulsionada pela elevada demanda internacional. As estimativas apontam para um crescimento de 36,7% da produção nacional de grãos (como soja, milho, trigo, arroz e feijão) e 37,8% na produção de carnes para este período. Além destes, três outros produtos apresentarão importante expansão em relação a 2009: o açúcar, com 48,2%; o etanol com 127,3% e o leite com 24,5% (MAPA, 2010).

As projeções realizadas pelo MAPA atentam também para a expansão da produtividade. Estima-se que de 2010 a 2020, a taxa anual média de crescimento da produção de lavouras deverá ser de 2,67%, enquanto a expansão da área ocupada será de 0,45%.

Para este setor, os três cenários prospectivos de emissões de gases de efeito estufa foram delineados com base na projeção de emissões prevista no Decreto nº 7.390 (Brasil, 2010) de 09 de Dezembro de 2010 e nos compromissos assumidos pelo País no Acordo de Copenhague. O potencial de mitigação das ações dos cenários foi avaliado por Barioni et al., (2010) e publicado no “*Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura*”. Os custos de abatimento das ações de mitigação foram estimados com base no relatório do IPEA “Análise Preliminar dos Compromissos Brasileiros em Copenhague e de Medidas Propostas na Política Nacional sobre Mudança do Clima”. Assumindo a continuação da implantação das medidas propostas entre os anos de 2021 e 2030, obtiveram-se os custos de abatimento anualizados entre os anos de 2021 e 2030 para todas as ações previstas, à exceção do Uso de Sistemas de



Manejo de Dejetos de Suinocultura cujos de abatimento foram estimados com base na análise de custos de investimento e custeio de projetos MDL.

8.1 Hipóteses dos Cenários

Cenário A

Este cenário de linha de base foi definido com base na projeção brasileira de emissões de GEE, publicada no Decreto mencionado, até 2020, que resulta em uma expansão de 4,1% das emissões de CO₂eq para um crescimento médio anual de 5% do PIB. Entre o período de 2021 e 2030, as estimativas de emissões de GEE para o setor refletem o decréscimo do nível de expansão do PIB (4%) em relação ao decênio anterior (5%). Segundo cálculos econométricos, as emissões terão um crescimento linear de 3,7% ao ano, neste período.

Cenário B

As hipóteses utilizadas para a determinação das emissões de GEE no Cenário B para cada atividade de mitigação são apresentadas a seguir.

Recuperação de Pastagens Degradadas e Integração Lavoura-Pecuária e Sistemas Agroflorestais: para estimar as emissões evitadas por meio destas atividades adotou-se como pressuposto a elevação da capacidade de suporte das pastagens dos atuais 0,4 para 1 unidade de animais por hectare (UA/ha), reduzindo, portanto, a pressão sobre áreas de floresta para conversão em pastagens. Ademais, com base em dados obtidos pela Embrapa e referenciados pelos resultados da Primeira e Segunda Comunicação Nacional, foram utilizados os seguintes parâmetros para o cálculo do Balanço de GEE: (i) emissões de N₂O de fertilizantes aplicados no solo agrícola, onde um valor médio de 100 kg de N produz emissões equivalentes a 645,5 kg CO₂eq/ha; (ii) emissões de 410 kg CO₂eq/ha/ano (excretas bovina) para uma taxa de ocupação de 1UA/ha/ano; (iii) emissões por cabeça estimadas em 50 a 55 kg de CH₄/ano/cabeça(o equivalente a 1.000 a 1.155 kg CO₂eq/cabeça/ano ou 1,86 t CO₂eq/UA/ano); (iv) uma variação média negativa do estoque de carbono de 4.752,5 kg CO₂eq/ha/ano para o caso de pastagens de baixa



produtividade; (v) uma variação positiva de carbono no solo da ordem de 3,791 tCO₂/ha/ano com a adoção das atividades de recuperação de pastagens e ILP; (vi) a recuperação de 15 milhões de hectares em pastagens e a integração de 4 milhões de hectares com lavouras até 2020 e a duplicação dos esforços dessas atividades até 2030, de maneira a totalizar 45 milhões de hectares em pastagens, e a integração de 4 milhões de hectares com lavouras.

Sistema de Plantio Direto (SPD): o potencial de mitigação desta atividade foi determinado com base na hipótese de que a incorporação de carbono no solo pelo SPD é de 0,5 kg C/ha/ano, ou seja, 1.830 kg CO₂eq/ha/ano. A atividade proposta considerou a adoção de plantio direto em 8 milhões de hectares até 2020, se estendendo para 28 milhões de hectares até 2030.

Fixação Biológica de Nitrogênio: a metodologia adotada para a estimativa do potencial de mitigação desta atividade considerou a cultura da soja onde uma produtividade média de 2.630 kg/ha é obtida por meio da utilização de 285 kg N/ha (600 kg/ha de ureia). Partindo desta hipótese, assumiu-se um fator de emissão da ordem de 1.838 kg CO₂eq/ha/ano para o uso de fertilizantes nitrogenados e a adoção da técnica de fixação biológica em 5,5 milhões de hectares até 2020. Diferentemente das ações anteriores, a mitigação de emissões por meio da fixação biológica de nitrogênio terá início apenas a partir de 2016, prevendo-se, para os anos anteriores, investimento em pesquisa para aperfeiçoamento da técnica. Para 2030, estimou-se a adoção desta técnica em 16,5 milhões de hectares.

Cenário C

Conforme descrito anteriormente, o Cenário C corresponde ao cenário mais ambicioso de redução de emissões, prevendo a intensificação das medidas de mitigação para além do Acordo de Copenhague. Para este cenário foi considerada a adoção das 4 medidas anteriormente descritas, implantadas em um número maior de hectares e a implementação de uma 5^a medida de mitigação, destinada à redução das emissões de metano por meio da ampliação no uso de sistemas de manejo de dejetos na suinocultura. Esta ação também foi incluída no Plano Setorial de Mitigação como medida adicional.

Os parâmetros técnico-econômicos adotados para o cálculo das emissões reduzidas no Cenário C para as atividades de: (i) recuperação de pastagens degradadas; (ii) Integração Lavoura-Pecuária e Sistemas Agroflorestais; (iii) Sistema de Plantio Direto; (iv) Fixação Biológica de Nitrogênio são os mesmos assumidos para o Cenário B.

Para estimar o potencial de mitigação referente a 5^a medida proposta (Uso de Sistemas de Manejo de Dejetos de Suinocultura), foram adotados os parâmetros técnicos apresentados no “Relatório de Referência – Emissões de Metano por Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos de Animais” (2^o Inventário Nacional de Emissões de GEE), publicado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2010). Assumiu-se, portanto, um valor aproximado de produção de dejetos de 2.000 m³/ano por cada estabelecimento, o equivalente a 0,4 tCO₂eq/cabeça/ano. A intensidade de 2245 estabelecimentos por ano a serem beneficiados pelo sistema de manejo até 2020 foi estimada no “Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura”. Para o período 2021-2030, assumiu-se a mesma proporção de implantação de maneira a totalizar quase 45.000 estabelecimentos com uso destes sistemas¹⁶.

8.2 Resultados dos Cenários

As emissões totais do Cenário A estão apresentadas na tabela a seguir.

Tabela 42 Emissões de agropecuária do Cenário A, por fonte, até 2030 (Mt CO₂eq)

Fonte de Emissão	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Fermentação Entérica	313	53	383	53	459	53	550	53
Manejo de Dejetos	25	4	30	4	36	4	43	4
Cultivo de Arroz	7	1	9	1	10	1	12	1
Queima de Resíduos	6	1	8	1	9	1	11	1
Manejo de Solos Agrícolas	246	41	301	41	361	41	432	41
Total	597	100	730	100	875	100	1048	100

¹⁶ Não foi considerado o potencial de geração de eletricidade por meio da queima do gás metano. Esta hipótese se explica pela dificuldade em viabilizar a conexão destes projetos ao SIN devido à reduzida escala deste tipo de atividade e aos elevados custos envolvidos no processo de interligação.

As emissões evitadas pelo Cenário B para cada atividade proposta são apresentadas na tabela a seguir.

Tabela 43 Ações de mitigação de agropecuária do Cenário B em relação ao A, até 2030 (Mt CO₂eq)

Ação de Mitigação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Recuperação de Pastagens Degradadas	51	71	102	66	153	65	203	64
Integração Lavoura-Pecuária	14	19	27	18	41	17	54	17
Plantio Direto	7	10	15	10	22	9	29	9
Fixação Biológica de Nitrogênio	0	0	10	7	20	8	30	9
Total	72	100	154	100	235	100	317	100

Fonte: Autores

As emissões totais do Cenário A menos as emissões da tabela anterior resultam nas emissões do Cenário B, conforme tabela a seguir.

Tabela 44 Emissões de agropecuária do Cenário B, até 2030 (Mt CO₂eq)

	2015	2020	2025	2030
	Mt CO ₂ eq	Mt CO ₂ eq	Mt CO ₂ eq	Mt CO ₂ eq
Total	525	576	639	731

Fonte: Autores

As ações de mitigação do Cenário C em relação ao B estão apresentadas na tabela a seguir.

Tabela 45 Ações de mitigação de agropecuária do Cenário C em relação ao B, até 2030 (Mt CO₂eq)

Ação de Mitigação	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Recuperação de Pastagens Degradadas	0	0	0	0	51	54	102	57
Integração Lavoura-Pecuária	0	0	0	0	13	14	27	15
Plantio Direto	0	0	0	0	11	12	15	8
Fixação Biológica de Nitrogênio	0	0	0	0	10	11	20	11
Uso de Sistemas de Manejo de Dejetos de Suinocultura	3	100	7	100	10	11	14	8
Total	3	100	7	100	95	100	178	100

As ações de mitigação do Cenário C em relação ao A estão apresentadas na tabela a seguir.

Tabela 46 Ações de mitigação de agropecuária do Cenário C em relação ao A, até 2030 (Mt CO₂eq)

Por Fonte	2015		2020		2025		2030	
	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%	Mt CO ₂ eq	%
Recuperação de Pastagens Degradadas	51	68	102	63	286	66	388	64
Integração Lavoura-Pecuária	14	18	27	17	76	18	103	17
Plantio Direto	7	10	15	9	33	8	51	8
Fixação Biológica de Nitrogênio	0	0	10	6	30	7	50	8
Uso de Sistemas de Manejo de Dejetos de Suinocultura	3	5	7	4	10	2	14	2
Total	75	100	160	100	436	100	606	100

Fonte: Autores

As emissões totais do Cenário C estão apresentadas na tabela a seguir.

Tabela 47 Emissões de agropecuária do Cenário C, até 2030 (Mt CO₂eq)

	2015	2020	2025	2030
	Mt CO ₂ eq	Mt CO ₂ eq	Mt CO ₂ eq	Mt CO ₂ eq
Total	522	570	544	553

Fonte: Autores

8.3 Custos de Abatimento

São os seguintes os custos de abatimento para os Cenários B e C.

