



MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA PELA
IMPLEMENTAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS E
MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL E NO ESTADO E NA CIDADE DO
RIO DE JANEIRO

Saulo Machado Loureiro

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Planejamento Energético.

Orientador: Emilio Lèbre La Rovere

Rio de Janeiro
Junho de 2019

MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA PELA
IMPLEMENTAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS E
MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL E NO ESTADO E NA CIDADE DO
RIO DE JANEIRO

Saulo Machado Loureiro

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM
PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

Prof. Emilio Lèbre La Rovere, D.Sc.

Prof. Marco Aurélio dos Santos, D.Sc.

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas, D.Sc.

Prof. Cláudio Fernando Mahler, D.Sc.

Dr. Luciano Basto Oliveira, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2019

Loureiro, Saulo Machado

Mitigação das Emissões dos Gases de Efeito Estufa pela Implementação de Políticas Públicas de Resíduos Sólidos e Mudanças Climáticas no Brasil e no Estado e na Cidade do Rio de Janeiro/Saulo Machado Loureiro. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XVI, 242 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Emilio Lèbre La Rovere.

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 120-135.

1. Resíduos Sólidos. 2. Biogás. 3. Efeito Estufa. 4. Mudanças Climáticas. 5. Mitigação. 6. Aproveitamento Energético. I. Rovere, Emilio Lèbre La. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA PELA
IMPLEMENTAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS E
MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL E NO ESTADO E NA CIDADE DO
RIO DE JANEIRO

Saulo Machado Loureiro

Junho/2019

Orientador: Emilio Lèbre La Rovere

Programa: Planejamento Energético

Esta pesquisa apresenta os potenciais de mitigação de emissões de gases do efeito estufa (GEE) pelo aprimoramento da gestão dos resíduos sólidos urbanos e pela política climática no Brasil, no Estado do Rio de Janeiro e na Cidade do Rio de Janeiro, de 2020 a 2050. As bases utilizadas foram as comunicações nacionais do Brasil assim como os inventários de emissões de GEE para as três áreas geográficas pesquisadas, através de metodologia elaborada a partir das Diretrizes para Inventários Nacionais de GEE, do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, adaptada à realidade brasileira. Com isso, foram construídos cenários de emissões de GEE até 2050, em função de estimativas sobre a evolução de parâmetros socioeconômicos e tecnológicos relacionados ao tratamento de resíduos. Foram calculados os potenciais de abatimento das emissões nos cenários e seus respectivos custos marginais, assim como os potenciais de ganhos com a geração de energia decorrente do tratamento do lixo e respectivos créditos de carbono. Os resultados mostram que a implementação das políticas públicas de resíduos sólidos e, sobretudo, as ações relacionadas à mitigação das emissões de GEE associadas ao aproveitamento energético poderão viabilizar a expansão da infraestrutura do tratamento dos resíduos sólidos nos municípios brasileiros nas próximas décadas.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

MITIGATION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS BY IMPLEMENTING THE
WASTE AND CLIMATE CHANGE PUBLIC POLICIES IN BRAZIL, IN THE STATE
AND CITY OF RIO DE JANEIRO

Saulo Machado Loureiro

June/2019

Advisor: Emilio Lèbre La Rovere

Department: Energy Planning

This study presents the potential for mitigation of greenhouse gas emissions (GHG) that could be achieved by improving urban solid waste management and climate policy in Brazil, in the State of Rio de Janeiro and in the City of Rio de Janeiro, from 2020 to 2050. The basic data for the study was drawn from the national communications to UNFCCC and the GHG emissions inventories of the above-mentioned geographic areas, through a method adapted from the Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National GHG Inventories to Brazilian circumstances. Thus, GHG emission scenarios were built by 2050, based on socioeconomic and technological growth estimates related to waste treatment. The emission abatement potential were calculated as their respective marginal costs as well as the potential gains of energy generation from waste treatments and respective carbon credits. The results indicate that the implementation of solid waste public policies, especially actions related to mitigation of GHG emissions, associated to energy recovery, do may enable the expansion of solid waste infrastructure in Brazilian municipalities in the coming decades.

ÍNDICE DO TEXTO

CAPÍTULO I	1
1.1 HIPÓTESE.....	4
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	7
1.3 DELIMITAÇÃO DO ESCOPO DA PESQUISA.....	8
1.4 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS UTILIZADOS NA PESQUISA	12
1.5 SUMÁRIO DOS CAPÍTULOS	14
CAPÍTULO II	17
HISTÓRICO DA QUESTÃO ENERGÉTICA E AMBIENTAL	17
2.1 AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A CONVENÇÃO DO CLIMA	23
2.1.1 O MERCADO DE CARBONO	29
2.2 HISTÓRICO DAS POLÍTICAS CLIMÁTICAS NO BRASIL	32
2.2.1 A POLÍTICA CLIMÁTICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	36
2.2.2 A POLÍTICA CLIMÁTICA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO	39
CAPÍTULO III	40
O ESTADO DA ARTE NO GERENCIAMENTO DOS RSU	40
3.1 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO	40
3.1.1 COMPACTAÇÃO	40
3.1.2 TRITURAÇÃO	40
3.1.3 RECICLAGEM	40
3.1.4 TRATAMENTO TÉRMICO E INCINERAÇÃO	42
3.1.5 TRATAMENTO BIOLÓGICO	43
3.1.5.1.COMPOSTAGEM.....	44
3.1.5.2.TRATAMENTO POR DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	45
3.1.5.3.TRATAMENTO POR DIGESTÃO AERÓBIA.....	46
3.1.5.4.TRATAMENTO POR DIGESTÃO SEMIAERÓBIA.....	46
3.1.6 ATERRAMENTO	46
3.1.7 RECUPERAÇÃO DE BIOGÁS	48
3.2 O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	48
3.2.1 A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL	52
3.2.2 A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	56
3.2.3 A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO	57
CAPÍTULO IV	61
METODOLOGIA UTILIZADA NA PESQUISA	61
4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	61

4.2	MÉTODO DE PESQUISA.....	62
4.3	AS ETAPAS DA PESQUISA.....	63
4.3.1	DESCRIÇÃO DO MODELO DE ESTUDO.....	64
4.3.2	RECEITAS DAS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE CARBONO	70
4.3.3	CUSTOS DE ABATIMENTO DAS EMISSÕES DE CARBONO	72
4.3.4	RECEITAS DAS REDUÇÕES CERTIFICADAS DE EMISSÕES DE CARBONO	74
4.4	LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	75
4.5	POTENCIAIS DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWP E GTP).....	76
	CAPÍTULO V.....	80
	CENÁRIOS FUTUROS DE EMISSÕES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	80
5.1	SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ADOTADO	80
5.2	CENÁRIOS DE EMISSÕES NO BRASIL	82
5.2.1	CENÁRIO SOCIOECONÔMICO NO BRASIL.....	82
5.2.2	PREMISSAS ADOTADAS PARA A CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS NO BRASIL.....	82
5.2.3	PROJEÇÃO DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL	86
5.2.4	EVOLUÇÃO DOS CENÁRIOS DE EMISSÕES NO BRASIL	87
5.3	CENÁRIOS DE EMISSÕES NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	88
5.3.1	CENÁRIO SOCIOECONÔMICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	89
5.3.2	PREMISSAS ADOTADAS PARA A CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS.....	89
5.3.3	A PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	94
5.3.4	EVOLUÇÃO DOS CENÁRIOS DE EMISSÕES NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	95
5.4	CENÁRIOS DE EMISSÕES DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO.....	96
5.4.1	CENÁRIO SOCIOECONÔMICO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO	97
5.4.2	PREMISSAS ADOTADAS PARA A CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS.....	97
5.4.3	A PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO.....	102
5.4.4	EVOLUÇÃO DOS CENÁRIOS DE EMISSÕES NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO.....	103
	CAPÍTULO VI.....	106
	RESULTADOS DOS CENÁRIOS DE MITIGAÇÃO.....	106
6.1	CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS NO BRASIL.....	106
6.1.1	POTENCIAIS DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES NO BRASIL.....	107
6.1.2	EVOLUÇÃO DAS INTENSIDADES DE EMISSÕES NO BRASIL	108
6.1.3	POTENCIAIS RECEITAS DAS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO NO BRASIL	108
6.2	CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS NO ESTADO DO RJ	109
6.2.1	POTENCIAIS DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES NO ESTADO DO RJ	109
6.2.2	EVOLUÇÃO DAS INTENSIDADES DE EMISSÕES NO ESTADO DO RJ	110

6.2.3	POTENCIAIS RECEITAS DAS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO NO ESTADO DO RJ	111
6.3	CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO	111
6.3.1	POTENCIAIS DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO.....	112
6.3.2	EVOLUÇÃO DAS INTENSIDADES DE EMISSÕES NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO	112
6.3.3	POTENCIAIS RECEITAS DAS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO	113
	CAPÍTULO VII	114
	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	114
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
	APÊNDICE A – MÉTODO DE CÁLCULO UTILIZADO	137
A.1	EMISSIONES DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS POR ATERRAMENTO	137
A.2	EMISSIONES DO TRATAMENTO BIOLÓGICO DE RESÍDUOS	141
A.3	EMISSIONES DO TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS	142
A.4	CUSTOS DE ABATIMENTO DAS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO	143
	APÊNDICE B – DADOS E RESULTADOS – BRASIL.....	146
	APÊNDICE C – DADOS E RESULTADOS - RIO DE JANEIRO (ESTADO) ..	177
	APÊNDICE D – DADOS E RESULTADOS - RIO DE JANEIRO (CIDADE) ...	211

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - VARIAÇÃO DO BARRIL DE PETRÓLEO CRU EM DÓLARES PÓS 2ª GUERRA (PREÇOS DE 2010).....	19
FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO FUNCIONAMENTO DO EFEITO ESTUFA	24
FIGURA 3 - CONTRIBUIÇÃO PROPORCIONAL DOS PRINCIPAIS GASES DO EFEITO ESTUFA	24
FIGURA 4 - TENDÊNCIA DE PREÇO DO MERCADO DE CARBONO NOS ÚLTIMOS 10 ANOS	31
FIGURA 5 - EMISSÕES DE GEE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO POR SETORES PRODUTIVOS EM 2005.....	37
FIGURA 6 - EMISSÕES DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO EM RELAÇÃO ÀS EMISSÕES DO BRASIL EM 2005	38
FIGURA 7 - USINA PILOTO DE TRATAMENTO TÉRMICO COM GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO RIO DE JANEIRO.....	43
FIGURA 8 – FORMAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NOS PAÍSES DA UNIÃO EUROPEIA EM 2017	49
FIGURA 9 - DESTINO FINAL DO RESÍDUO COLETADO NO BRASIL, POR UNIDADE DE MASSA DE RSU COLETADO.....	53
FIGURA 10 - PARTICIPAÇÃO DOS SUBSETORES NAS EMISSÕES DE CH ₄ DO BRASIL EM 2010.....	55
FIGURA 11 - ESQUEMA PARA ESTIMATIVA DE REDUÇÕES DAS EMISSÕES ALCANÇÁVEIS POR DIFERENTES CENÁRIOS	66
FIGURA 12 - EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO POR ATERRAMENTO DE RESÍDUOS.....	70
FIGURA 13 - EVOLUÇÃO DA VIDA ÚTIL DOS ATERROS SANITÁRIOS LICENCIADOS NA RMRJ VERSUS DEMANDA.....	93
FIGURA 14 – CAPTURA DE BIOGÁS NO ATERRO DE GRAMACHO DE 2010 A 2027 E PROJEÇÃO ATÉ 2050.....	98
FIGURA 15 - EVOLUÇÃO DA VIDA ÚTIL DOS ATERROS DE SEROPÉDICA E NOVA IGUAÇU VERSUS DEMANDA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO	102
FIGURA 16 - EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES BRASILEIRAS NO TRATAMENTO DE RSU DE 2005 A 2050	107
FIGURA 17 - EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES FLUMINENSES NO TRATAMENTO DE RSU DE 2005 A 2050	109
FIGURA 18 - EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES CARIOCAS NO TRATAMENTO DE RSU DE 2005 A 2050.....	112