Tabela 48 Redução total de emissões de agropecuária e custos associados

Ação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
Cenário B em relação ao Cenário A					
(2011 – 2020)					
Recuperação de Pastagens	0,10	559,3	56	559,3	56
Integração Lavoura–Pecuária	0,70	149,1	104	708,4	160
Plantio Direto	0,10	80,5	8	789,0	168
Fixação Biológica de Nutrientes	0,00	30,3	0	819,3	168
(de 2021 até 2030)					
Recuperação de Pastagens	0,10	1.576,2	158	1.576,2	158
Integração Lavoura–Pecuária	0,70	420,3	294	1.996,5	452
Plantio Direto	0,10	226,9	23	2.223,4	475
Fixação Biológica de Nutrientes	0,00	212,1	0	2.435,5	475
(2011 – 2030)					
Recuperação de Pastagens	0,10	2.135,5	214	2.135,5	214
Integração Lavoura–Pecuária	0,70	569,4	399	2.704,9	612
Plantio Direto	0,10	307,4	31	3.012,4	643
Fixação Biológica de Nutrientes	0,00	242,4	0	3.254,8	643



Ação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO₂eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO₂eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
Cenário C em relação a Cenário B					
(2011 – 2020)					
Recuperação de Pastagens	–	–	–	–	–
Integração Lavoura–Pecuária	–	–	–	–	–
Plantio Direto	–	–	–	–	–
Fixação Biológica de Nutrientes	–	–	–	–	–
Manejo de Dejetos Animais	4,40	30,2	133	132,9	133
(2021 – 2030)					
Recuperação de Pastagens	0,10	559,3	56	559,3	56
Integração Lavoura–Pecuária	0,70	149,1	104	708,4	160
Plantio Direto	0,10	113,5	11	821,9	172
Fixação Biológica de Nutrientes	0,00	147,4	0	969,2	172
Manejo de Dejetos Animais	4,40	44,5	196	1.013,7	367
(2011 – 2030)					
Recuperação de Pastagens	0,10	559,3	56	559,3	56
Integração Lavoura–Pecuária	0,70	149,1	104	708,4	160
Plantio Direto	0,10	113,5	11	821,9	172
Fixação Biológica de Nutrientes	0,00	147,4	0	969,2	172
Manejo de Dejetos Animais	4,40	74,7	329	1.043,9	500
Cenário C em relação a Cenário A					
(2011 – 2020)					
Recuperação de Pastagens	0,10	559,3	56	559,3	56
Integração Lavoura–Pecuária	0,70	149,1	104	708,4	160
Plantio Direto	0,10	80,5	8	789,0	168
Fixação Biológica de Nutrientes	0,00	30,3	0	819,3	168
Manejo de Dejetos Animais	4,40	30,2	133	849,5	301

Ação	US\$/t	Emissões Evitadas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total (milhões US\$)	Emissões Evitadas Acumuladas (Mt CO ₂ eq)	Custo Total Acumulado (milhões US\$)
(de 2021 até 2030)					
Recuperação de Pastagens	0,10	2.135,5	214	2.135,5	214
Integração Lavoura–Pecuária	0,70	569,4	399	2.704,9	612
Plantio Direto	0,10	340,4	34	3.045,3	646
Fixação Biológica de Nutrientes	0,00	359,5	0	3.404,8	646
Manejo de Dejetos Animais	4,40	44,5	196	3.449,2	842
(2011 – 2030)					
Recuperação de Pastagens	0,10	2.694,8	269	2.694,8	269
Integração Lavoura–Pecuária	0,70	718,6	503	3.413,4	772
Plantio Direto	0,10	420,9	42	3.834,3	815
Fixação Biológica de Nutrientes	0,00	389,8	0	4.224,0	815
Manejo de Dejetos Animais	4,40	74,7	329	4.298,7	1.143

Fonte: Autores

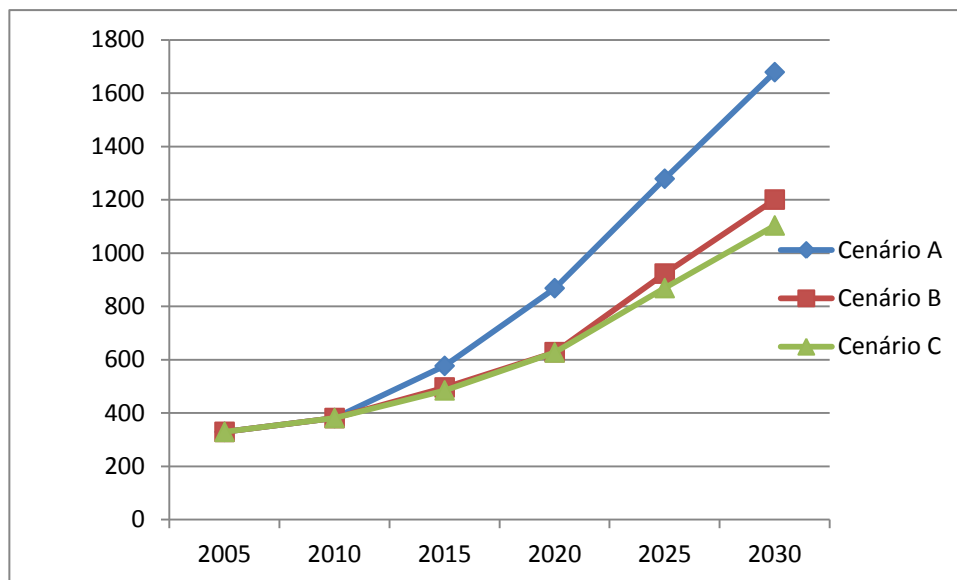


9. Emissões Totais nos Cenários A, B e C

Os valores referentes às reduções de emissão apresentados nos itens anteriores se referem às emissões do Cenário A e ao alcance das reduções que podem ser obtidas com a implantação das ações de mitigação dos cenários B e C, sendo que C foi também comparado a B. Merece destaque o fato de que os valores de mitigação do Cenário B em comparação ao A, até 2020, se referem às ações previstas no Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010, que regulamenta a Política Nacional sobre Mudança do Clima, e embasam o compromisso brasileiro no Acordo de Copenhague.

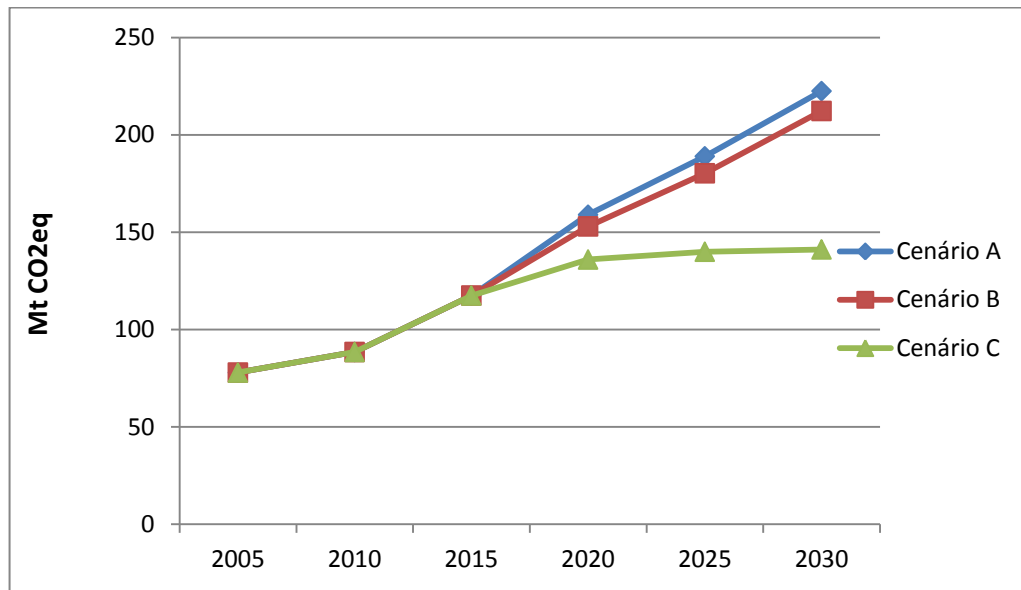
Ressalte-se que as emissões do Cenário B crescem mais que as do Cenário A, no caso do setor de resíduos, tendo em vista que o aumento da cobertura dos serviços implica em aumento de emissões de metano, se mantidas as práticas de tratamento de resíduos atuais.

Essas reduções se traduzem em novas trajetórias de emissão para o País, conforme pode ser observado nas figuras que se seguem, que apresentam a evolução de cada setor analisado.



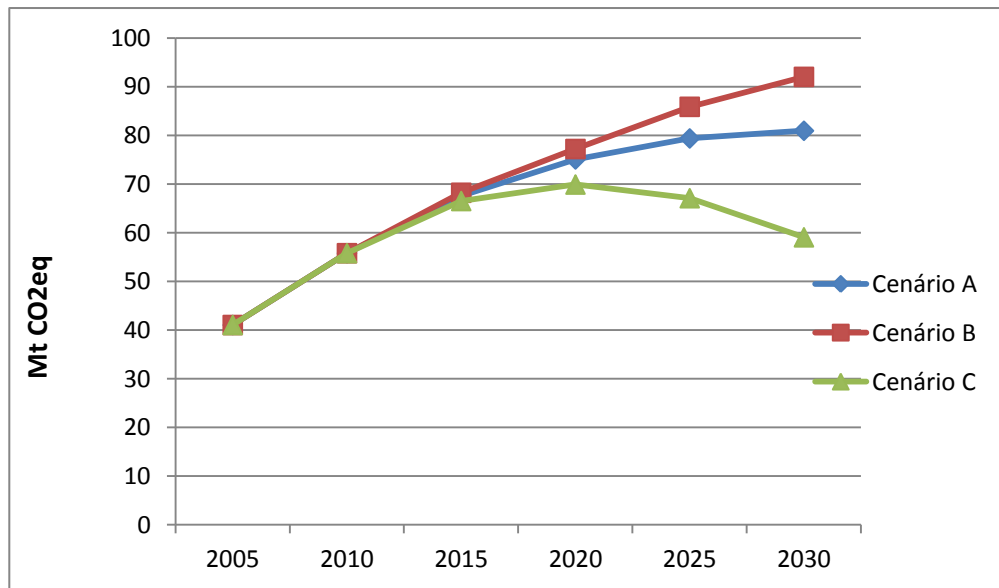
Fonte: 2005 (Brasil, 2010) e demais anos, autores

Figura 7 Emissões de energia nos Cenários A, B e C, até 2030



Fonte: 2005 (Brasil, 2010) e demais anos, autores

Figura 8 Emissões de processos industriais nos Cenários A, B e C, até 2030



Fonte: 2005 (Brasil, 2010) e demais anos, autores

Figura 9 Emissões de resíduos nos Cenários A, B e C, até 2030

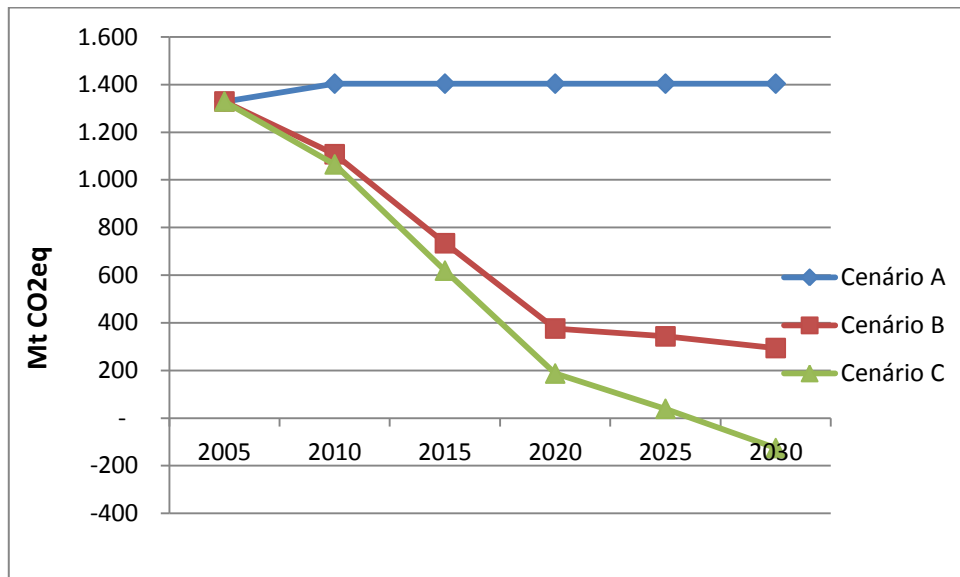
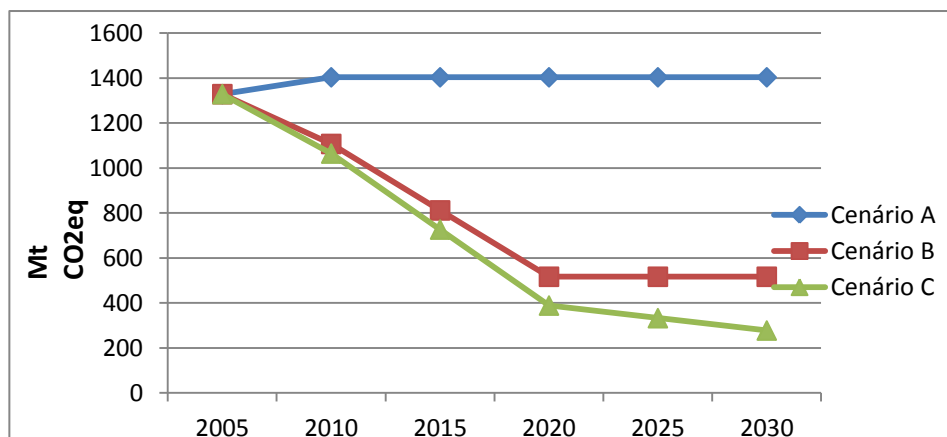