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - METAS E AÇÕES VOLUNTÁRIAS DE MITIGAÇÃO ADOTADAS NA COP-15	27
TABELA 2 - AÇÕES ESTABELECIDAS PARA O CUMPRIMENTO DAS METAS DE REDUÇÃO DA PNMC	34
TABELA 3 – PRINCIPAIS BARREIRAS À ADOÇÃO DE AÇÕES DE MITIGAÇÃO NOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO.....	35
TABELA 4 - PRINCIPAIS RESÍDUOS POTENCIALMENTE REICLÁVEIS, POR CATEGORIA.....	41
TABELA 5 - EMISSÕES PER CAPITA DO TRATAMENTO DE RSU EM CIDADES E PAÍSES, EM K _G CO ₂ E/HAB	51
TABELA 6 - DESTINO FINAL DOS RSU NO BRASIL, POR UNIDADE DE DISPOSIÇÃO NO SOLO DE 1989 A 2017.....	53
TABELA 7 - EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DOS GEE DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL (10 ³ T).....	55
TABELA 8 – HISTÓRICO DAS EMISSÕES DE GEE POR TRATAMENTO DE RSU NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (10 ³ TCO ₂ E)	57
TABELA 9 - HISTÓRICO DAS EMISSÕES DE GEE POR TRATAMENTO DE RSU NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (10 ³ TCO ₂ E)	60
TABELA 10 – CUSTOS UNITÁRIOS E BENEFÍCIOS POR MEDIDAS DE MITIGAÇÃO E TRATAMENTO DE RSU.....	75
TABELA 11 – EVOLUÇÃO DO GWP-100 PARA CH ₄ E N ₂ O SEGUNDO IPCC (2000, 2007A, 2013).....	77
TABELA 12 - GWP E GTP POR FEEDBACKS DE CARBONO CLIMÁTICO PARA CH ₄ E N ₂ O (IPCC, 2013)	78
TABELA 13 - NÍVEL DE ATIVIDADE DO TRATAMENTO DE RSU NO BRASIL, NO CENÁRIO A, DE 2020 A 2050.....	83
TABELA 14 - NÍVEL DE ATIVIDADE DO TRATAMENTO DE RSU NO BRASIL, NO CENÁRIO B, DE 2020 A 2050.....	85
TABELA 15 - NÍVEL DE ATIVIDADE DO TRATAMENTO DE RSU NO BRASIL, NO CENÁRIO C, DE 2020 A 2050.....	86
TABELA 16 - NÍVEL DE ATIVIDADE DO TRATAMENTO DE RSU NO BRASIL, DE 2005 A 2017 .	87
TABELA 17 - EMISSÕES DO TRATAMENTO DE RSU NO BRASIL, POR CENÁRIO E TRATAMENTO FINAL (MTCO ₂ E)	88
TABELA 18 - NÍVEL DE ATIVIDADE NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, NO CENÁRIO A, DE 2020 A 2050	90
TABELA 19 - NÍVEL DE ATIVIDADE NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, NO CENÁRIO B, DE 2020 A 2050	92
TABELA 20 - NÍVEL DE ATIVIDADE NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, NO CENÁRIO C, DE 2020 A 2050	93
TABELA 21 - NÍVEL DE ATIVIDADE DO TRATAMENTO DE RSU NO ESTADO DO RJ DE 2005 A 2017	94
TABELA 22 - EMISSÕES DO TRATAMENTO DE RSU NO ESTADO DO RJ, POR CENÁRIO E TRATAMENTO FINAL (MTCO ₂ E)	96
TABELA 23 - NÍVEL DE ATIVIDADE NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, NO CENÁRIO A, DE 2020 A 2050	98
TABELA 24 - NÍVEL DE ATIVIDADE NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, NO CENÁRIO B, DE 2020 A 2050	100

TABELA 25 - NÍVEL DE ATIVIDADE NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, NO CENÁRIO C, DE 2020 A 2050	102
TABELA 26 - NÍVEL DE ATIVIDADE DO TRATAMENTO DE RSU NA CIDADE DO RIO DE 2005 A 2017.....	103
TABELA 27 - EMISSÕES DO TRATAMENTO DE RSU NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, POR CENÁRIO E TRATAMENTO FINAL (10 ³ T)	104
TABELA 28 - RESULTADOS CONSOLIDADOS DOS CENÁRIOS DE EMISSÕES (10 ³ TCO ₂ E) ...	106
TABELA 29 - POTENCIAIS DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE ENTRE OS CENÁRIOS NO BRASIL (MTCO ₂ E).....	107
TABELA 30 – EVOLUÇÃO DAS INTENSIDADES DE EMISSÕES DE GEE ENTRE OS CENÁRIOS NO BRASIL.....	108
TABELA 31 – POTENCIAIS DE RECEITAS ACUMULADAS DE REDUÇÕES CERTIFICADAS DE CARBONO NO BRASIL	108
TABELA 32 - POTENCIAIS DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE ENTRE OS CENÁRIOS DO ESTADO DO RJ (MTCO ₂ E).....	109
TABELA 33 – EVOLUÇÃO DAS INTENSIDADES DE EMISSÃO DE GEE ENTRE OS CENÁRIOS NO ESTADO DO RJ.....	110
TABELA 34 – POTENCIAIS DE RECEITAS DE REDUÇÕES CERTIFICADAS DE CARBONO NO ESTADO DO RJ.....	111
TABELA 35 - POTENCIAIS DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE ENTRE OS CENÁRIOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (MTCO ₂ E)	112
TABELA 36 – EVOLUÇÃO DAS INTENSIDADES DE EMISSÕES DE GEE ENTRE OS CENÁRIOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO	113
TABELA 37 – POTENCIAIS DE RECEITAS DE REDUÇÕES CERTIFICADAS DE CARBONO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO.....	113

SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ABS – Australia Bureau of Statistics (Agência de Estatísticas da Austrália)

BGCI - Barclays Capital Global Carbon Index (Índice Global Carbono Barclays Capital)

CCX - Chicago Climate Exchange (Bolsa do Clima de Chicago)

CELURB - Companhia Estadual de Limpeza Urbana

CEPERJ - Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro

CNEN – Conselho Nacional de Energia Nuclear

COMLURB – Companhia Municipal de Limpeza Urbana da cidade do Rio de Janeiro

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COP - Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas

COPPE - Coordenação dos Programas de Pós Graduação em Engenharia

CTR - Central de Tratamento de Resíduos

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DLU - Departamento de Limpeza Urbana

DQO – Demanda química de Oxigênio

EEA - European Environment Agency (Agência Ambiental Europeia)

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

ETE – Estação de Tratamento de Esgotos

ETS - European Union Emission Trading Scheme (Esquema de Comércio de Emissões da União Europeia)

FBMC - Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro

FOD - First Order Decay Method (Método do Decaimento de Primeira Ordem)

GEE - Gases do Efeito Estufa

GHG - Greenhouse Gases (Gases do Efeito Estufa)

GWP – Global Warming Power (Poder de Aquecimento Global)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Índice da Bolsa de Chicago

INEA - Instituto Estadual do Ambiente

INDC - Intended Nationally Determined Contributions (Contribuições Nacionalmente Determinadas Pretendidas)

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

IRR – Internal Return Rate (Taxa interna de retorno)

MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e Comunicações

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério das Minas e Energia

NAMAs – Nationally Appropriate Mitigation Actions (Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas)

NBR – Norma Brasileira Registrada

NDC - Contribuição Nacionalmente Determinada

OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo

PCI – Poder Calorífico Inferior

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PEBD – Polietileno de Baixa Densidade

PET - Politereftalato de Etileno

PH – Potencial hidrogeniônico

PIB – Produto Interno Bruto

PNMC - Política Nacional sobre Mudança do Clima

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PROINFA - Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

PVC - policloreto de polivinila

RCE – Redução Certificada de Emissões (ou Créditos de Carbono)

RFSSS – Russian Federal State Statistics Service (Serviço de Estatísticas do Estado Federal da Rússia)

RIO-92 – Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente 1992

RIO+10 - Convenção das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável 2002

RIO+20 - Convenção das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável 2012

RJ – Estado do Rio de Janeiro

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SBJ – Statistics Bureau of Japan (Serviço de Estatísticas do Japão)

SEA-RJ - Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Rio de Janeiro

SEMA - Secretaria Nacional de Meio Ambiente

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SNZ – Statistics New Zealand (Estatísticas da Nova Zelândia)

SRES - Special Report on Emissions Scenarios (Relatório Especial sobre Cenários de Emissões)

STATCAN – Statistics Canada (Estatísticas do Canadá)

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNFCCC – United Nation Framework Convention on Climate Change (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas)

US CENSUS - United States Census Bureau (Serviço de Recenseamento dos Estados Unidos)

VRES – Valor de Referência Específico (para contratação de geração distribuída)

Numa aula inaugural de doutorado, um sábio professor ponderando sobre as dificuldades do curso, que não poderia ser mais difícil que um mestrado; e que este por sua vez tão pouco em relação a uma graduação, e assim por diante..., seguindo essa lógica até concluir que o mais difícil ensinamento da vida é de fato aprender a ler e escrever...

Dedico esta pesquisa e suas predecessoras aos meus avós maternos, José Martins Machado (in memoriam) e Edith Marques Machado (in memoriam), que me ensinaram a ler e a escrever, meus primeiros professores.

"Eu caminhei essa longa estrada para a liberdade. Mas eu descobri que depois de escalar uma grande montanha, há outras montanhas a serem vencidas. Eu descansei por um instante para apreciar a incrível vista que me cercava. Olhei para trás e vi a distância que percorri. Mas só posso descansar por um momento. Porque com a liberdade vêm outras responsabilidades. E sequer me atrevo a demorar a continuar. A minha caminhada ainda não terminou."

Nelson Rolihlahla Mandela

AGRADECIMENTOS

Agradecer é, essencialmente, reconhecer que precisamos sempre de alguém, em algum momento de nossas vidas, os que participaram de alguma forma deste trabalho, de modo que sem eles teria sido mais difícil ou mesmo impossível.

Primeiramente agradeço a Deus e à minha família, por esta e todas as demais realizações da minha vida. Em especial agradeço à minha esposa Quitéria Cyntia Dias Lopes Machado Loureiro, que nunca me deixou desistir, principalmente quando já não havia ânimo para prosseguir. E aos meus pais Justino Luiz Correia Loureiro e Palmira Marques Machado Loureiro, por estarem sempre presentes, na derrota e na vitória.

Ao Professor Emilio Lèbre La Rovere, do Programa de Planejamento Energético, meu agradecimento por todo seu precioso tempo dispensado à minha orientação, seus ensinamentos extremamente valiosos mas, sobretudo, minha admiração pela sua capacidade de transmitir conhecimento, por seu apoio e por sempre ter acreditado na minha formação de doutor em ciências, em meio aos momentos de dificuldades pelas quais passei nesse período. Minha mais sincera gratidão.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro e ao colegiado do Programa de Planejamento Energético, em especial ao Professor Amaro Olímpio Pereira Júnior, por sua participação e constante empenho em meu apoio, fundamentais para superação dos obstáculos que surgiram no transcorrer do curso, possibilitando essa oportunidade de ganho de conhecimento.