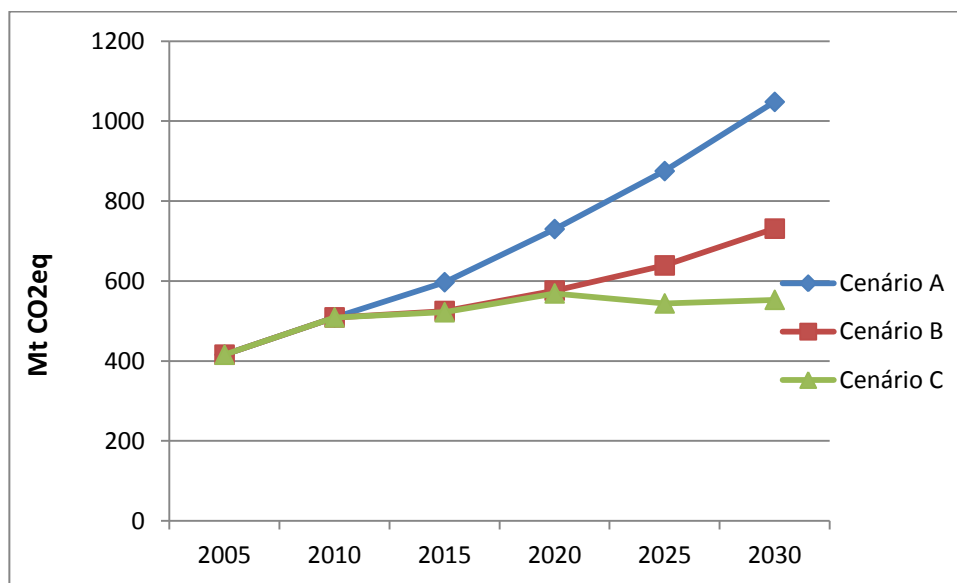
Figura 10 Emissões líquidas (com reflorestamento) de mudança no uso do solo e floresta nos Cenários A, B e C, até 2030.

Pode-se observar o impacto do reflorestamento nas emissões de Uso do Solo considerado nos cenários B e C, observando-se na figura a seguir que sem o reflorestamento as emissões desta fonte continuam positivas, mesmo em 2030.



Fonte: 2005 (Brasil, 2010) e demais anos, autores

Figura 11 Emissões de mudança no uso do solo e floresta (sem reflorestamento) nos Cenários A, B e C, até 2030



Fonte: 2005 (Brasil, 2010) e demais anos, autores

Figura 12 Emissões da agropecuária nos Cenários A, B e C, até 2030

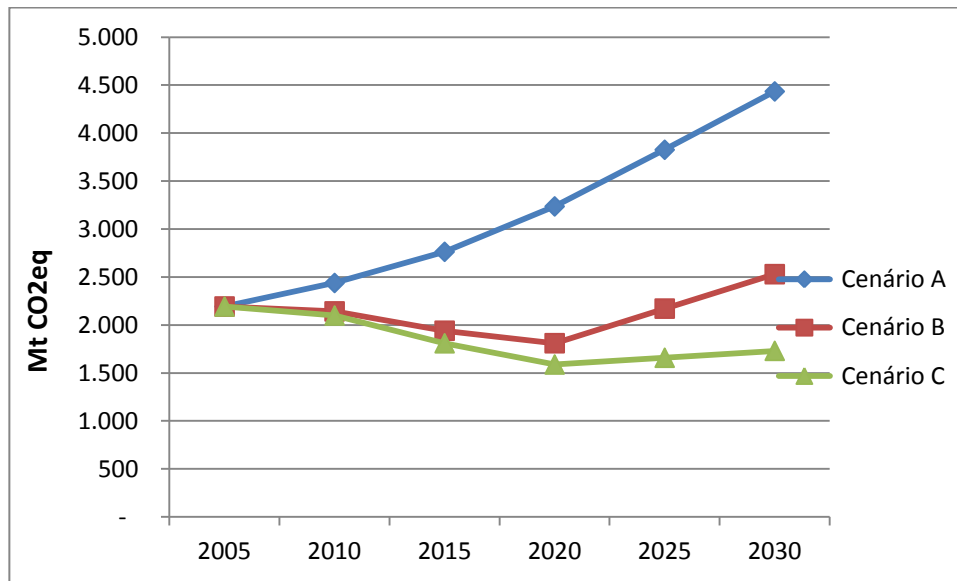
Agregando-se os setores, podem-se observar, como na tabela a seguir, os valores referentes aos totais de emissão, em 2005 e nos anos cenarizados, evolução que pode ser mais bem visualizada na figura seguinte à tabela. Note-se que no Cenário B, após 2020, há uma inflexão da curva com o recrudescimento de emissões, o que demonstra a necessidade de se iniciarem estudos que permitam ao País, detalhar as ações futuras de redução de emissões para que possa manter sua trajetória de economia de baixo carbono.

Tabela 49 Evolução das emissões totais de GEE até 2030 (Mt CO₂eq)

	2005	2015	2020	2025	2030
	Mt CO₂eq				
Cenário A	2.193	2.762	3.236	3.826	4.434
Cenário B*	2.193	1.940	1.810	2.171	2.530
Cenário C*	2.193	1.810	1.589	1.658	1.731

* Inclui reflorestamento

Fonte: 2005 (Brasil, 2010) e demais anos, autores



Fonte: 2005 (Brasil, 2010) e demais anos, autores

Figura 13 Evolução das emissões totais de GEE até 2030

Ao se considerarem as emissões totais nos anos cenarizados no que se refere à importância relativa dos setores, conforme Tabela 48, observa-se que em 2020, as emissões de Uso do Solo permanecem as mais elevadas no Cenário A. Já nos Cenários B e C, as maiores emissões provêm do setor energético. Mais adiante, em 2030, as emissões de todos os cenários passam a ser, em maior monta, originárias de energia.

Tabela 50 Emissões totais nos Cenários A, B e C, por setor, até 2030 (Mt CO₂eq)

	2005		2015		2020		2025		2030	
	<i>Mt CO₂eq</i>									
Energia (Cen. A)	329	15,0%	576	20,9%	868	26,8%	1279	33,4%	1678	37,9%
Energia (Cen. B)	329	15,0%	495	25,5%	628	34,7%	923	42,5%	1200	47,5%
Energia (Cen. C)	329	15,0%	485	26,8%	627	39,4%	868	52,4%	1103	63,8%
Proc. Industriais (Cen. A)	78	3,6%	118	4,3%	159	4,9%	189	4,9%	223	5,0%
Proc. Industriais(Cen. B)	78	3,6%	118	6,1%	153	8,5%	180	8,3%	212	8,4%
Proc. Industriais (Cen. C)	78	3,6%	118	6,5%	136	8,6%	140	8,4%	141	8,2%
Resíduos (Cen. A)	41	1,9%	68	2,4%	75	2,3%	79	2,1%	81	1,8%
Resíduos (Cen. B)	41	1,9%	68	3,5%	77	4,3%	86	4,0%	92	3,6%
Resíduos (Cen. C)	41	1,9%	67	3,7%	70	4,4%	67	4,0%	59	3,4%
Uso do Solo (Cen. A)	1329	60,6%	1404	50,8%	1404	43,4%	1404	36,7%	1404	31,7%
Uso do Solo (Cen. B)*	1329	60,6%	734	37,8%	376	20,8%	343	15,8%	294	11,6%
Uso do Solo (Cen. C)*	1329	60,6%	619	34,2%	187	11,8%	39	2,4%	-126	-7,3%
Agropecuária (Cen. A)	416	19,0%	597	21,6%	730	22,6%	875	22,9%	1048	23,6%
Agropecuária (Cen. B)	416	19,0%	525	27,1%	576	31,8%	639	29,4%	731	28,9%
Agropecuária (Cen. C)	416	19,0%	522	28,8%	569	35,8%	544	32,8%	553	32,0%
Total Cenário A	2193	100,0%	2762	100,0%	3236	100,0%	3826	100,0%	4434	100,0%
Total Cenário B	2193	100,0%	1940	100,0%	1810	100,0%	2171	100,0%	2530	100,0%
Total Cenário C	2193	100,0%	1810	100,0%	1589	100,0%	1658	100,0%	1731	100,0%

* Inclui reflorestamento

Fonte: Baseado em Brasil (2010) para 2005. Demais anos, autores.



10. Custos Marginais de Abatimento nos Cenários B e C

Os custos de mitigação foram estimados para cada cenário, com base nos custos marginais médios de cada ação de mitigação analisada.

Períodos 2011-2020 e 2021-2030

As figuras de 12 a 17 a seguir, representam os custos marginais de abatimento para horizontes temporais distintos. São apresentadas ações de mitigação e seus custos separadamente para o primeiro período analisado (2011-2020) e para o segundo período (2021-2030), considerando os valores do Cenário B em comparação ao A e, posteriormente do Cenário C em comparação ao B e em comparação ao A.

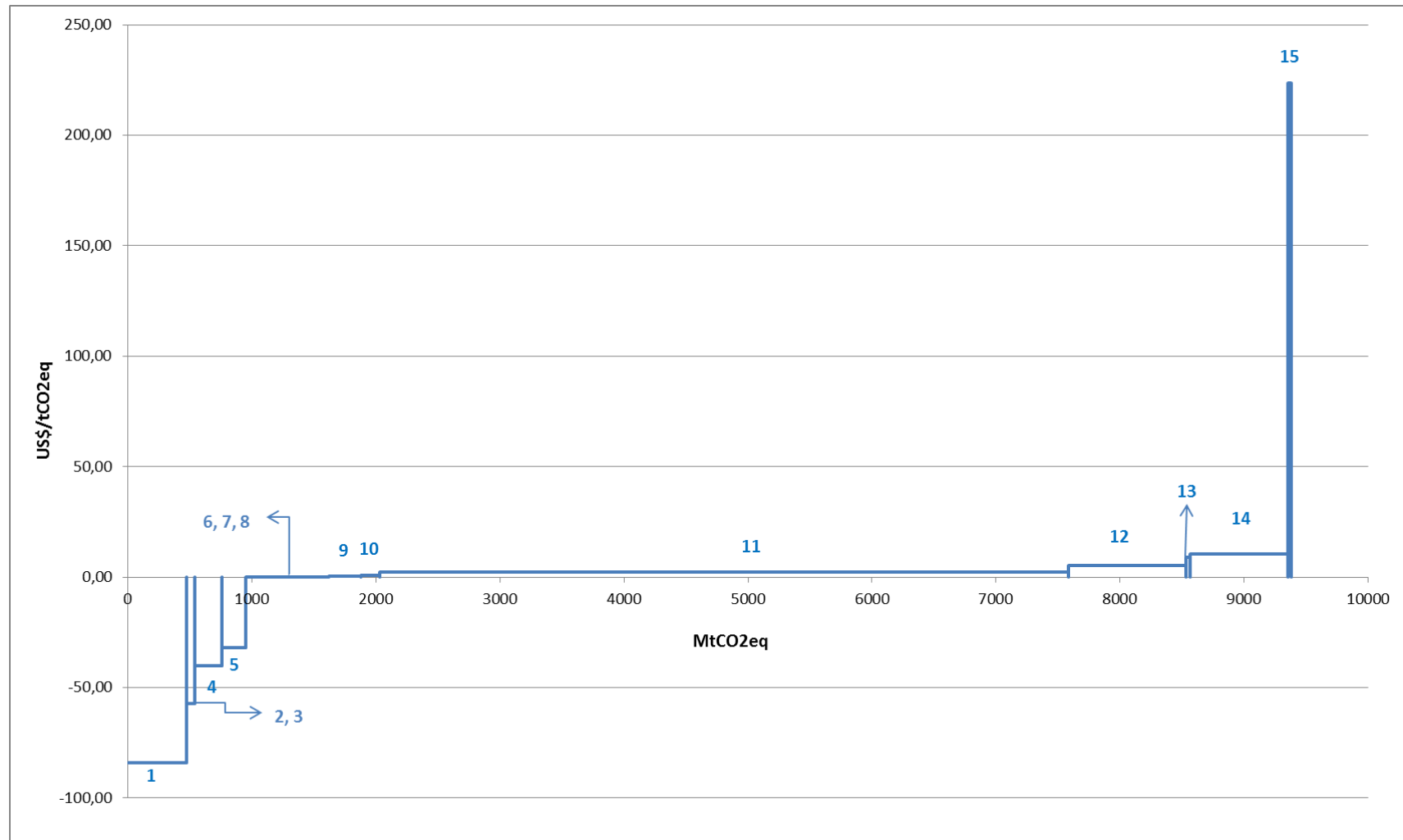


Figura 14 Curva de custo marginal de abatimento do Cenário B em relação ao Cenário A até 2020