Aos Professores Marco Aurélio dos Santos e Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas, do Programa de Planejamento Energético, Professor Cláudio Fernando Mahler, do Programa de Engenharia Civil, e ao Doutor Luciano Basto de Oliveira, da Empresa de Pesquisa Energética, pelas participações na banca de avaliação e valiosíssimas contribuições, que só vieram engrandecer ainda mais este trabalho, e ao Doutor Victor Zular Zveibil, por suas importantes contribuições durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos profissionais do Programa de Planejamento Energético e do Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente da Coppe, por toda amizade e apoio prestados nesses anos, em especial, Sandra, Paulo, Queila, Fernando, Carmen e Elza.

Capítulo I

CONTEXTUALIZAÇÃO Esta introdução apresenta as considerações iniciais sobre o tema da pesquisa, define o problema, a hipótese, os objetivos do estudo, as delimitações do escopo e define os parâmetros que foram adotados. Por fim, elabora uma breve descrição dos demais capítulos em forma de resumo expandido.

Desde que começaram a surgir as primeiras cidades, existe a produção de resíduos os quais eram essencialmente compostos por matéria orgânica. A disposição desordenada e sem controle contribuía, e até hoje contribui de forma marcante para o desenvolvimento de doenças. Para evitá-las, desenvolvia-se por hábito dispor os resíduos sólidos em valas, terrenos baldios, cursos d'água, ruas e terrenos fora dessas chamadas áreas urbanas, o que deu origem aos primeiros depósitos a céu aberto, que hoje conhecemos como lixões, transformando esses locais em criadouros de ratos, baratas, moscas e outros vetores, além de servir de alimento a suínos e outros animais domésticos, potencializando problemas sanitários e de saúde pública.

Com o desenvolvimento das ciências sanitárias foi possível relacionar a incidência de doenças com seus transmissores e, com a evolução da medicina, foi sendo construída uma ideologia de higiene pessoal, doméstica e urbana e de cuidados na erradicação de epidemias, provocando o início dos serviços de coleta de lixo domiciliar. No entanto, as áreas utilizadas para depósito, mesmo desprovidas de qualquer tecnologia de controle e operação, vinham se tornando cada vez mais caras e raras, com capacidade de recebimento de resíduos limitada e pequena vida útil.

De acordo com um recente estudo publicado pelo Banco Mundial (WORLD BANK, 2018), que analisou dados de 217 países e 367 cidades em todos os continentes do mundo, a humanidade produz anualmente uma montanha de 2 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, onde um terço não é tratado em condições adequadas e que, seguindo essa tendência, tal montante irá aumentar 70% até 2050, chegando aos 3,4 bilhões de toneladas por ano.

O estudo (WORLD BANK, 2018) estima ainda que o tratamento e disposição desse volume de lixo emitem na atmosfera 1,6 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente em gases de efeito estufa, cuja maior fonte emissora são os lixões e aterros sem sistemas de coleta de biogás. Essa emissão equivale a 5% das

emissões globais e num cenário tendencial deverá alcançar em números absolutos 2,6 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente em 2050, o que merece atenção.

Paralelamente ao aumento da produção de resíduos, mesmo com os avanços nas tecnologias de tratamento, a quantidade depositada em locais inadequados, irregulares e clandestinos vem crescendo em termos absolutos nos últimos anos no Brasil. Esse crescimento na geração e na destinação final inadequada, aliado à necessidade de reduzir as emissões de gases estufa, está dentre os principais problemas a serem enfrentados no curto prazo.

É fato que a gestão de resíduos sólidos, portanto, vem assumindo uma nova conotação, principalmente devido à consciência da sociedade em relação aos problemas relacionados ao descarte inadequado. Como qualquer fragmento da atividade humana, o lixo reproduz os valores de um grupamento social e, sendo o reflexo de suas atividades cotidianas de consumo e sua composição demonstra o seu grau de desenvolvimento.

Paralelamente, o consumo de energia sempre foi crucial para o desenvolvimento da sociedade humana ao ajudá-la a atender suas necessidades. No mundo industrializado, o desenvolvimento de recursos energéticos tem se tornado essencial ao gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, assim como à agricultura, transportes e outros pré-requisitos básicos de uma sociedade desenvolvida. O uso crescente de energia desde a revolução industrial (que será explicado no capítulo II) potencializa esses problemas, com o aquecimento global, que traz riscos potenciais para o futuro do planeta. Por outro lado pode vir a ser a solução para viabilizar o saneamento.

Segundo Mahler (2001), com o avanço da industrialização e o aumento da vida média dos seres humanos e conseqüente crescimento demográfico, houve um aumento significativo da produção e das mudanças nas características dos resíduos, surgindo na década de 1960 os plásticos, diminuindo gradativamente na sociedade a participação da matéria orgânica. Quanto mais se desenvolvia a sociedade, mais tipos de resíduos eram por ela produzidos, por exemplo, embalagens tipo Tetra Pak, fraldas descartáveis, latinhas de cervejas, PET, equipamentos de som, discos de vinil, televisores, jornais e revistas de grande circulação, pneus, baterias e pilhas, eletroeletrônicos, alguns dos componentes que fazem o lixo “moderno” bem mais perigoso que do que o lixo de nossos antepassados.

De acordo com a última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico¹ publicada (IBGE, 2010), no Brasil, a situação da destinação dos resíduos sólidos urbanos é preocupante, quando cerca de 240 mil toneladas desses resíduos eram produzidas diariamente e mais da metade lançada a céu aberto, em corpos d'água ou áreas de proteção ambiental.

Durante o desenvolvimento da dissertação de mestrado de Loureiro (2005), foi possível conhecer os extremos da realidade do gerenciamento municipal dos RSU no Brasil, desde aterros adequados, com responsabilidade ambiental e social, assim como também lixões a céu aberto e muitos acidentes ambientais, estes na maioria dos municípios visitados. Ainda hoje, cinco anos após o prazo final para encerramento de lixões no Brasil, estabelecido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a), a maioria das cidades brasileiras continua sem tratar seus resíduos, despejando-os em locais inadequados, provocando poluição e degradação ambiental, aliada ao aumento da coleta e despejo clandestinos de lixo, principalmente nas áreas mais carentes das grandes capitais e regiões metropolitanas, já extrapolando as esferas ambiental, sanitária, social e, mais recentemente, de segurança pública.

Nessas áreas pobres e nas cidades pequenas, de menor arrecadação, esse passivo é ainda mais grave, com impactos diretos na população, como a proliferação de vetores transmissores de doenças, a contaminação de corpos hídricos, a poluição atmosférica, deslizamentos e rupturas de maciços de lixo, e indiretos, como a desvalorização imobiliária no entorno das áreas de acúmulo irregular, o deslocamento dos catadores de lixo, o desperdício de matéria-prima potencialmente reciclável e de energia dos gases produzidos.

Segundo Oliveira e Pasqual (2004), a disposição incorreta ou o manuseio indevido de resíduos sólidos está gerando sérios problemas para o ambiente, inclusive provocando grande impacto nas águas subterrâneas e, no Brasil, aterros sanitários bem construídos, com camada de impermeabilização na base e com drenos de coleta de lixiviados, operados com eficiência, com cobertura de solo ao final de cada período de serviço, e em localização correta, onde a vulnerabilidade do aquífero subjacente não tenha índices altos, são alternativas seguras para muitas cidades no Brasil. Cabe a ressalva, no entanto, que quanto melhor a condição anaeróbia de um aterro sanitário, maior o potencial de produção de metano, que quando não coletado pode potencializa o aquecimento global.

¹ A publicação da próxima edição da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada pelo IBGE nos 5.570 municípios brasileiros, está prevista para setembro de 2019.

O aquecimento global é hoje, sem dúvida, o maior desafio ambiental da sociedade moderna. O estudo das mudanças climáticas comprova que todo depósito de lixo, seja a céu aberto, controlado, sanitário ou mesmo não categorizado provoca a geração de gases de efeito estufa, principalmente do metano (CH₄), que segundo o relatório do Grupo I ao V Assessment Report do IPCC (2013), possui um poder de aquecimento global (GWP) de 25 a 28 vezes o do CO₂, assunto que será tratado na seção 4.5.

Segundo Jucá (2007), o conhecimento dos mecanismos de biodegradação do lixo permite realizar um tratamento mais eficiente da massa de lixo e dos efluentes líquidos e gasosos, assim como acelerar a decomposição da matéria orgânica, reduzindo o período de contaminação e promovendo um melhor aproveitamento das áreas disponíveis para disposição final dos resíduos, aproveitando ao máximo a vida útil e a recuperação e o beneficiamento do biogás produzido nessa decomposição.

Fato é que no Brasil os vazadouros ainda são a forma de tratamento dominante dos resíduos sólidos na grande maioria das cidades, ainda que venham evoluindo para aterros controlados ou o encerramento definitivo. O cenário ideal seria aquele onde não há aterro de resíduos, mas apenas de rejeitos, ainda longe da realidade brasileira, cuja composição do lixo urbano, o clima e as políticas públicas em sua maioria promovem a utilização de aterros sanitários com recuperação do metano como solução mais adequada no curto prazo.

Aliada à esse passivo ambiental, é importante ressaltar o não avanço na implementação de políticas relacionadas ao saneamento e às mudanças climáticas, o que causa dificuldades de cumprir cenários previstos plenamente viáveis. Possíveis soluções para esse passivo devem considerar a aplicabilidade energética, em se tratando de um país com dificuldades de recursos financeiros, mas importador de combustíveis fósseis, e com uma demanda reprimida por energia elétrica. Na seção 2.2 são apresentadas as principais barreiras para os cenário de baixo carbono.

Este estudo vem propor meios de como migrar da tecnologia de aterramento à partir de seus próprios benefícios, considerando as limitações de desenvolvimento tecnológico e socioeconômico do país.

1.1 Hipótese

Considerando a Política Nacional de Resíduos Sólidos, regulamentada pelo Decreto n° 7.404 (BRASIL, 2010b), que cita a necessidade de captura dos gases

gerados em aterros sanitários, com seu possível aproveitamento energético destes gases, estabelece a responsabilidade compartilhada e prevê o encerramento dos lixões no país, e seu artigo 3º que define:

“§ VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final ambientalmente adequada, e que,

§ VIII - disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de **rejeitos** em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;”.

Considerando que o Ministério do Meio Ambiente - MMA, que apóia desde 2007 a elaboração de "Planos Estaduais de Gestão Integrada de Resíduos Urbanos" visando organizar a gestão integrada de resíduos sólidos nos Estados e apoiar o consorciamento entre os entes federados, prevêem a realização de estudos individualizados por Estado para equacionar o problema relacionado à disposição inadequada de resíduos sólidos, dentre as quais a eliminação de lixões e a construção de aterros sanitários com previsão de uso de tecnologia adequada para recuperação de metano.

Considerando também o "Programa de Compra Futura de Resultados no Manejo de Resíduos Sólidos", do MMA, que busca a sustentabilidade no manejo de resíduos, incentiva investimentos em aterros sanitários e a utilização de técnicas que visam a redução das emissões de GEE por meio do tratamento adequado do biogás produzido nos aterros sanitários.

Considerando que no tratamento térmico de resíduos, os ganhos ambientais e econômicos no final poderiam viabilizar o investimento inicial, se comparado ao aterro sanitário, por conta da escala de processamento, onde os custos também dependem do valor da energia elétrica e da precificação das térmicas, ainda que os filtros especiais para tratamento dos efluentes da combustão torne o tratamento mais dispendioso, porém necessários para evitar poluição atmosférica, que ocorre na incineração convencional (OLIVEIRA *et al*, 2008).

Considerando que o metano (CH₄), um gás combustível dotado de alto poder calorífico presente em aproximados 50% na composição do biogás, possui um grande potencial de aproveitamento como fonte de energia elétrica ou combustível veicular e

quando tratado sanitariamente este potencial é ampliado (OLIVEIRA, 2004) e que o potencial de produção de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos no Brasil supera 50 TWh, equivalente a 17% do consumo total de energia do país, a custos que são competitivos com as opções mais tradicionais e também pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa (OLIVEIRA e ROSA, 2003) e que o uso dos resíduos para geração de energia elétrica poderia ser da ordem de 60% mais barato que da energia eólica, mesmo esta com subsídios do governo brasileiro, além da reduzir as emissões de CO₂ (OLIVEIRA *et al*, 2010).

Considerando o Inventário Energético de RSU (EPE, 2014b), em que na recuperação de biogás em aterros o potencial estimado de recuperação de biometano equivalente foi de 678 milhões de m³ por ano, ao passo que na biodigestão anaeróbia acelerada esse potencial passaria para 1,53 bilhões de m³ por ano, o dobro do potencial de aproveitamento energético em relação aos aterros.

E considerando que tecnologias como incineração, biodigestor e usina, ainda que viáveis tecnicamente, requerem investimentos maiores e aplicados integralmente no início da operação, ao contrário do aterro sanitário, que são obras contínuas por toda vida útil, o que distribui os recursos no tempo e permitem um fluxo de caixa mais suave, portanto mais viável financeiramente em relação às demais tecnologias disponíveis, mas que não vêm reduzindo emissões de gases estufa na velocidade necessária para o alcance das metas de redução (LINS *et al*, 2012).

Portanto, a partir do problema apresentado e com base nas justificativas acima, o presente trabalho tem como hipótese que, ao serem implementadas as ações previstas nas políticas públicas de mudanças climáticas e de resíduos, a ampliação da capacidade de tratamento dos resíduos sólidos urbanos e sua disposição final trará benefícios ambientais, econômicos e sociais e que há potencial para uso de tecnologias de captura e destruição de metano capazes de reduzir substancialmente as emissões dos gases de efeito estufa nesse tratamento.

Para tal, foram construídos três cenários distintos para o Brasil, para o Estado e para a Cidade do Rio de Janeiro, no horizonte de 2050, abordando tecnologias de tratamento disponíveis em níveis distintos, seja por destruição do metano, através da queima de biogás em flares, seja por seu aproveitamento para geração de energia elétrica ou térmica.

1.2 Objetivos da pesquisa

O objetivo principal desta pesquisa consiste na análise dos potenciais de mitigação das emissões dos gases do efeito estufa, decorrentes do tratamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil, face às exigências das políticas públicas de mudanças do clima e resíduos, em especial a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A partir do objetivo principal, os objetivos específicos necessários para as etapas intermediárias de elaboração da presente pesquisa são apresentados a seguir:

- realizar levantamento de informações sobre limpeza urbana no Brasil, como produção de resíduos, caracterização, e especificamente para o Estado do Rio de Janeiro e para a Cidade do Rio de Janeiro;
- construir os cenários socioeconômicos para as áreas geográficas em estudo;
- identificar as ações de mitigação das emissões de GEE estabelecidas pelas políticas climáticas no Brasil, no Estado e na Cidade do Rio de Janeiro, considerando-as como premissas para a construção dos cenários;
- estabelecer e sugerir ações de mitigação mais incisivas, adicionalmente às das políticas de governo em andamento;
- calcular o cenário de linha de base tendencial, de 2020 a 2050, considerando o atual quadro do gerenciamento dos resíduos sólidos;
- calcular as emissões dos gases de efeito estufa nos cenários propostos para o Brasil, Estado e Cidade do Rio de Janeiro;
- estimar os potenciais de redução das emissões de GEE do setor de resíduos sólidos no Brasil, Estado e Cidade do Rio de Janeiro;
- calcular os custos de abatimento e benefícios das ações de mitigação adotadas nos cenários;
- estimar o potencial de recuperação de biogás e de receitas do mercado de carbono e pela queima do metano em flares;
- estimar o potencial de aproveitamento energético do metano gerado nos aterros sanitários;

- comparar os resultados das intensidades de emissões entre Brasil, Estado e Cidade do Rio de Janeiro;

1.3 Delimitação do escopo da pesquisa

Sabe-se que o Brasil é o maior país da América do Sul (47% do território sul-americano) e o quinto maior do mundo em área territorial, com uma área total de 8,5 milhões de km² e uma população de mais de 208 milhões de habitantes (IBGE, 2019a). É a maior economia da América Latina, a segunda da América, atrás apenas dos Estados Unidos, a oitava maior economia do mundo a taxas de mercado de câmbio e em paridade do poder de compra, porém seu PIB per capita é de USD 10,3 mil, colocando-o na 62^a posição (FMI, 2017). Dentro desse contexto, a presente pesquisa é desenvolvida em três fronteiras geográficas: o Brasil, o Estado do Rio de Janeiro e Município do Rio de Janeiro.

O Estado do Rio de Janeiro é uma das 27 unidades federativas do Brasil e situa-se na porção leste da região Sudeste do País. Com uma área de 43,7 mil km², o Estado é pouco maior que a Dinamarca. Segundo dado do Censo 2010 é o terceiro Estado mais populoso do Brasil e em 2018 com mais de 17,1 milhões de habitantes (IBGE, 2018a). Predominam no Estado do Rio de Janeiro os climas tropical e subtropical. Grande parte de sua economia se baseia na prestação de serviços, com parte significativa da indústria e pouca influência do setor de agropecuária. É a segunda maior economia do Brasil, perdendo apenas para o Estado de São Paulo, e a quarta da América do Sul, tendo um Produto Interno Bruto superior ao do Chile, com uma participação no PIB nacional em 2016 de 640 bilhões, 15,8%, de acordo com os dados do IBGE (2018b).

O Município do Rio de Janeiro, capital do Estado homônimo, é a segunda maior metrópole do Brasil com o segundo maior PIB municipal do País (e o 30^o maior do mundo), estimado em 330 bilhões de reais em 2016 (IBGE, 2018b). O setor de serviços abarca a maior parcela do PIB (65%), seguido pela arrecadação de impostos (23%) e atividade industrial (11%). Em 2018, a população da cidade do Rio de Janeiro chegou aos 6,7 milhões de habitantes, o que a tornava a segunda maior aglomeração urbana do Brasil, sexta da América e 35^a do mundo (IBGE, 2018a).

Em relação aos tipos de resíduos abordados no presente estudo, primeiramente é necessário definir resíduo, como sendo “resíduos nos estados sólido e semissólido que resultam da atividade da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar,

comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviáveis seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face de melhor tecnologia disponível”, segundo a norma ABNT NBR 10004:2004.

Para a elaboração e compreensão dos limites desta pesquisa, foram adotadas duas classificações mais relevantes: segundo a sua origem e segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), apresentadas a seguir:

- 1) Classificação segundo a origem - a origem é o principal elemento para a caracterização dos resíduos sólidos; os diferentes tipos de lixo podem ser então agrupados em dois grupos: urbanos e especiais:
 - Urbano: a composição dos RSU pode ser dividida principalmente em matéria orgânica (que possui restos de alimentos, plantas e materiais em decomposição), metais, papéis e papelões, vidros e plásticos. Estes últimos são normalmente subdivididos em filmes (polipropileno e PEBD, películas com espessura geralmente menor que 200 µm, o que abrange uma ampla variedade de sacos, sacolas e filmes) e plásticos rígidos (poliestireno, garrafas PET, tubos de PVC e PEAD). Por sua vez, os RSU são subdivididos em:
 - a) Residencial: gerados nas atividades residenciais, composto basicamente por material orgânico, reciclável e itens diversos. Até bem poucos anos, os resíduos residenciais eram considerados como de pequeno risco para o meio ambiente. Hoje em dia, seja pela introdução de novos produtos na vida moderna, seja pelo maior conhecimento dos impactos de determinados materiais no ambiente, considera-se que estes resíduos são uma ameaça à integridade do meio ambiente e do homem, pois contêm itens que podem ser considerados perigosos, tais como pilhas e baterias, óleos de motor, tintas, pesticidas, embalagens de inseticidas, solventes, produtos de limpeza, termômetros e lâmpadas, que possuem metais pesados e substâncias químicas que se incorporam à cadeia biológica e têm efeito de bioacumulação e de biomagnificação (transferência através de vários elos da cadeia alimentar). Outro aspecto da caracterização dos resíduos residenciais refere-se à presença de microrganismos que favorecem a transmissão de doenças

infectocontagiosas, pela presença de seringas e fraldas descartáveis, lenços de papel, papel higiênico, curativos e preservativos.

- b) Comercial: é aquele produzido em estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços, cujas características dependem da atividade ali desenvolvida. Possuem composição variável de acordo com o tipo de atividade da unidade geradora. Um resíduo bastante problemático e de difícil decomposição, que se encontra muito no descarte comercial é o pneu, que se torna cada vez mais problemático para a sociedade e mais ainda para o meio ambiente. O pneu possui em sua estrutura materiais como borracha, aço e tecido de nylon ou poliéster, de difícil separação. O descarte inadequado desse resíduo vem causando assoreamento em rios e lagoas, ocupando grandes volumes nos aterros sanitários, diminuindo sua vida útil, amontoados em terrenos baldios e até mesmo incinerados, causando forte poluição de gases de enxofre.
- c) Público: são os resíduos compostos por sobras ou descarte das atividades, desenvolvidas pela administração pública municipal, estadual e federal, como varrição, capina e raspagem, provenientes dos logradouros públicos (ruas e praças, por exemplo), bem como móveis velhos, galhos grandes, aparelhos de cerâmica, entulhos de obras e outros materiais inservíveis deixados pela população, indevidamente nas ruas (transeuntes, quando se deslocam em vias públicas) ou retirados das residências através de serviço de remoção especial. Englobam-se ainda os resíduos gerados por terminais de passageiros e cargas (Portos, Aeroportos, Rodoviárias e Estações Ferroviárias), que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos. Basicamente o lixo gerado nestes estabelecimentos assemelha-se ao resíduo domiciliar, contudo podem veicular doenças provenientes de outras cidades, estados e países.
- Especiais: aqueles que, em função de determinadas características peculiares que apresentam, passam a merecer cuidados especiais em seu acondicionamento, manipulação e disposição final, como por exemplo, o lixo industrial, os de serviços de saúde, o radioativo e os agrícolas. Esta categoria de resíduos não faz parte da presente pesquisa:
 - a) Industriais: são os resíduos cuja composição depende da atividade desenvolvida pela indústria e podem ser representados por cinzas, lodos, óleos, resíduos ácidos e alcalinos, metais ferrosos e não ferrosos, vidro, plásticos e orgânicos. Há resíduos sólidos tipicamente urbanos, que podem ser separados dos resíduos industriais perigosos e dispostos à coleta regular;

- b) Serviços de Saúde: abrangem os resíduos sólidos de hospitais, de clínicas médicas e veterinárias, de centros de saúde, laboratórios médicos, de consultórios odontológicos e de farmácia. A Resolução Conama nº 05 (MMA, 1993) determina que os resíduos que não tiveram contato com paciente podem ser tratados como resíduos comuns e encaminhados aos aterros e à reciclagem;
- c) Radioativos: são os resíduos de origem atômica, cujo controle e gerenciamento estão, de acordo com a legislação brasileira, sob a tutela do Conselho Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Os resíduos radioativos são gerados no ciclo dos combustíveis nucleares e em suas aplicações na medicina, pesquisa e indústria e exigem a necessidade de um manejo seguro e ambientalmente correto, principalmente em relação ao transporte e depósito;
- d) Agrícolas: Aqueles resultantes dos processos de produção de defensivos agrícolas, e suas embalagens, como os agrotóxicos – produtos químicos destinados aos setores de produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, às pastagens, florestas e outros ecossistemas, para controle fitossanitário.
- 2) Classificação Segundo a ABNT: A norma ABNT NBR 10004:2004 “classifica os resíduos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, a fim de garantir a segurança no manuseio e uma destinação adequada”, com base em cinco critérios de periculosidade:
- ✓ Inflamabilidade: ponto de fulgor inferior a 60 °C, produz fogo por fricção;
 - ✓ Corrosividade: ser aquosa e apresentar $\text{pH} \leq 2$ ou $\geq 12,5$;
 - ✓ Reatividade: reagir de forma violenta e imediata, gerando gases e vapores a concentrações-limite máximas no extrato do teste de lixiviação;
 - ✓ Toxicidade; e
 - ✓ Patogenicidade: exceto os resíduos domiciliares e os lodos de ETEs.