Legenda da Figura 12

Cenário B em relação ao Cenário A (até 2020)	
1	Hidrelétricas
2	Eficiência energética
3	Uso de material reciclado (cimento)
4	Renováveis
5	Efic. Energ. (eletric. geral)
6	Fixação Biológica de Nutrientes
7	Plantio Direto
8	Recuperação de Pastagens
9	Incremento do uso de Etanol
10	Integração Lavoura-Pecuária
11	Redução do desmatamento na Amazônia
12	Redução do desmatamento no Cerrado
13	Incremento do uso de carvão vegetal na siderurgia
14	Expansão das florestas plantadas
15	Incremento do uso de Biodiesel

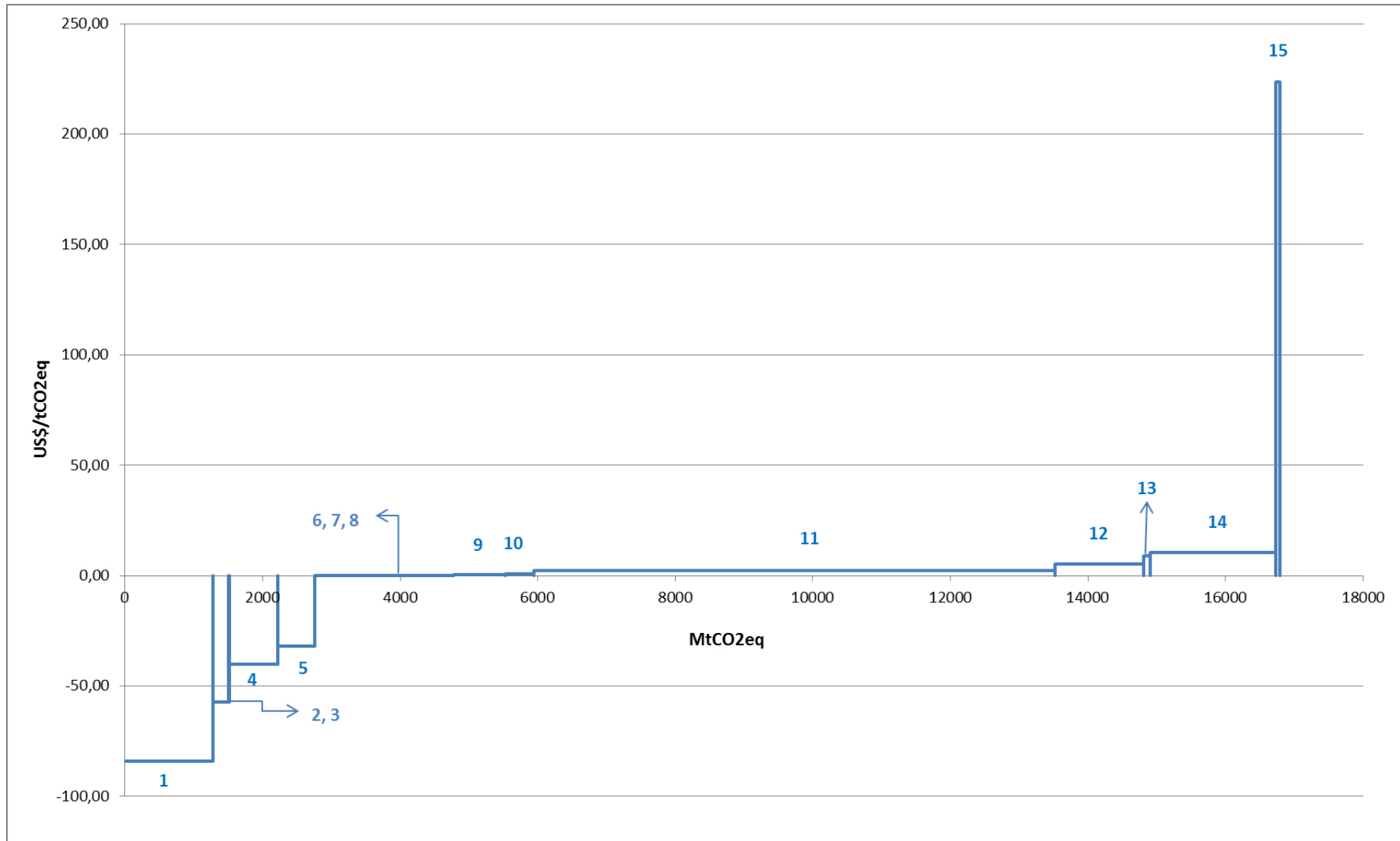


Figura 15 Curva de custo marginal de abatimento do Cenário B em relação ao Cenário A de 2021 a 2030

Legenda da Figura 13

Cenário B em relação ao Cenário A (de 2021 a 2030)	
1	Hidrelétricas
2	Eficiência energética
3	Uso de material reciclado (cimento)
4	Renováveis
5	Efic. Energ. (eletric. geral)
6	Fixação Biológica de Nutrientes
7	Plantio Direto
8	Recuperação de Pastagens
9	Incremento do uso de Etanol
10	Integração Lavoura-Pecuária
11	Redução do desmatamento na Amazônia
12	Redução do desmatamento no Cerrado
13	Incremento do uso de carvão vegetal na siderurgia
14	Expansão das florestas plantadas
15	Incremento do uso de Biodiesel

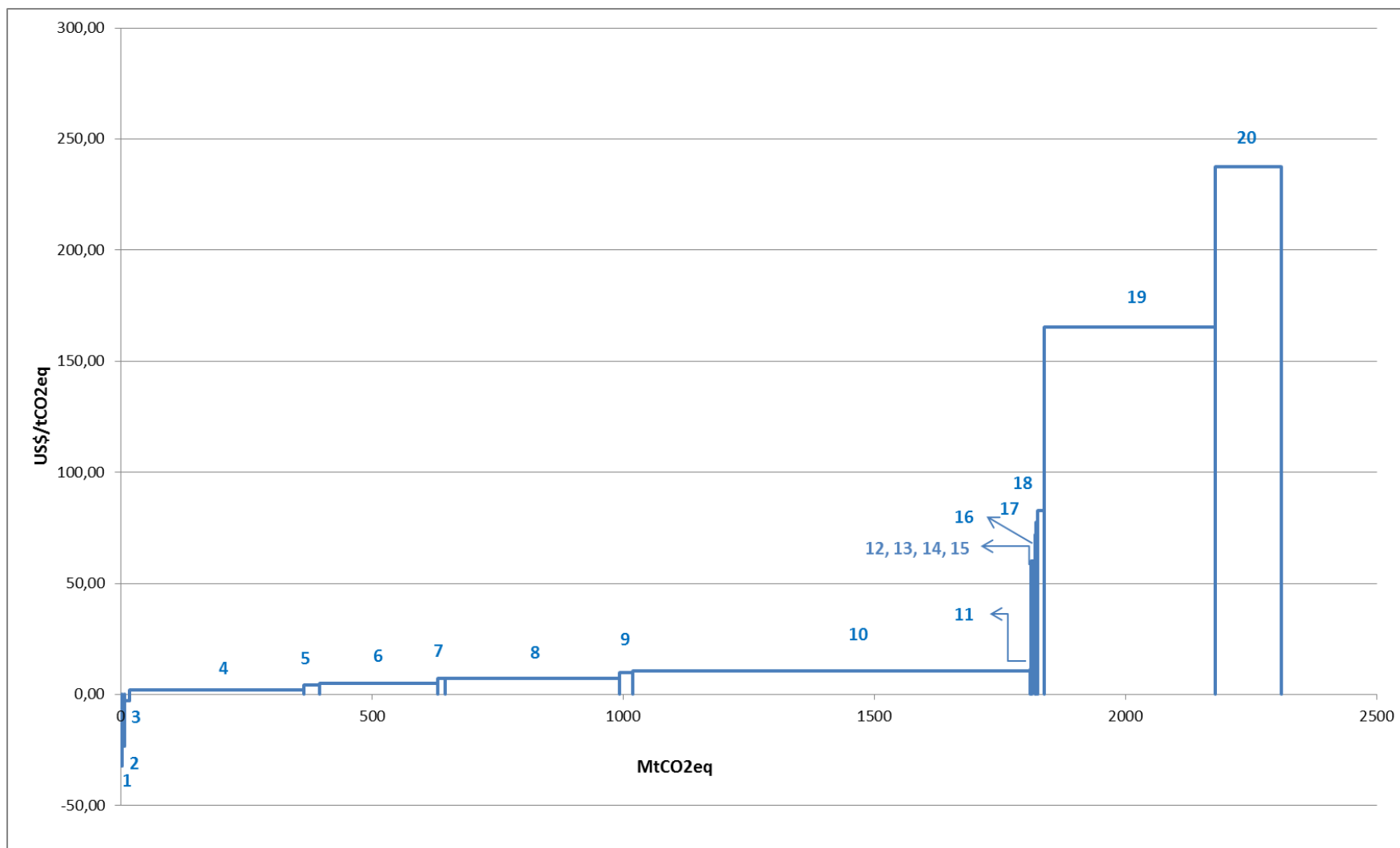


Figura 16 Curva de custo marginal de abatimento do Cenário C em relação ao Cenário B até 2020



Legenda da Figura 14

Cenário C em relação ao Cenário B (até 2020)	
1	Produção de amônia (novas tecnologias)
2	Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)
3	Efic. Energ. (eletric. geral)
4	Redução do desmatamento na Amazônia
5	Manejo de Dejetos Animais
6	Redução do desmatamento no Cerrado
7	Produção de ferro e aço
8	Redução do desmatamento na Mata Atlântica
9	Destruição de metano em aterros
10	Expansão das florestas plantadas
11	Destruição de metano em ETEs
12	Indústria do alumínio (informatização de sistemas de controle)
13	Produção de magnésio: substituição de SF ₆ por SO ₂
14	Produção de ácido adípico: destruição térmica
15	Produção de ácido nítrico
16	CCS – Produção de cimento
17	CCS – Produção de amônia
18	CCS – Produção de ferro e aço
19	Revegetação de corredores ecológicos no bioma Mata Atlântica
20	Eficiência energética

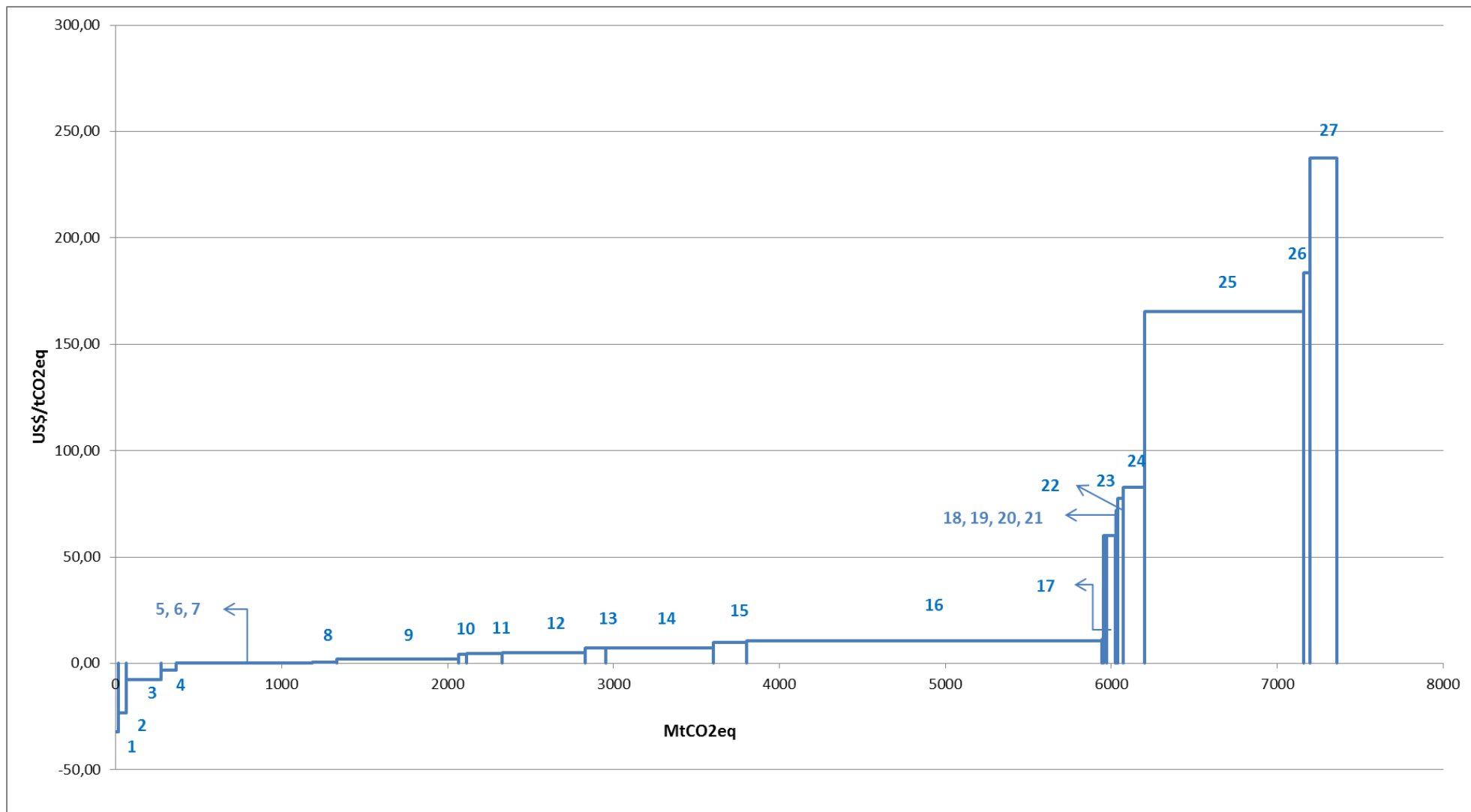


Figura 17 Curva de custo marginal de abatimento do Cenário C em relação ao Cenário B de 2021 a 2030

Legenda da Figura 15

Cenário C em relação ao Cenário B (de 2021 a 2030)	
1	Produção de amônia (novas tecnologias)
2	Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)
3	Incremento do uso de Etanol
4	Efic. Energ. (eletric. geral)
5	Fixação Biológica de Nutrientes
6	Plantio Direto
7	Recuperação de Pastagens
8	Integração Lavoura-Pecuária
9	Redução do desmatamento na Amazônia
10	Manejo de Dejetos Animais
11	Renováveis
12	Redução do desmatamento no Cerrado
13	Produção de ferro e aço
14	Redução do desmatamento na Mata Atlântica
15	Destruição de metano em aterros
16	Expansão das florestas plantadas
17	Destruição de metano em ETEs
18	Indústria do alumínio (informatização de sistemas de controle)
19	Produção de magnésio: substituição de SF ₆ por SO ₂
20	Produção de ácido adípico: destruição térmica
21	Produção de ácido nítrico
22	CCS – Produção de cimento
23	CCS – Produção de amônia
24	CCS – Produção de ferro e aço
25	Revegetação de corredores ecológicos no bioma Mata Atlântica
26	Incremento do uso de Biodiesel
27	Eficiência energética

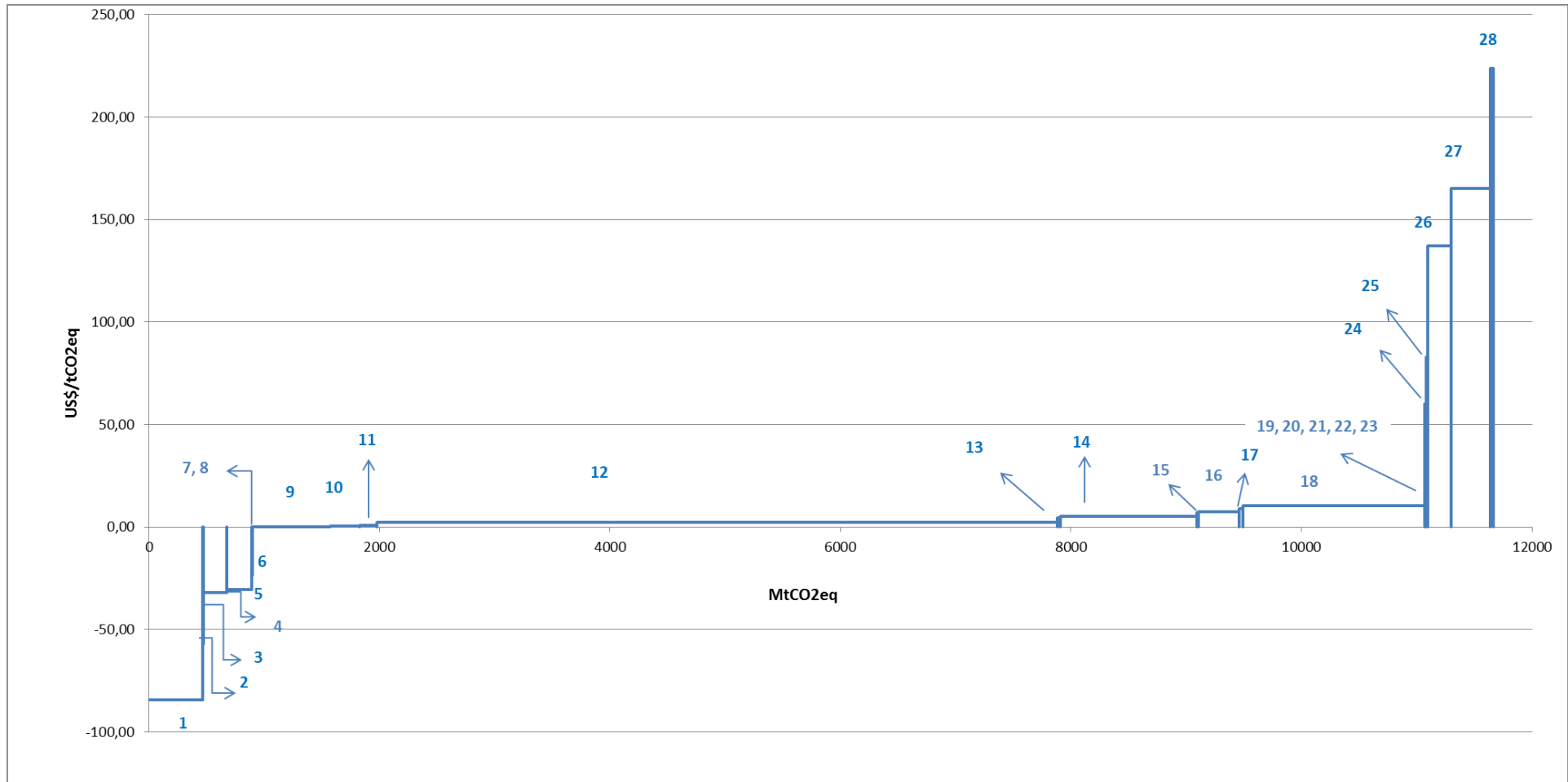


Figura 18 Curva de custo marginal de abatimento do Cenário C em relação ao Cenário A até 2020

Legenda da Figura 16

Cenário C em relação ao Cenário A (até 2020)	
1	Hidrelétricas
2	Uso de material reciclado (cimento)
3	Produção de amônia (novas tecnologias)
4	Efic. Energ. (eletric. geral)
5	Renováveis
6	Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)
7	Fixação Biológica de Nutrientes
8	Plantio Direto
9	Recuperação de Pastagens
10	Incremento do uso de Etanol
11	Integração Lavoura-Pecuária
12	Redução do desmatamento na Amazônia
13	Manejo de Dejetos Animais
14	Redução do desmatamento no Cerrado
15	Produção de ferro e aço
16	Redução do desmatamento na Mata Atlântica
17	Incremento do uso de carvão vegetal na siderurgia
18	Expansão das florestas plantadas
19	Indústria do alumínio (informatização de sistemas de controle)
20	Produção de magnésio: substituição de SF ₆ por SO ₂
21	Produção de ácido adípico: destruição térmica
22	Produção de ácido nítrico
23	CCS – Produção de cimento
24	CCS – Produção de amônia
25	CCS – Produção de ferro e aço
26	Eficiência energética
27	Revegetação de corredores ecológicos no bioma Mata Atlântica
28	Incremento do uso de Biodiesel

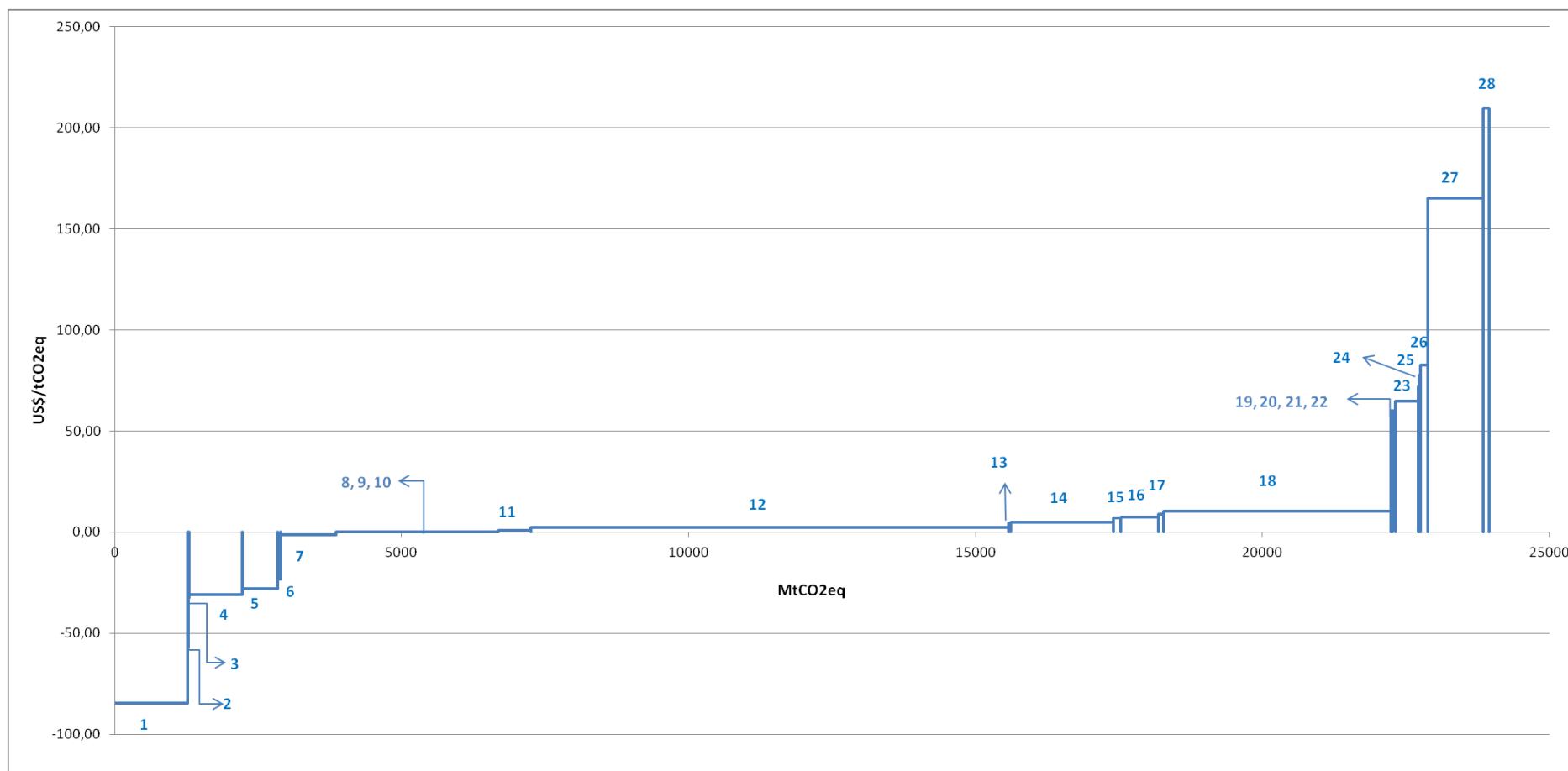


Figura 19 Curva de custo marginal de abatimento do Cenário C em relação ao Cenário A de 2021 a 2030