A partir desses critérios, os resíduos sólidos são classificados em:

- Classe I (perigoso): quando a amostra do resíduo se enquadra em pelo menos um dos critérios de periculosidade supracitados. Excluída a periculosidade, será realizado o ensaio de lixiviação. São considerados Classe I os resíduos submetidos a este ensaio que apresentarem concentrações superiores às previstas no Anexo G da norma ABNT NBR 10004:2004. Se as concentrações

forem inferiores às deste anexo, será realizado o ensaio de solubilização, para avaliar se o resíduo é Classe II-B. Estes resíduos não produzem GEE;

- Classe II-A (não inerte): são os resíduos que não se enquadram como Classe I ou II-B, podendo apresentar propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. Nesta classe estão incluídos os papéis, papelão e matéria vegetal e orgânica. Esta classe é o foco deste estudo, pois estes resíduos são os maiores responsáveis pela geração de gases do efeito estufa;
- Classe II-B (inerte): são aqueles que, submetidos ao teste de solubilização, não tiveram nenhum dos seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, Anexo H da norma ABNT NBR 10004:2004. Se as concentrações forem superiores às deste anexo, os resíduos são considerados classe II-A. Sua definição baseia-se nos resultados dos procedimentos estabelecidos pelas normas ABNT NBR 10006:2004 e ABNT NBR 10007:2004. Exemplos dessa categoria são rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas, que não se decompõem facilmente, em sua maioria da construção civil.

Em meio aos resíduos industriais e dos serviços de saúde, também são encontrados resíduos não perigosos, do tipo classe II-A, semelhantes aos urbanos. Estes, uma vez segregados, têm o mesmo destino dos RSU, ou seja, são passíveis de decomposição biológica anaeróbia e conseqüentemente de geração de biogás, portanto contribuintes das emissões dos gases do efeito estufa, que na presente pesquisa considerou CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso) e CO₂ (gás carbônico).

1.4 Definição dos parâmetros utilizados na pesquisa

Segundo Glaze (1998), no campo da política ambiental, frequentemente se faz necessário formar decisões baseadas em bancos de dados, mesmo que limitados, e isto tem levado a uma dependência do uso de modelos para a tomada de decisões e ao desenvolvimento de campos inteiros de conhecimento que poderiam ser amplamente chamados de “subsídios a decisões na ausência de segurança”, porém são aproximações importantes, porque sempre existem incertezas associadas à tomada de decisões.

Na presente pesquisa foram utilizadas três abordagens principais na construção dos cenários de mitigação dos GEE, sendo estes: tecnológico, socioeconômico e financeiro. Do ponto de vista tecnológico, será avaliada a infraestrutura e capacidade

tecnológica disponível para o tratamento do resíduo, considerando as limitações e a realidade brasileira, e respectiva capacidade de redução das emissões. Este potencial de redução irá variar em função da opção de tratamento empregado e da qualidade do resíduo processado em cada área de estudo. Para essa compreensão, é fundamental se considerar ainda a origem do resíduo, sua qualidade e volume e as limitações econômicas, tecnológicas, sanitárias, ambientais e operacionais para tratamento.

A caracterização dos resíduos é de fundamental importância, a partir da qual suas potencialidades econômicas induzem a escolha do método mais adequado (ver seção 3.1). Exemplos disso ocorrem na incineração e na biodigestão, onde o teor de nitrogênio e oxigênio influi diretamente no rendimento da usina. Faz-se, portanto necessária a compreensão da composição gravimétrica, peso específico, teor de umidade e geração per capita, parâmetros mais utilizados neste trabalho.

- i. Composição Gravimétrica: distribuição, em peso seco relativo (%), das diversas categorias de materiais sólidos presentes na massa de resíduos, traduzindo o percentual de cada componente em relação ao peso total do lixo. Nesta pesquisa, o lixo foi dividido conforme a classificação prevista nas diretrizes para elaboração de inventários nacionais do IPCC (2006), onde o lixo é dividido entre: restos alimentares (*food*), folhas (*garden*), papéis (*paper*), madeiras (*wood*), têxteis (*textile*), fraldas (*nappies*) e plásticos e outros materiais inertes (*plastic, other inert*). No lixo brasileiro, o percentual predominante é o de restos alimentares que varia em torno de 50% da massa do lixo;
- ii. Peso Específico (γ): é o peso dos resíduos em função do volume por eles ocupados, expresso em kN/m^3 . Sua determinação é fundamental para o dimensionamento da capacidade volumétrica dos aterros e de carga dos equipamentos de coleta e tratamento, mas sua maior relevância é indicar o potencial de produção de biogás por volume, quanto maior for seu valor. Kaimoto e Cepollina (1996) estimaram valores entre 5 e 7 kN/m^3 para resíduos com poucos anos de operação e lixo ainda não decomposto e pouco compactados, e entre 9 e 13 kN/m^3 em aterros mais maduros com lixo em decomposição e compactado, confirmado por Mahler e Iturri (1998) que encontraram 10,5 kN/m^3 na análise do aterro São João, em São Paulo;
- iii. Teor de Umidade (ω): representa a quantidade de água contida no lixo, por unidade de volume. Sua determinação influencia no planejamento dos sistemas que visam produzir eletricidade, assim como processos biológicos. É possível

notar que o teor de umidade influencia a velocidade de degradação dos materiais putrescíveis e, conseqüentemente, na produção de metano dos maciços de resíduos sólidos, que varia em função das estações do ano e do clima;

- iv. Geração per capita: relaciona a quantidade do lixo gerado diariamente ao número de habitantes da região levantada. A quantificação da geração de resíduos sólidos urbanos é baseada em índices relacionados ao número de habitantes atendidos pelo sistema de coleta e ao volume de resíduos gerados, materializando a denominada produção per capita de lixo, expressa em kg/hab.dia. Esse parâmetro é fundamental para a construção dos cenários socioeconômicos.

A abordagem socioeconômica é relacionada também à qualidade de vida, renda e educação, por intermédio da evolução dos índices de desenvolvimento humano (IDH), do produto interno bruto (PIB), renda per capita média familiar, e suas inter-relações com a produção e características dos resíduos.

A abordagem financeira é relacionada aos custos para implementação das ações de mitigação nos cenários de baixo carbono e às receitas com os potenciais benefícios. Para tal, são considerados os custos das ações de mitigação em função do volume de carbono evitado no futuro em toneladas de carbono equivalente, assim como as conseqüentes receitas de comercialização de energia e carbono no país.

1.5 Sumário dos capítulos

No Capítulo 2 a seguir, denominado "Histórico da Questão Energética e Ambiental", é apresentada uma breve revisão histórica da literatura referente ao tema da pesquisa, como aspectos referentes ao uso da energia, a evolução da crise do petróleo, as mudanças climáticas e a Convenção do Clima das Nações Unidas. Nesse contexto, foram abordadas as políticas de mudanças climáticas no Brasil, como a Política Nacional de Mudanças Climáticas e suas interfaces com o setor de resíduos sólidos, terminando com as metas nacionais de redução das emissões dos gases do efeito estufa apresentadas na Convenção do Clima, assim como as do Estado e da cidade do Rio de Janeiro.

O Capítulo 3, denominado "Estado da Arte no Tratamento dos Resíduos Sólidos", apresenta o estado da arte no Brasil e no Mundo em relação às principais tecnologias empregadas ao tratamento de resíduos sólidos, tais como aterramento, incineração, tratamento térmico, compostagem, beneficiamento do biogás e usinas térmicas, destacando os aspectos técnicos, encerrando com um breve panorama da

atual situação do gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil, no Estado do Rio de Janeiro e na Cidade do Rio de Janeiro, em comparações com outras cidades e países.

O Capítulo 4, denominado "Metodologia Aplicada na Pesquisa", desenvolve a metodologia utilizada na pesquisa, suas classificações, métodos, etapas e procedimentos, modelo de estudo, suas limitações, os potenciais de aquecimento global adotados para os gases estudados e a descrição do modelo, com as fórmulas matemáticas utilizadas e respectivas variáveis e constantes adotadas, ou seja, todas as ferramentas necessárias para o leitor compreender como alcançar os objetivos do estudo.

O Capítulo 5, denominado "Cenários de Baixo Carbono dos Resíduos Sólidos Urbanos", apresenta os cenários futuros das emissões dos gases de efeito estufa para o próximo ciclo de inovação tecnológica de 30 anos, de 2018 a 2050, sendo descritas as premissas e todas as ações a serem adotadas como medidas de mitigação e respectivos meios de comunicação utilizados. Foram três os cenários: cenário A (tendencial com a continuidade da aplicação das políticas atuais), cenário B (considerando um maior esforço em relação ao cenário A para redução das emissões, com ações já em andamento e outras a serem implementadas em curto prazo) e cenário C (com a adoção de medidas mais incisivas que as do cenário B). Por fim, foram apresentados os gráficos de evolução de emissões, nos três cenários, para o Brasil, o Estado e a Cidade do Rio de Janeiro.

No Capítulo 6, "Análises dos Resultados", os resultados da pesquisa são apresentados de forma consolidada e analisados criticamente, sendo comparadas as ações de mitigação entre cada cenário futuro, seus respectivos potenciais benefícios, reduções nas emissões e intensidades em função das evoluções dos PIB e da população no período de estudo, custos e receitas dessas ações.

A pesquisa se encerra nas "Conclusões", onde são realizadas as considerações finais sobre a pesquisa, os resultados nos três casos estudados, a verificação da hipótese e do cumprimento dos objetivos, assim como as perspectivas sobre as políticas públicas de mudanças climáticas e de resíduos sólidos, visando alcançar as metas de redução de emissões e saneamento e alternativas para superação das dificuldades apresentadas no transcorrer do trabalho. Por fim, recomendações e sugestões de estudos futuros relacionados ao tema.

Este trabalho conta com sumário de referências bibliográficas consultadas durante a pesquisa e apêndices, onde foram colocadas as formulas da metodologia de inventários do IPCC (2006) e tabelas com as evoluções dos cálculos realizados.

Capítulo II

HISTÓRICO DA QUESTÃO ENERGÉTICA E AMBIENTAL

Historicamente, o crescimento das atividades econômicas esteve sempre associado a um aumento no uso de recursos naturais, em particular energéticos. Este processo foi acelerado pela Revolução Industrial, no século XVIII. A partir do século XX, puderam ser constatadas mudanças tecnológicas e organizacionais da sociedade pós-industrial, passando do modo industrial “taylorístico” de produção para o modo científico, onde domina o conhecimento e a automação, onde o objetivo principal é de se utilizar menor conteúdo de recursos materiais e maior conteúdo de informação e conhecimento.

A geração de energia no mundo baseia-se, em sua grande maioria nas fontes de energias não renováveis tradicionais: petróleo, carvão mineral e gás natural. Tais fontes são poluentes e devem ser inevitavelmente substituídas no futuro. Há controvérsias sobre o tempo da duração das reservas dos combustíveis fósseis, mas é fato que as energias renováveis são um novo modelo de produção de energias mais viáveis ambientalmente e economicamente num futuro próximo.