Legenda da Figura 17

Cenário C em relação ao Cenário A (de 2021 a 2030)	
1	Hidrelétricas
2	Uso de material reciclado (cimento)
3	Produção de amônia (novas tecnologias)
4	Renováveis
5	Efic. Energ. (eletric. geral)
6	Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)
7	Incremento do uso de Etanol
8	Fixação Biológica de Nutrientes
9	Plantio Direto
10	Recuperação de Pastagens
11	Integração Lavoura-Pecuária
12	Redução do desmatamento na Amazônia
13	Manejo de Dejetos Animais
14	Redução do desmatamento no Cerrado
15	Produção de ferro e aço
16	Redução do desmatamento na Mata Atlântica
17	Incremento do uso de carvão vegetal na siderurgia
18	Expansão das florestas plantadas
19	Indústria do alumínio (informatização de sistemas de controle)
20	Produção de magnésio: substituição de SF ₆ por SO ₂
21	Produção de ácido adípico: destruição térmica
22	Produção de ácido nítrico
23	Eficiência energética
24	CCS – Produção de cimento
25	CCS – Produção de amônia
26	CCS – Produção de ferro e aço
27	Revegetação de corredores ecológicos no bioma Mata Atlântica
28	Incremento do uso de Biodiesel



Período 2011-2030

As figuras 17 a 20 a seguir, representam os custos marginais para o período 2011-2030. São apresentadas as ações de mitigação e seus custos, considerando os valores do Cenário B em comparação ao A e, posteriormente do Cenário C em comparação ao B e em comparação ao A.

Quando todo o horizonte temporal é analisado em conjunto (2011-2030), obtemos custos médios que incluem tanto as ações mais custo-eficientes, geralmente aquelas correspondentes ao primeiro período (2011-2020), quanto aquelas referentes ao segundo período (2021-2030), resultando em curvas distintas das anteriores, e que podem ser visualizadas a seguir.

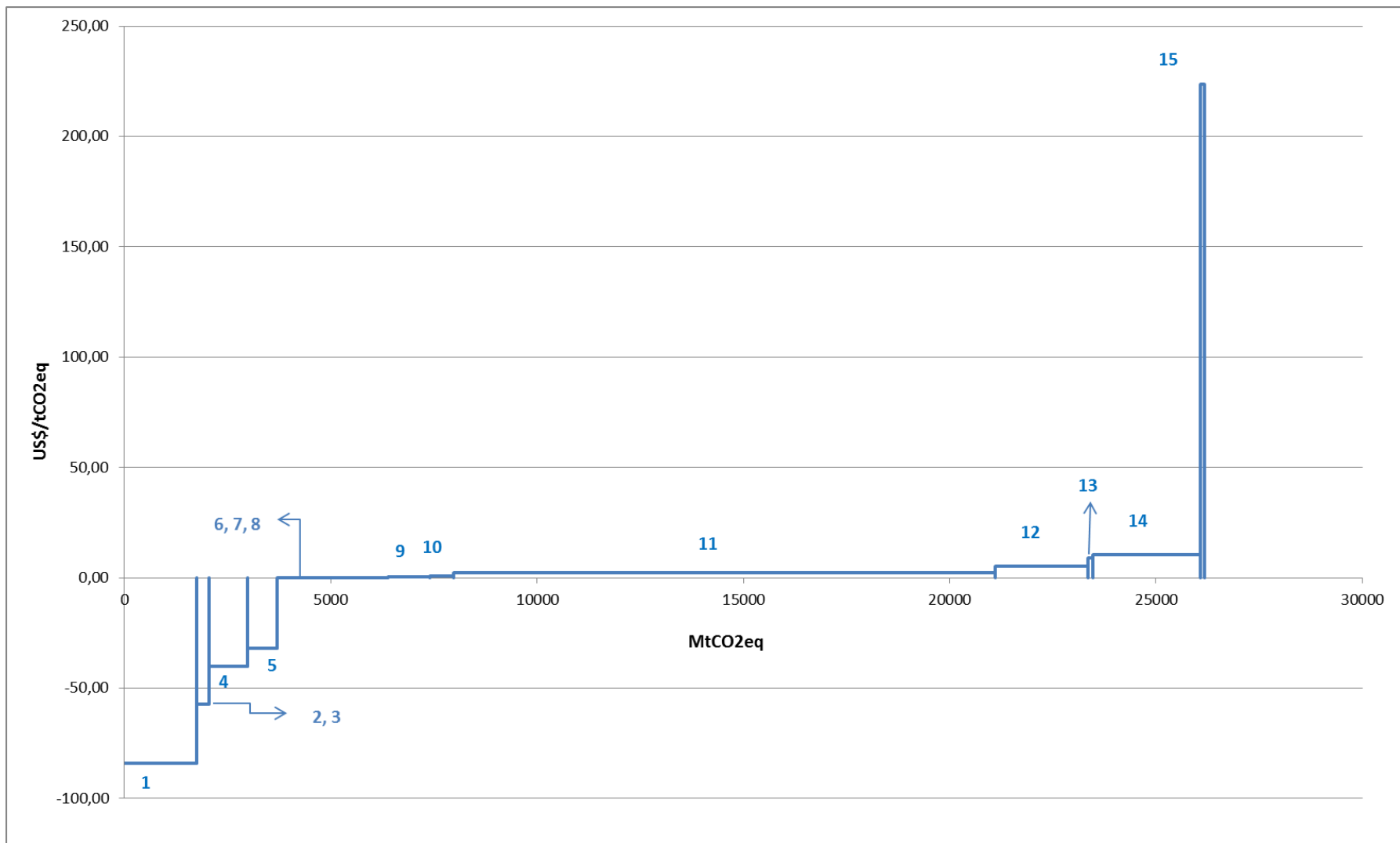


Figura 20 Curva de custo marginal de abatimento do Cenário B em relação ao Cenário A de 2011 a 2030

Legenda da Figura 18

Cenário B em relação ao Cenário A (de 2011 a 2030)	
1	Hidrelétricas
2	Eficiência energética
3	Uso de material reciclado (cimento)
4	Renováveis
5	Efic. Energ. (eletric. geral)
6	Fixação Biológica de Nutrientes
7	Plantio Direto
8	Recuperação de Pastagens
9	Incremento do uso de Etanol
10	Integração Lavoura-Pecuária
11	Redução do desmatamento na Amazônia
12	Redução do desmatamento no Cerrado
13	Incremento do uso de carvão vegetal na siderurgia
14	Expansão das florestas plantadas
15	Incremento do uso de Biodiesel

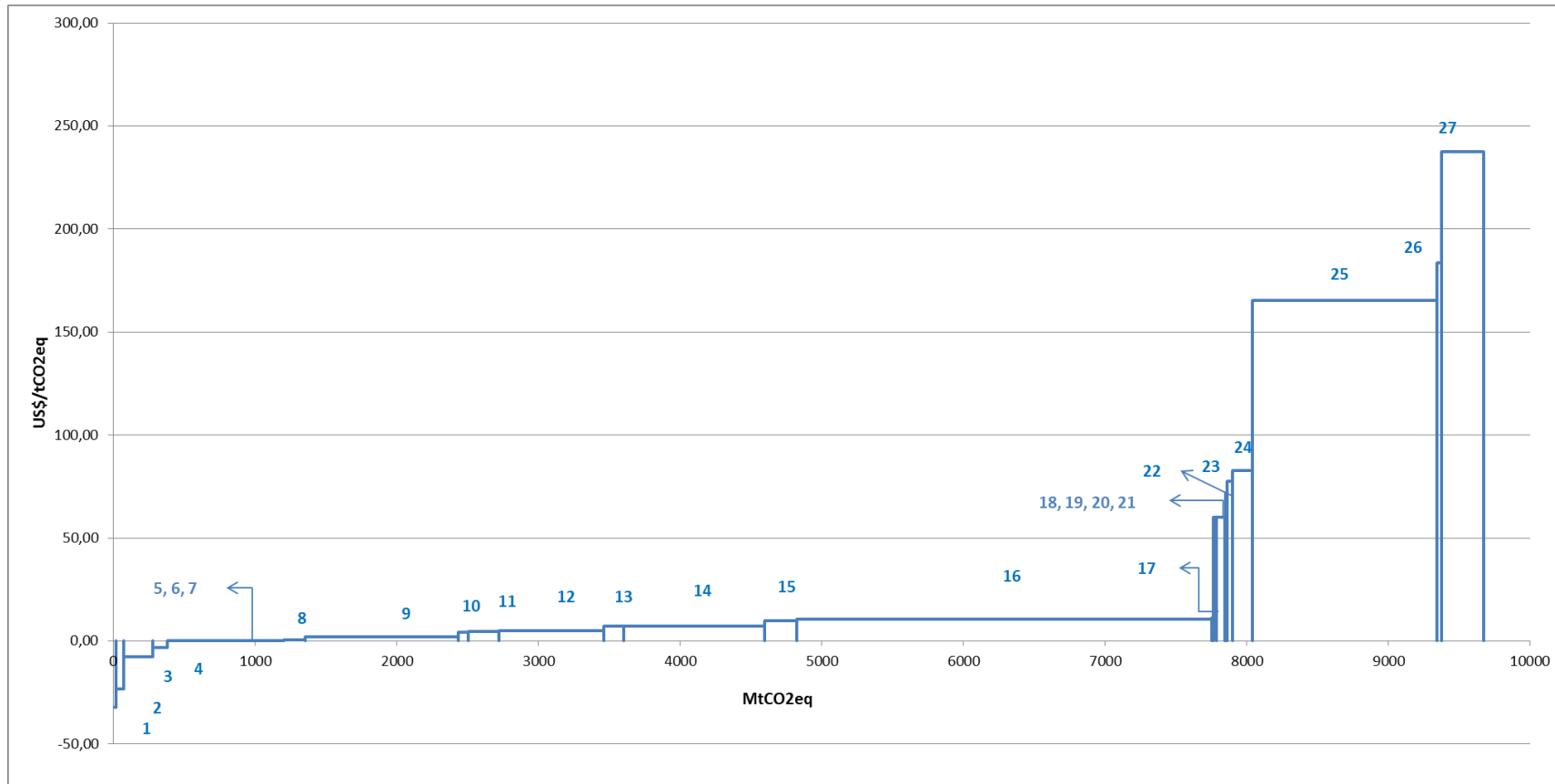


Figura 21 Curva de custo marginal de abatimento do Cenário C em relação ao Cenário B de 2011 a 2030

Legenda da Figura 19

Cenário C em relação ao Cenário B (de 2011 a 2030)	
1	Produção de amônia (novas tecnologias)
2	Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)
3	Incremento do uso de Etanol
4	Efic. Energ. (eletric. geral)
5	Fixação Biológica de Nutrientes
6	Plantio Direto
7	Recuperação de Pastagens
8	Integração Lavoura-Pecuária
9	Redução do desmatamento na Amazônia
10	Manejo de Dejetos Animais
11	Renováveis
12	Redução do desmatamento no Cerrado
13	Produção de ferro e aço
14	Redução do desmatamento na Mata Atlântica
15	Destruição de metano em aterros
16	Expansão das florestas plantadas
17	Destruição de metano em ETEs
18	Indústria do alumínio (informatização de sistemas de controle)
19	Produção de magnésio: substituição de SF ₆ por SO ₂
20	Produção de ácido adípico: destruição térmica
21	Produção de ácido nítrico
22	CCS – Produção de cimento
23	CCS – Produção de amônia
24	CCS – Produção de ferro e aço
25	Revegetação de corredores ecológicos no bioma Mata Atlântica
26	Incremento do uso de Biodiesel
27	Eficiência energética