Segundo dados da US Energy Information Administration (2018) a produção anual de petróleo no mundo atingiu 35 bilhões de barris, sendo que de 2017 em diante o consumo superou a produção, mesmo com a tendência de diminuição, de 1,68% em 2018 para 1,45% em 2019 (OPEP, 2018). O volume de reservas em todo mundo são estimados em mais de 1,5 trilhão de barris.

Segundo o último Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2018a), o Brasil está entre os dez maiores consumidores de energia do planeta e é o terceiro maior do hemisfério ocidental, atrás apenas de Estados Unidos e Canadá. O último Balanço Energético Nacional publicado (EPE, 2018b), mostra que a matriz elétrica brasileira é baseada principalmente em fontes renováveis (80% da produção total), sobretudo a hidrelétrica, que responde pela geração de 407 TWh (65% da produção total), com uma capacidade instalada de 100 GW, enquanto a média mundial de geração de energia elétrica renovável é de 24%. A matriz energética brasileira, que corresponde a todas as fontes de geração, inclusive a elétrica, é 42% renovável.

Atualmente existem cinco fatores fundamentais que ameaçam uma crise energética, sinais muito semelhantes aos que havia antes dos choques petrolíferos de 1973 e 1979. Esses cinco fatores referem-se à produção doméstica, à dependência nas importações, ao grau de concentração das importações por país, ao nível de estoques, e à capacidade de arranjar potenciais de fornecimento numa eventual interrupção por parte dos habituais fornecedores.

Segundo Sarkis (2006), as crises do petróleo foram desencadeadas em contextos de déficit de oferta, com o início do processo de nacionalizações e de uma série de conflitos envolvendo os produtores árabes da OPEP, como a guerra dos Seis Dias, em 1967, a guerra do Yom Kipur, em 1973, a revolução islâmica no Irã, em 1979, e a guerra Irã-Iraque, a partir de 1980. Os preços do barril de petróleo atingiram valores altíssimos, chegando a aumentar até 400% em cinco meses, de outubro de 1973 a março de 1974.

Com a descoberta da região petrolífera do Golfo Pérsico em 1908 no Irã, toda a região começou a ser visada estrategicamente e explorada, mas só no final da Segunda Guerra, em 1945, surgiram os primeiros sinais da importância geoestratégica do petróleo, com os países árabes a ameaçarem um embargo petrolífero, caso os Estados Unidos ajudassem a fundar estado de Israel, país que nasceria em 1948, com o objetivo de ser a Nação dos Judeus.

Em 1960, em Bagdá, os cinco principais produtores de petróleo, Arábia Saudita, Irã, Iraque, Kuwait e Venezuela, fundaram a Organização dos Países Exportadores de Petróleo - OPEP. A criação da OPEP foi uma forma de reivindicar perante uma política de achatamento de preços praticada pelo cartel das grandes empresas petroleiras ocidentais, as chamadas "sete irmãs" (Exxon, Shell, BP, Mobil, Texaco, Gulf e Chevron).

Os três objetivos da OPEP, definidos pela organização na conferência de Caracas em 1961, eram: aumentar a receita dos países-membros, a fim de promover o desenvolvimento; assegurar um aumento gradativo do controle sobre a produção de petróleo, ocupando o espaço das multinacionais; e unificar as políticas de produção. A OPEP aumentou os royalties pagos pelas transnacionais, alterando a base de cálculo, e as onerou com imposto.

De fato, a crise do petróleo aconteceu em cinco fases, todas depois da segunda guerra mundial, provocadas pelos embargos dos países membros da OPEP e Golfo Pérsico a distribuição de petróleo para os Estados Unidos e países da Europa, o que

provocou prolongada recessão e desestabilizou a economia mundial. A Figura 1 ilustra as crises do petróleo no período pós-segunda guerra mundial.

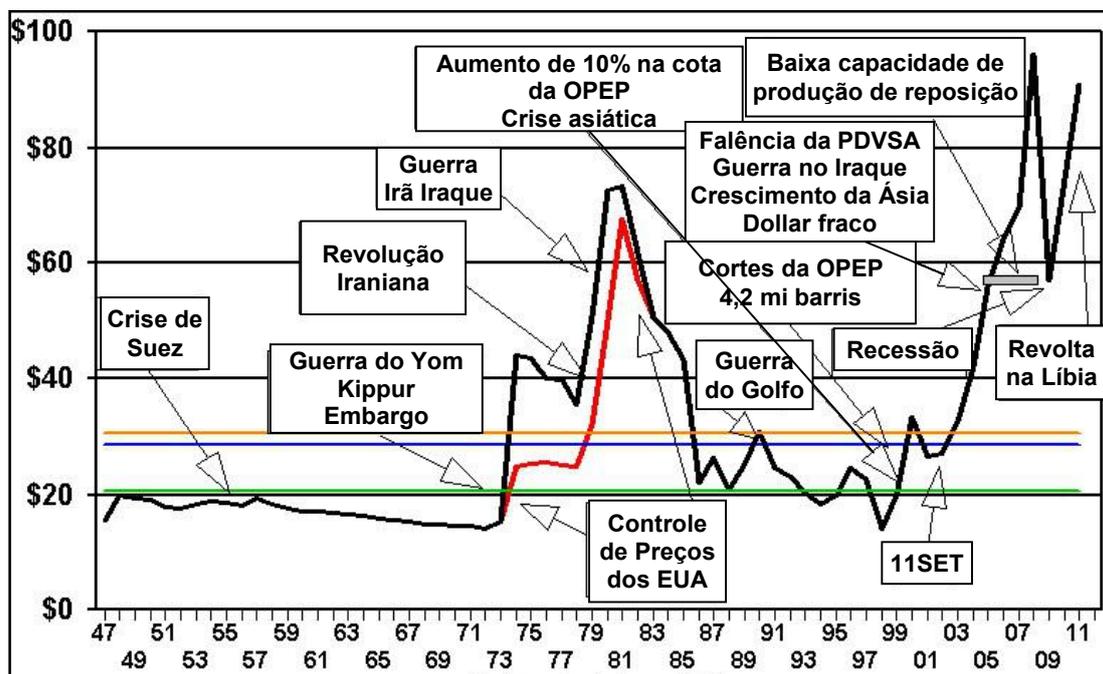


Figura 1 - Variação do barril de petróleo cru em dólares pós 2ª guerra (preços de 2010)

Fonte: WTRG Economics (2019).

A primeira fase da crise do petróleo ocorreu em 1956, depois que o presidente do Egito, na época Gamal Nasser, nacionalizou o Canal de Suez, até então propriedade de uma empresa anglo-francesa. O canal era uma importante passagem para exportação de produtos da região para países ocidentais, pelo que em virtude dessa crise, o abastecimento foi interrompido com seu bloqueio, levando a um aumento súbito do preço do petróleo.

A segunda fase aconteceu em 1973, em protesto pelo apoio prestado pelos Estados Unidos a Israel durante a Guerra do Yom Kippur, a OPEP aumentou o preço em 100%. Os produtores árabes declararam embargo aos países considerados pró-Israel (Estados Unidos e Holanda) e o preço subiu 400% em cinco meses, de outubro de 1973 a março de 1974, com um novo aumento de 100% na conferência de Teerã em dezembro do mesmo ano.

A terceira fase ocorreu durante a crise política no Irã e a consequente deposição de Xá Reza Pahlevi, o que desorganizou todo o setor de produção no Irã, onde os preços aumentaram em mais de 1000%. Na sequência da Revolução iraniana, travou-se a Guerra Irã-Iraque, na qual foram mortos mais de um milhão de soldados de

ambos os países, tendo o preço disparado em face da súbita diminuição da produção dos dois principais produtores mundiais.

A quarta fase foi na Guerra do Golfo, em 1991, depois do Iraque, já governado por Saddam Hussein, ter invadido o país vizinho Kuwait, um dos maiores produtores de petróleo do mundo. Com a invasão das forças militares dos EUA e dos países aliados, os iraquianos foram expulsos do Kuwait. Contudo incendiaram alguns poços de petróleo do emirado, provocando uma crise econômica e ambiental.

A quinta e última fase se deu no ano de 2008, quando os preços subiram mais de 100% entre janeiro e julho, em virtude de movimentos especulativos globais, seguido a outros acontecimentos, como a invasão americana no Iraque, o crescimento asiático, o enfraquecimento do dólar e por último as diversas manifestações, da chamada primavera árabe, que empurraram o preço.

A evolução da política ambiental no Brasil se deu de forma relativamente consoante com o quadro internacional. Evidentemente que este processo foi marcado por especificidades econômicas, políticas e culturais, além de fatores de pressões externas, que fizeram com que as diferentes fases observadas, em nível internacional, se apresentassem por vezes ora defasadas ora sobrepostas. A própria configuração desigual do desenvolvimento brasileiro faz com que convivam no interior do país estruturas tipicamente industriais ao lado de pré-industriais e pós-industriais, e imprimem a esta evolução uma configuração diferenciada.

Segundo Magrini (2001), essas políticas caracterizaram-se durante toda a década de 1970 por uma ótica essencialmente corretiva, centrada de forma predominante na introdução de mecanismos de controle da poluição. Já a década de 1980, marcada fundamentalmente pela terceira e pior fase da crise do petróleo, que evidenciaram de forma flagrante a vulnerabilidade das nações frente à escassez de recursos naturais, levou os países a direcionarem suas políticas ambientais para um enfoque mais preventivo.

Nesse cenário de mudanças, concepções e estratégias de políticas ambientais, vários foram os eventos que marcaram a evolução da conscientização da sociedade global, sendo quatro eventos os que mais marcaram de forma direta a trajetória da política ambiental no mundo:

- a promulgação da Política Ambiental Americana, em 1969 (NEPA),

- a realização da Conferência das Nações Unidas em Estocolmo (que criou bases técnicas para avaliação dos problemas ambientais), em 1972,
- o trabalho realizado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que resultou na publicação do relatório “Nosso Futuro Comum” em 1987, e
- a realização da Conferência das Nações Unidas no Rio de Janeiro, em 1992.

A partir da década de 70 informações sobre recursos naturais, muitos não renováveis, passaram a ser mais divulgadas e tornaram-se mais evidentes. Na Conferência de Estocolmo, em 1972, a visão dos problemas era nitidamente uma visão “primeiromundista”. Na conferência, as discussões centraram-se nos aspectos técnicos da contaminação provocada pela industrialização, no crescimento populacional e na urbanização (MAGRINI, 2001).

A década de 70 também representou para o Brasil uma fase de estruturação no campo ambiental, principalmente do ponto de vista institucional. Data desta década a criação da Secretaria Nacional de Meio Ambiente (SEMA) e órgãos estaduais, como a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (FEEMA), hoje Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

Embora alguns Estados tenham implementado neste período instrumentos de gestão ambiental e embora a própria federação já possuísse algumas normativas anteriores, uma política ambiental efetiva e orgânica só foi implantada no Brasil em 1981, com a Lei nº 6.938 (BRASIL, 1981), que instituiu a Política e o Sistema Nacional do Meio Ambiente.

A partir do Relatório Brundtland da ONU, em 1987, com o título “Nosso Futuro Comum”, resultado de pesquisas realizadas de 1983 a 1987 sobre o estado ecológico da Terra, introduziu-se um novo paradigma para orientação da economia mundial, já globalizada, que seria denominado "Desenvolvimento Sustentado". Esse documento sublinhava que as possibilidades de materialização de um estilo de desenvolvimento sustentável estariam diretamente relacionadas com a superação da pobreza, com a satisfação das necessidades básicas de alimentação, saúde, habitação e saneamento, com a necessidade de uma nova matriz energética, que privilegie fontes de energia renovável, e com o processo de inovação tecnológica, com benefícios compartilhados por países ricos e pobres (AMADOR, 1997).