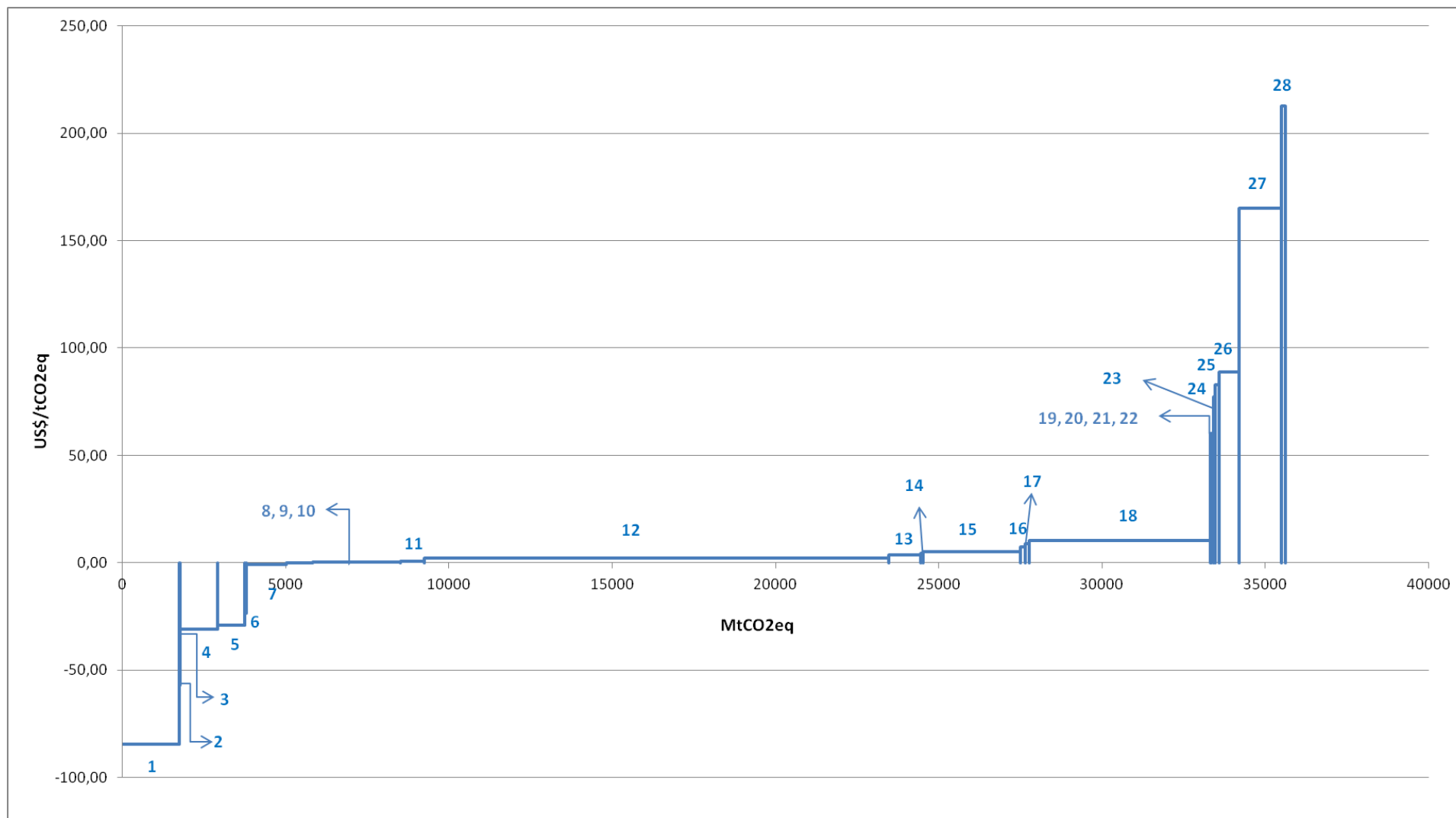


Figura 22 Curva de custo marginal de abatimento do Cenário C em relação ao Cenário A de 2011 a 2030

Legenda da Figura 20

Cenário C em relação ao Cenário A (de 2011 a 2030)	
1	Hidrelétricas
2	Uso de material reciclado (cimento)
3	Produção de amônia (novas tecnologias)
4	Renováveis
5	Efic. Energ. (eletric. geral)
6	Produção de cimento (uso de novos materiais compostos)
7	Incremento do uso de Etanol
8	Fixação Biológica de Nutrientes
9	Plantio Direto
10	Recuperação de Pastagens
11	Integração Lavoura-Pecuária
12	Redução do desmatamento na Amazônia
13	Redução do desmatamento na Mata Atlântica
14	Manejo de Dejetos Animais
15	Redução do desmatamento no Cerrado
16	Produção de ferro e aço
17	Incremento do uso de carvão vegetal na siderurgia
18	Expansão das florestas plantadas
19	Indústria do alumínio (informatização de sistemas de controle)
20	Produção de magnésio: substituição de SF ₆ por SO ₂
21	Produção de ácido adípico: destruição térmica
22	Produção de ácido nítrico
23	CCS – Produção de cimento
24	CCS – Produção de amônia
25	CCS – Produção de ferro e aço
26	Eficiência energética
27	Revegetação de corredores ecológicos no bioma Mata Atlântica
28	Incremento do uso de Biodiesel

A figura a seguir, apresenta uma comparação entre os custos dos dois cenários alternativos, *vis a vis* o Cenário A sintetizando os valores das curvas das figuras 18 e 19.

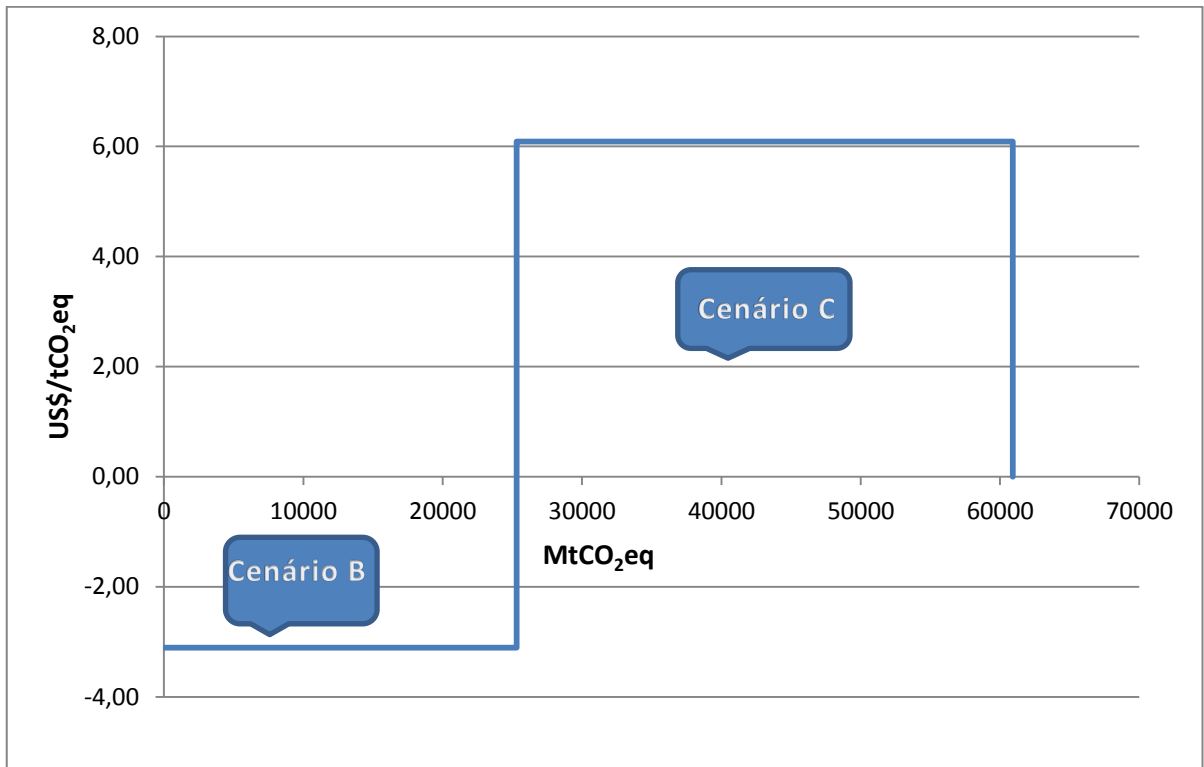


Figura 23 Custo médio das ações de mitigação dos Cenários B e C em relação ao Cenário A e potencial de abatimento de 2011 a 2030



11. Conclusão

Este trabalho construiu três cenários de emissões de gases de efeito estufa para a economia brasileira (cenários A, B e C) para os períodos 2011-2020 e 2021- 2030. O Cenário A traça uma trajetória de referência, sem medidas de mitigação. O Cenário B incorpora até 2020 as ações de mitigação preconizadas na Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009 e Decreto 7.390, de 9 de dezembro de 2010). O Cenário C introduz novas medidas de mitigação consideradas factíveis.

Analisando-se o conjunto das ações de mitigação (Cenário C em comparação ao Cenário A) de cada um dos setores no período 2011-2030, observa-se que no setor de energia, as ações de mitigação consideradas são todas elas custo-efetivas. A hidroeletricidade é a que apresenta as melhores condições, ou seja, dado o crescimento da demanda, a substituição da oferta de térmicas que usam gás natural por geração à hidroeletricidade resulta em ganhos de US\$ 85 por tonelada evitada, ou seja, tem um custo negativo (ou benefício). Com o uso de renováveis, o benefício é um pouco menor, mas mesmo assim a economia brasileira ainda tem ganhos de US\$ 31 por tonelada não emitida. Medidas de eficiência energética também apresentam custo-efetividade bastante relevante, pois a cada tonelada não emitida devido a medidas desta natureza, os ganhos econômicos são de US\$ 28. Juntas estas ações têm capacidade de mitigação de 3,7 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente, até 2030.

No setor de transportes, a substituição de gasolina por etanol tem custo de abatimento de emissões também negativo. No Cenário C, este custo médio é de -US\$ 1 por tonelada não emitida, no período 2011-2030 em comparação com o Cenário A. Já o biodiesel apresenta um custo relativamente muito elevado em qualquer cenário e período, chegando a US\$ 213/t CO₂eq também no Cenário C em comparação ao A. Observe-se que a utilização de biocombustíveis pode significar a mitigação de 1,3 bilhão de toneladas de dióxido de carbono equivalente, até 2030, sendo que 90% devido ao etanol.

No que se refere à indústria, o destaque fica a cargo da eficiência energética no uso de combustíveis. Mas isto para as ações do Cenário B que têm custo negativo, alcançando -US\$ 57 por tonelada reduzida para uma mitigação de 299 milhões de toneladas de CO₂eq para todo o período cenarizado. Entretanto, esgotadas as medidas custo-eficientes, para ir além

desta mitigação reduzindo-se as emissões em mais 294 milhões de toneladas com eficiência energética, o custo passa para outro patamar quando então alcança um valor médio de US\$ 238 por tonelada reduzida (comparando-se os cenários C e B). Comparando-se os cenários C e A, o potencial total da eficiência energética é de 593 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente, a um custo médio de US\$ 90/tCO₂eq.

Reduzir o desmatamento na Amazônia, como apontado por diversos autores, é a medida de maior alcance não somente em Mudança de Uso do Solo e Florestas, mas na economia brasileira como um todo. A cada tonelada reduzida, tem-se um custo de apenas US\$ 2,3, sendo a possibilidade de mitigação neste setor de 14,2 bilhões de toneladas no período 2011-2030 comparando-se os Cenários C e A. É importante ressaltar que o valor da biodiversidade não está refletido no custo do carbono não emitido. Se os demais benefícios ambientais fossem incorporados na avaliação, sem dúvida os ganhos pela preservação da floresta em pé seriam muito maiores.

A redução do desmatamento na Mata Atlântica apresenta, da mesma forma, um custo baixo, mas dado o estado de conservação deste bioma, já bastante reduzido em termos de área remanescente, o alcance das medidas de mitigação é relativamente reduzido, chegando a 997 milhões de toneladas de dióxido de carbono comparando-se os Cenários C e A. Os custos da recomposição deste bioma alcançam US\$ 165/t CO₂eq e pela ótica da mitigação de emissões de gases de efeito estufa esta somente se justifica, esgotadas outras de maior custo-efetividade. Ressalte-se que o valor da Mata Atlântica não está em consideração, posto que exatamente por sua escassez e riqueza de biodiversidade, deve alcançar patamares muito elevados. A opção relativa à conservação do Cerrado, tal qual a conservação da Amazônia tem também um custo modesto, de US\$ 5/tCO₂eq e um potencial de mitigação de três bilhões de toneladas.

O setor de resíduos apresenta uma peculiaridade em relação aos demais. A necessidade premente de destinação adequada, seja de resíduos sólidos urbanos, seja de esgotos sanitários, preconizada nas políticas de saneamento, deverá promover a implantação de aterros sanitários e de estações de tratamento, muitas delas anaeróbicas, que paradoxalmente, deverão aumentar as emissões de gases de efeito estufa por conta do ambiente anaeróbio destas instalações, propício à formação de metano. Assim, os esforços de saneamento deverão ser acompanhados de medidas de mitigação. As aqui estimadas, apresentam custos de US\$ 10por tonelada reduzida em aterros com o



abatimento de 224 milhões de toneladas de CO₂eq. No caso de esgotos, os custos são de US\$ 11 por tonelada, para modestos 8,4 milhões de toneladas reduzidas.

Por fim, cabe mencionar que na agropecuária, a recuperação de pastagens e o plantio direto são medidas altamente custo-eficientes, com custos de US\$ 0,1 por tonelada reduzida cada uma delas. No primeiro caso, obtém-se um abatimento de 2,7 bilhões de toneladas e no segundo 421 milhões de toneladas, no período 2011-2030 comparando-se os Cenários C e A. As demais medidas também são custo-efetivas, sendo que a integração lavoura-pecuária permite um abatimento de 719 milhões de toneladas ao custo de US\$ 0,7 por tonelada.

Como exposto, os custos de abatimento no Brasil se apresentam relativamente baixos, em face dos custos de outras economias. Entretanto, se considerarmos que as emissões do desmatamento são atribuíveis às atividades econômicas, o País não pode ser considerado como tendo uma economia de baixo carbono. A Política Nacional sobre Mudança do Clima é um passo muito importante na implantação deste modelo de desenvolvimento até 2020.

A partir de então, se novas medidas não forem tomadas, o País voltará a uma trajetória crescente de emissões, onde os patamares de custo já não serão os mesmos do período anterior como mencionado. Os baixos custos médios de mitigação mencionados para o Cenário C no período 2011-2030, em comparação ao Cenário A, se devem principalmente aos baixos custos relativos das ações do Cenário B que integram o Cenário C para efeitos de comparação com o Cenário A. Uma análise das medidas do Cenário C como apresentada no decorrer do trabalho, revela que os custos adicionais ao Cenário B são bem mais elevados e podem requerer investimentos mais substanciais.

12. Referências Bibliográficas

- ABRELPE. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2008*. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. São Paulo. 2008.
- _____. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2009*. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. São Paulo. 2009
- AGRIANUAL 2008. Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira. Instituto FNP Consultoria & Agroinformativos. São Paulo. Brasil.
- ALVES, J. W. S. e S. M. M. VIEIRA. *Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de referência – emissões de gases de efeito estufa no tratamento e disposição de resíduos*. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo- CETESB. São Paulo. 2010
- ANFAVEA, 2010. Carta da Anfavea. Resultados de maio e de janeiro-maio de 2010.
- ANGONESE, A. R.; CAMPOS A. T., WELTER A. R.. Greenhouse gas emission mitigation from a pig farm with digester. Engenharia Agrícola. vol.27 no.3 Jaboticabal. Dec. 2007. Retirado de:
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162007000400007&script=sci_arttext&tlng=en
- BRASIL, 2007. Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030. PNE 2030. Rio de Janeiro: EPE, 2007
- BRASIL, 2008 – Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC. 2008. Brasília- DF.
- BRASIL, 2009. Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura
- BRASIL, 2010. Segunda Comunicação Nacional. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima, 2010. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Brasília: MCT. 2010. 280 p. Disponível em: www.mct.gov.br/clima. Acesso em: out. 2010.
- BRASIL, 2010a. Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 (PDE 2020). Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2011.
- BRASIL, 2010b. Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica de 25/10/2010. Abatimento das emissões relacionadas à produção e ao uso da energia no Brasil até 2020.
- BRASIL. 2007. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.
- BRASIL, 2010c. Decreto nº 7.390, 09 de Dezembro de 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio: Brasil 2009/2010 a 2019/2020/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. – Brasília : Mapa/ACS, 2010.76 p
- CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem). Pesquisa Ciclosoft 2010. Disponível em www.cempre.org.br. Acesso em jan. 2011.



- CNI – Confederação Nacional da Indústria. Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria (2010).
- EIA/DOE [Energy Information Administration – Department of Energy]. Electricity Market Module. In: International Energy Outlook. 2010.
- EPA – Environmental Protection Agency. Global Mitigation of Non-CO₂ Greenhouse Gases. Washington DC (Estados Unidos): EPA, 2006.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). Recycling. 2010. Disponível em www.epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/recycling-chapter10-28-10.pdf. Acesso em jan. 2011.
- EPE, 2011 - Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2020.
- EPE, 2010a – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2010: ano base 2009.
- EPE, 2010b – Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2019.
- EPE, 2009 – [Empresa de Pesquisa Energética]. Nota Técnica DEA-03/09. Premissas Sociodemográficas de Longo Prazo. Rio de Janeiro, abril de 2009.
- EPE, 2007 – [Empresa de Pesquisa Energética]. Plano Nacional de Energia 2030.
- FAO (Food and Agriculture Organization). Country Profile: Food Security Indicators – Country: Brazil. 2009. Disponível em www.fao.org. Acesso em dez. 2010.
- GOUVELLO, C. D.; SOARES FILHO, B. S.; NASSAR, A.; SCHAEFFER, R.; ALVES, F. J.; ALVES, J., 2010 W. S. *Estudo de Baixo Carbono para o Brasil*. Departamento de Desenvolvimento Sustentável – Região da América Latina e Caribe/Banco Mundial. Washington, p.280. 2010
- HENRIQUES JUNIOR, M.F. et al., 2010 Estudos de baixo carbono para o Brasil: Emissões do Setor da Indústria (Relatório Técnico). Banco Mundial, 2010.
- HENRIQUES JUNIOR, M.F., 2010. Potencial de Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa pelo Uso de Energia no Setor Industrial Brasileiro. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2010.
- IBGE, 2004 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002-2003. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pof/2002analise/analise.pdf. Acesso em nov. de 2010
- IBGE, 2010 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em www.sidra.ibge.gov.br/pnad/pnadpb.asp?o=3&i=P. Acesso em out. 2010.
- IBGE, 2008 [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística]. Projeção da População do Brasil por sexo e idade: 1980-2050. Revisão 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

- IBGE, 2006 Censo Agropecuário de 2006. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>
- IIASA, 2010 – International Institute for Applied Systems Analysis. Potentials and costs for mitigation of non-CO₂ greenhouse gas emissions in the European Union until 2030. Laxemburg (Austria): IIASA, 2010.
- INPE, 2009. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto PRODES Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>
- IPAM, 2007. Os custos e os benefícios da redução das emissões de carbono do desmatamento e de degradação de florestas na Amazônia brasileira. In: Economia do Clima. 2010. Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades. Editado por Margulis, S. & Dubeux, C. São Paulo – SP. 82 p.
- IPCC, 2006 (Intergovernmental Panel on Climate Change). Guidelines for national greenhouse gas inventories. Disponível em <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- ISWA, 2010 (International Solid Waste Association). Waste and Climate Change. ISWA White Paper. Vienna, Austria: 2010.
- LA ROVERE, E. L.; PEREIRA, A.; AVZARADEL, A.C.; SIMÕES, A.F.; DUBEUX, C.B.S.; MARIANO, J. B.; COSTA, R. C.; WILLS, W.; KRUG, T.; LIMA, M. A.; BARIONI, L. G.; MARTHA, G.; MACHADO FILHO, H., 2006. Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas. Center for Clean Air Policy (CCAP). Greenhouse Gas Mitigation in Brazil: Scenarios and Opportunities through 2025. Washington, novembro 2006.
- LEITE, Rogério Cezar de Cerqueira, 2007. Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo. Rogério Cezar de Cerqueira Leite e Luís Augusto Barbosa Cortez (Coord.). – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2007
- MARGULIS, S., DUBEUX, C.B.S., MARCOVITCH, J. (eds.), 2010. Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades. IBEP Gráfica, São Paulo.
- McKINSEY & COMPANY, 2009. Caminhos para uma Economia de Baixa Emissão de Carbono no Brasil.
- MCT, 2010 – “Relatório de Referência – Emissões de Metano por Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos de Animais”, publicado por MCT. Disponível em <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/330376.html>.
- MCT, 2009 – Ministério da Ciência e Tecnologia. Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Informações Gerais e Valores Preliminares. Brasília: MCT, 2009. Disponível em www.cetesb.sp.gov.br/geesp/docs/brasil/6.pdf.



- MCT, 2002 [Ministério da Ciência e Tecnologia]. Emissões de Gases de Efeito Estufa por Queima de Combustíveis: Abordagem Bottom-Up. Brasília, 2002.
- MMA, 2009. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Brazil's Contribution to Climate Change Mitigation. Brazilian Government. Brasília – DF. 24 p.
- MME, 2005 – Ministério de Minas e Energia. Balanço de Energia Útil. Brasília: MME, 2005.
- MORAES, C. e G. PICILLO, 2009. Queima do lixo no Brasil pode gerar 300 MW de energia em 5 anos. GP Comunicação 2009.
- MOUTINHO, P. 2009. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. Coalizão de Empresa pelo Clima. Desmatamento na Amazônia: desafios para reduzir as emissões brasileiras. 26 p.
- PNUD, 2010 (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). Disponível em: www.pnud.org.br/administracao/reportagens/index.php?id01=3439&lay=apu. Acesso em out. 2010.
- QUEIROZ, G. C. & GARCIA, E. E. C., 2010 Política Nacional de Resíduos Sólidos – O impacto da nova lei contra o aquecimento global. *Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens*. Informativo CETEA. V. 22. n.3. 2010.
- RODIGHERÍ, H. R., 1997. Rentabilidade econômica comparativa entre plantios florestais e sistemas agroflorestais com erva-mate, eucalipto e pinos e as culturas do feijão, milho, soja e trigo. Circular técnica, 26 ISSN 0101-1847. 1997
- ROVERE, E.L.L.; WILLS, W.; OBERMAIER, M.; OBERLING, D.F., 2008. Analysis of Medium-Term (2010-2035) Brazilian Ethanol Domestic Demand and Production Scenarios. Laboratório Interdisciplinar do Meio Ambiente (LIMA), Rio de Janeiro.
- SALVADOR, N. N., 1991 Listagem de fatores de emissão para avaliação expedita de cargas poluidoras das águas. In: 16º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia.
- STRASSBURG B. B. N., 2009. Os Determinantes Agrícolas e o Retorno Econômico do Desmatamento na Amazônia Brasileira entre 1997-2005 e 2010-2050. In: Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades. Editado por Margulis, S. & Dubeux, C. e Marcovitch, J., no prelo.
- WILLS, W., ROVERE, E.L.L., 2009. Light vehicle energy efficiency programs and their impact on Brazilian CO₂ emissions. Energy Policy, doi: 10.1016/j.enpol.2009.06.057