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável RIO-92 teve um papel catalisador na disseminação desse conceito. Os três principais documentos que resultaram desta conferência: a “Declaração do Rio sobre meio ambiente e desenvolvimento sustentável”, os “Quinze princípios para o gerenciamento sustentável das florestas” e o “Plano abrangente para guiar a ação nacional e internacional em direção ao desenvolvimento sustentável - Agenda XXI”, todos baseados na premissa da inseparabilidade do meio ambiente e do desenvolvimento.

A Agenda XXI foi um dos principais responsáveis pela consolidação da ideia de que o desenvolvimento e a conservação do meio ambiente deviam estar sempre unidos em prol da compatibilidade entre crescimento econômico e o direito ao usufruto da vida em ambiente saudável pelas futuras gerações. Segundo Amador (1997), este conceito “permeia, pelo menos teoricamente, as políticas públicas de países industrializados ou em processo de industrialização, entre os quais o Brasil. [...] Embora incorpore a dimensão ecológica, permanece prisioneiro do paradigma desenvolvimento/crescimento [...], não abandona sua matriz econômica de aumento da produtividade, acumulação e inovação tecnológica”.

Em 1992 foi criado o Ministério do Meio Ambiente (MMA) que assumiu então a competência de planejar, coordenar, supervisionar e controlar, formular e executar a Política Nacional de Meio Ambiente e de preservar, conservar e utilizar racionalmente os recursos naturais e implementar acordos internacionais de políticas ambientais.

Segundo Magrini (2001), com o surgimento desses novos atores e instrumentos, as políticas ambientais de quase todos os países, sempre ancoradas no conceito de “desenvolvimento sustentável”, pareciam endereçar-se para a busca de um enfoque no sentido de integrar o desenvolvimento com o uso sustentável dos recursos, os instrumentos de comando e controle com os instrumentos econômicos, os agentes públicos e privados na gestão do meio ambiente e a dinâmica da problemática ambiental local com a global.

Apesar de muito desgaste, é indiscutível o “desenvolvimento sustentável” esteve na base das transformações observadas na década de 90 e que até hoje vem moldando a orientação buscada pelas políticas ambientais dos diferentes países, principalmente nos países europeus, onde se observava a busca de novos instrumentos de gestão, sejam através da introdução de instrumentos econômicos ou da implementação de instrumentos de comando e controle menos punitivos.

Dentro da lógica que tem regido a política ambiental brasileira, estes instrumentos convivem igualmente e se inserem nas modalidades mais tradicionais da gestão ambiental, do tipo comando e controle. É o caso, por exemplo, da Lei nº 9.605 (BRASIL, 1998), conhecida como Lei de Crimes Ambientais, promulgada em 1998, com um profundo caráter punitivo, que veio evidenciar claramente a responsabilidade sobre a poluição industrial, uma vez que define a responsabilidade, inclusive penal, da pessoa jurídica.

Como desdobramentos da RIO-92, ocorreram a Rio+10 em 2002 e a Rio+20 em 2012. Esperava-se nessa última que os países membros das Nações Unidas conseguissem fechar um grande acordo em prol de se estabelecer metas, deveres e prazos de cumprimento, porém não foi o que aconteceu. O encontro não obteve o sucesso esperado, onde nem todos os países esperados participaram, enviando seus representantes e chefes de estado, como EUA, Alemanha, Inglaterra, ficando para os anos seguintes a definição das metas de redução das emissões dos gases do efeito estufa, dentre outras obrigações em prol do desenvolvimento sustentável e social.

2.1 As mudanças climáticas e a Convenção do Clima

O Efeito Estufa é uma condição natural do planeta. É através dele que a temperatura média da superfície terrestre se mantém adequada à vida, pois os gases presentes na atmosfera retêm o calor que a Terra emite e deixam passar a radiação solar. Sem o efeito estufa, a Terra teria uma temperatura média de 18° C negativos. A Figura 2 ilustra as trocas de energia entre o espaço sideral, a atmosfera e a superfície da Terra.

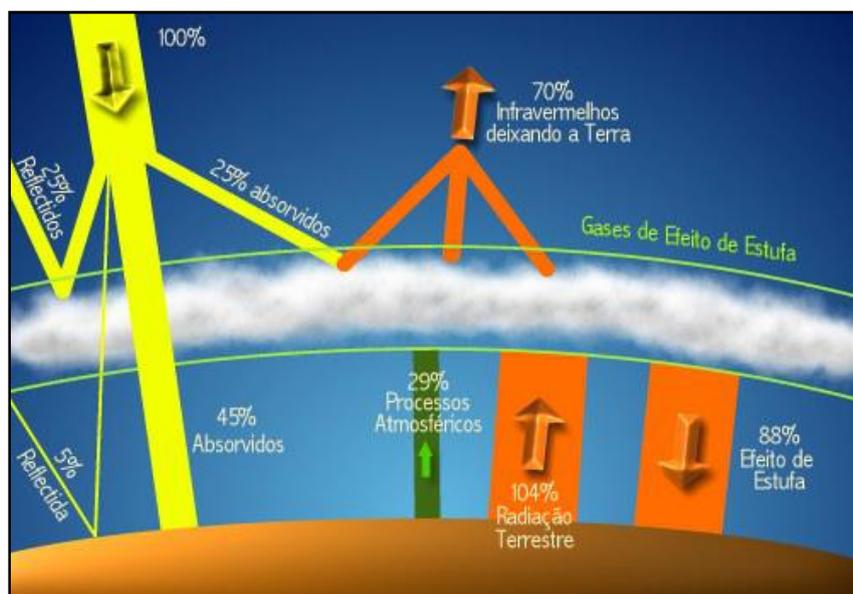


Figura 2 - Representação esquemática do funcionamento do efeito estufa

O problema não está no efeito estufa em si, mas na sua intensificação, que aumenta a temperatura. Isto se deve pela grande concentração de gases, provenientes de emissões da queima de combustíveis fósseis. Os gases acumulados formam uma “estufa” que não deixa que os raios solares que penetraram na atmosfera terrestre e foram refletidos voltem para o espaço. A Figura 3 apresenta o percentual de contribuição dos gases de efeito estufa no aquecimento global do planeta.

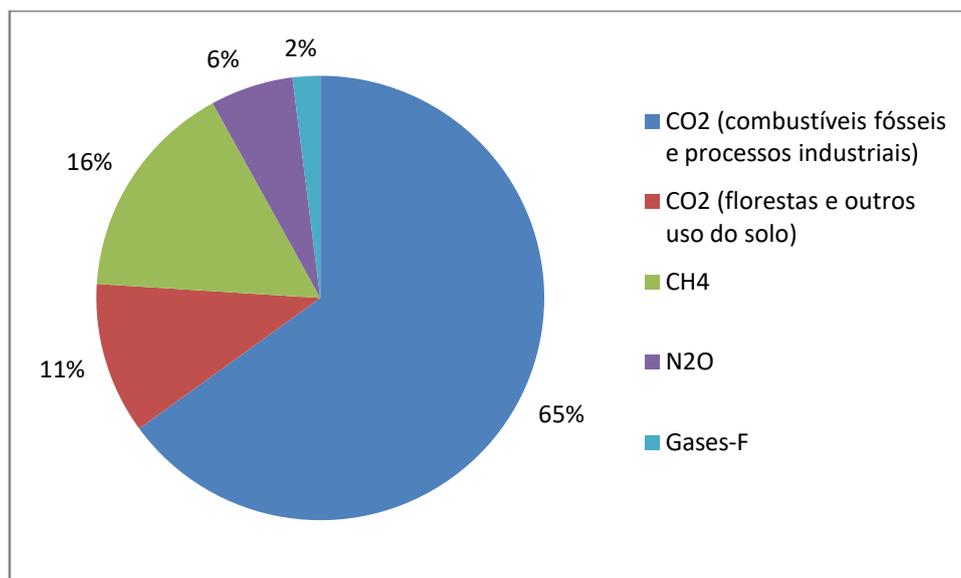


Figura 3 - Contribuição proporcional dos principais gases do efeito estufa

Fonte: IPCC (2014).

A expectativa, caso o quadro não seja freado é da ocorrência de catástrofes ambientais globais, comparadas às da época do desaparecimento dos dinossauros, devido ao rápido aumento da temperatura do planeta, de 6° C em média em 100 anos, e da liberação do hidrato de metano, existente no fundo dos oceanos, num volume infinitamente superior e com potencial de aquecimento global GWP_{100} até 34 vezes maior que o poder de aquecimento do gás carbônico no efeito estufa, considerando feedback de carbono-climático (IPCC, 2014).

Em longo prazo, atingiria também a fauna e comprometeria ecossistemas, pois algumas espécies de animais não se adaptariam às altas temperaturas, que combinadas com um regime escasso ou excessivo de chuvas, poderiam levar à redução da umidade do solo ou inundações e a limitações na produção agrícola, impactando diretamente no desenvolvimento de países que têm a agricultura como base da economia, como é o caso do Brasil.

Durante a Rio-92 foi adotada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC – *United Nation Framework Convention on Climate Change*), com o objetivo de discutir e definir ações para estabilizar as concentrações atmosféricas dos gases de efeito estufa (GEE), de forma impedir que atividades antrópicas interfiram perigosamente no clima do planeta. O Brasil foi o primeiro país a assinar a UNFCCC, em 4 de junho de 1992, ratificada pelo Congresso Nacional em 28 de fevereiro de 1994, vigorando no país a partir de maio do mesmo ano. A Convenção do Clima, portanto, entrou em vigor em 21 de março de 1994 (assinada então por 188 países) e estabeleceu o compromisso de redução de emissões de GEE por parte dos países industrializados (chamados no âmbito do Protocolo de países Anexo I).

Com base em uma série de eventos iniciada com a *Toronto Conference on the Changing Atmosphere*, no Canadá em 1988, seguida pelo *IPCC's First Assessment Report*, em Sundsvall, Suécia, em 1990, a UNFCCC estabeleceu em Kyoto, no Japão em 1997, um tratado internacional com compromissos rígidos para a redução da emissão desses gases, o chamado Protocolo de Kyoto.

O Protocolo de Kyoto estabeleceu metas de redução de 5%, em relação às emissões de 1990, para os países desenvolvidos, a serem cumpridas de 2008 a 2012. Esses países do Anexo 1 teriam como compromisso calcular e informar as emissões anuais de GEE através de inventários nacionais. Já os países não Anexo 1 deveriam submeter um documento intitulado “Comunicação Nacional”, contabilizando todas as emissões de GEE por fontes e remoção de sumidouros. Para que estes países atendessem a essas metas, foram criados três mecanismos: o “Comércio de Emissões”, a “Implementação Conjunta” e o “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)”.

O MDL² permitiu que os países desenvolvidos pudessem investir em projetos de redução de emissões de GEE nos países em desenvolvimento, gerando “Reduções Certificadas de Emissões” – RCEs (ou créditos de carbonos), cujo interesse era devido aos custos marginais de abatimento das emissões nos países em desenvolvimento serem menores que em seus próprios territórios. Essas reduções certificadas poderiam viabilizar aos países Anexo 1 o atendimento de suas metas de redução das emissões e aos países não Anexo 1 a implementação de projetos de tecnologias mais eficientes, substituição de fontes de energia fósseis por renováveis, racionalização do uso da energia, florestamento e reflorestamento.

² De fevereiro de 2004 a dezembro de 2017, a Comissão Interministerial de Mudanças Climáticas Globais (Autoridade Nacional Designada Brasileira para o MDL) recebeu 464 propostas de atividades de projeto de MDL, sendo 424 aprovadas, 1 rejeitada e 39 não finalizadas ou canceladas a pedido de seus participantes (MRE e MCTIC, 2019).

Durante a COP-7, em 2001, foi assinado o Acordo de Marrakech que dentre outras determinações, estabeleceu aspectos ambientais do Protocolo de Kyoto, definiu o sistema nacional de inventários de emissões o processo de revisão das comunicações nacionais. Mesmo que as reduções previstas no Protocolo de Kyoto fossem atingidas, não seriam suficientes para diminuir significativamente as mudanças climáticas. Nesta conferência foi criado o Comitê Executivo do MDL e definida como prioridade a erradicação da pobreza nos países em desenvolvimento.

De acordo com o 3º Relatório de Atualização Bienal (MRE e MCTIC, 2019), dos 342 projetos MDL aprovados até dezembro de 2017, 63 são de atividades relacionadas ao aproveitamento de biogás, dentre biodigestores e estações de tratamento de esgotos, e outros 52 relacionados exclusivamente ao aproveitamento de biogás de aterros sanitários, ou seja, 33% dos projetos MDL registrados, que juntos irão contribuir para a redução de 116,2 milhões de toneladas de CO₂e, correspondente à 30% de todo potencial de redução, sendo apenas os projetos de recuperação ou queima de biogás em aterros sanitários contribuindo com 24%.

Com a crescente preocupação com o prazo de Kyoto de 2012, na COP-11 em Montreal iniciaram-se as discussões sobre como limitar as emissões de países não Anexo-1, sobretudo Brasil, China e Índia, haja vista os crescentes níveis de emissões desses países.

A COP-15 em Copenhague restringiu o “Acordo de Bali” apenas aos países não Anexo-1 quanto às NAMAS (ações de mitigação nacionalmente apropriadas, sendo mensuráveis, reportáveis e verificáveis), deixando cada país livre para estabelecê-las, por meio de Comunicações Nacionais, sujeitas a medições, relatórios e verificação internacionais.

Por definição, as NAMAs variam de acordo com cada país e significam reduções voluntárias de países em desenvolvimento, com base na equidade e respectivas capacidades, que precisam ser apoiadas e possibilitadas por recursos financeiros e transferência de tecnologia dos países desenvolvidos, visando o desenvolvimento econômico e social e a erradicação da pobreza

Após a COP-15, o Brasil comunicou suas NAMAs para o atendimento ao acordo, estabelecendo suas metas de redução total das emissões dos GEE de 36,1% a 38,9% em relação às projeções anteriores do País para 2020. A Tabela 1 apresenta as metas e ações voluntárias de mitigação adotadas.

Tabela 1 - Metas e ações voluntárias de mitigação adotadas na COP-15

Ações	Metas de redução até 2020
Redução no desmatamento da Amazônia	564 milhões de toneladas nas emissões de CO ₂ e
Redução no desmatamento do Cerrado	104 milhões de toneladas nas emissões de CO ₂ e
Restauração de áreas de pastagem	83 a 104 milhões de toneladas nas emissões de CO ₂ e
Promoção de sistemas de integração lavoura-pecuária	18 a 22 milhões de toneladas nas emissões de CO ₂ e
Promoção do plantio direto	16 a 20 milhões de toneladas nas emissões de CO ₂ e
Promoção da fixação biológica de N ₂	16 a 20 milhões de toneladas nas emissões de CO ₂ e
Promoção da eficiência energética	12 a 15 milhões de toneladas nas emissões de CO ₂ e
Aumento na utilização de biocombustíveis	48 a 60 milhões de toneladas nas emissões de CO ₂ e
Aumento no suprimento de energia por usinas hidrelétricas	79 a 99 milhões de toneladas nas emissões de CO ₂ e
Utilização maior de fontes alternativas de energia	26 a 33 milhões de toneladas nas emissões de CO₂e
Substituição de carvão de desmatamento por carvão de florestas plantadas	8 a 10 milhões de toneladas nas emissões de CO ₂ e

Em dezembro de 2012, na COP-18 no Qatar, foi aprovada a “Emenda de Doha”, que estendia o prazo do Protocolo de Quito até 2020, ainda que não ratificada por alguns países, dentre eles os EUA. A COP-19 de Varsóvia, em 2013, ficou acordado que todos os países deveriam definir suas metas de reduções voluntárias (*Intended Nationally Determined Contributions – INDCs*) até o Acordo de Paris em 2015. E a COP-20, no Peru, aprovou o primeiro rascunho nesse sentido, denominado “Chamamento de Lima para a Ação sobre o Clima”, documento que viria a substituir o Protocolo de Kyoto em 2020.

Em 2015, na COP-21 foi aprovado o “Acordo de Paris”, que determinou que o aumento médio da temperatura do planeta não deveria ser maior que 2°C, com meta de 1,5°C. Porém ainda não definia os mecanismos pelos quais os países deveriam atingir suas metas, deixando a livre critério de cada um, o que foi criticado pela comunidade científica. Porém no ano seguinte, a COP-22 começou a definir as regras para implementação do Acordo de Paris e o Fundo Verde do Clima aprovou as primeiras propostas de formulação dos Planos Nacionais de Adaptação, que receberia 80 milhões de dólares em doações.

Em 2016, com a ratificação do Acordo de Paris, o Brasil assumiu sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), que entrou em vigor no plano internacional em novembro do mesmo ano, com compromisso de “reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, e subsequentemente, reduzir em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030” (MMA, 2016), correspondendo às emissões de 1,3 GtCO₂e em 2025 e 1,2 GtCO₂e em 2030, em relação às emissões em 2005 de 2,1 GtCO₂e, considerando o GWP-100 (ver seção 4.5).

Para o alcance dessas metas, foram estabelecidas ações e medidas abordando mitigação, adaptação e meios para implementação, através de apoio de políticas e instrumentos que considerem como premissas: o respeito aos direitos humanos, às comunidades vulneráveis, às populações indígenas e aos setores mais afetados (MMA, 2016). A implementação da NDC do Brasil não é condicionada a apoio internacional, mas é aberta ao apoio de países desenvolvidos com vistas a gerar benefícios globais. As ações de mitigação propostas segundo o FBMC (2018), com um potencial de mitigação total de 28,8 MtCO₂eq em 2030 (GWP₁₀₀ - seção 4.5) foram:

- Ampliação da captação e uso do metano de lixões, aterros e efluentes, relacionada com a implementação das políticas de resíduos e de aproveitamento energético de metano;
- Aumento da compostagem dos resíduos sólidos orgânicos segregados na fonte; e
- Degradação de metano de aterro sanitário com flare, esta medida com um potencial de mitigação de 20,8 MtCO₂eq em 2030 (MCTIC, 2017).

Segundo o MMA (2016), de 2004 a 2012, o PIB do Brasil aumentou 32%, ao passo que as emissões diminuíram 52%, quebrando o paradigma entre crescimento econômico e aumento de emissões, ao mesmo tempo em que se retirou mais de 23 milhões de pessoas da pobreza. Em relação às intensidades de emissões por PIB, a NDC do Brasil corresponde a uma redução estimada de 66% em 2025 e em 75% em 2030, ambas em relação a 2005. E a intensidade per capita no Brasil deverá chegar a 6,2 tCO₂e em 2025 e 5,4 tCO₂e em 2030. Em 2004, essa intensidade era de 14,4 tCO₂e, reduzindo para 6,5 tCO₂e em 2012, níveis em que alguns países desenvolvidos já consideram ambiciosos para suas média per capita em 2030.

Em 2017, foi lançada a “Declaração de Paris sobre Precificação de Carbono nas Américas”, por meio da qual Canadá, Chile, Colômbia, Costa Rica, México e alguns governadores norte-americanos reafirmaram compromisso com a implementação do Acordo de Paris e se comprometeram a precificar o carbono. Segundo Santos (2018), discussões sobre a implementação de instrumentos e políticas de precificação de carbono no Brasil também se colocam como uma oportunidade de integração com essa iniciativa.

Em 2018, durante a COP-24 na Polônia, foram definidas e aprovadas regras para implementação do Acordo de Paris, dentre as quais um mecanismo de medição das emissões nacionais e um sistema de controle global e o Banco Mundial fez uma doação recorde de 200 bilhões de dólares. Porém alguns países se opuseram ao

relatório do IPCC sobre a meta de 1,5°C e não houve consenso sobre a ampliação das metas de redução de emissões, o que torna a próxima conferência no final de 2019 fundamental para a implementação do Acordo de Paris e o futuro da Convenção do Clima.

2.1.1 O Mercado de carbono

Mesmo antes da entrada em vigor do Protocolo de Kyoto, o carbono já vinha se tornando uma commodity mundial e seu mercado pode ser dividido entre aqueles que operam dentro das regras de Kyoto e os que operam fora. No Brasil havia projetos negociados com a União Europeia e o Banco Mundial, em conformidade com o protocolo. Duas bolsas do clima atuavam no mercado de créditos de carbono: a *Chicago Climate Exchange* (CCX) e a *European Union Emissions Trading Scheme* (ETS), habilitadas a vender créditos de carbono para empresas com necessidade de reduzir e controlar as emissões de GEE.

Iniciando suas atividades em outubro de 2003, a Bolsa do Clima de Chicago foi um acordo voluntário entre empresas americanas que se comprometeram a reduzir até 2006 suas emissões em 4%, em relação aos níveis de 1998, ao contrário do Protocolo de Kyoto, que previa uma redução coercitiva aos países Anexo 1. O Esquema de Comércio de Emissões da EU (*European Climate Exchange*) começou em janeiro de 2005 com um enfoque mais de controle do que preventivo para os setores industrial e de energia, pois previa penalidades para aqueles que não cumprissem os limites de emissão acordados. Esse esquema permitia que as Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) dos projetos MDL fossem aceitas, que gerou oportunidades aos países menos desenvolvidos.

Em 2009, foi lançado no Brasil o primeiro fundo com rendimentos ligados a créditos de carbono, o Fundo Itaú Índice de Carbono, cujos rendimentos foram baseados na variação do Barclays Capital Global Carbon Index (BGCI), um indicador mundial de monitoramento de desempenho dos créditos de carbono. As previsões de oscilação do BGCI variaram de -15% a 47% e o banco previu uma rentabilidade de 37% (FORTES, 2009 *apud* ROVERE *et al*, 2011c). As operações duraram dois anos.

Ainda em dezembro de 2009, o *European Investment Bank* lançou o programa chamado EIB-KfW Carbon Programme II, através do qual eram comprados créditos de carbono de projetos de MDL ou IC das empresas geradoras destes créditos e revendidos às que precisassem compensar suas emissões. Em maio de 2019, foram

contabilizados 325 projetos relacionados ao clima e ao tratamento de resíduos, sendo respectivamente 145 e 180, dentre os quais 10 brasileiros (EIB, 2019).

Em 2018, projetos voluntários de carbono existentes em 83 países respondem por 60% dentre os títulos de investimento nos quais os recursos são usados exclusivamente para financiar projetos verdes, que registraram um crescimento de US\$ 200 bilhões em relação ao ano anterior. Deste total, outros 20% foram destinados à energia limpa. A maior parte dessas transações é operada na Ásia (39%) e na América do Norte (26%), sendo Índia, China, Estados Unidos e Turquia os principais. O Brasil é o quinto, responsável por cerca de 5% do volume das transações (HAMRICK e GALLANT, 2018)

O preço praticado no mercado de carbono a partir de 2011 iniciou uma queda acentuada, de cerca de 23 euros por tonelada para menos de 4 euros. Esse valor flutuou em torno dos 6 euros até meado de 2017, quando voltou à valorizar fortemente, após o Acordo de Paris, com o aumento das perspectivas de cooperação internacional com a precificação de carbono por meio de mecanismos de mercado, chegando em 2018 a obter uma valorização de mais de 100%, subindo de 10 euros para mais de 20 euros a tonelada. Em 2019 chegou a ultrapassar os 26 euros e está sendo cotada em junho de 2019 a EUR 24,50 a tonelada de CO₂ (INVESTING, 2019), como mostra a Figura 4. Tal valorização se deve à aposta no novo protocolo que irá substituir Kyoto e deve alavancar novamente o mercado de carbono mundial.

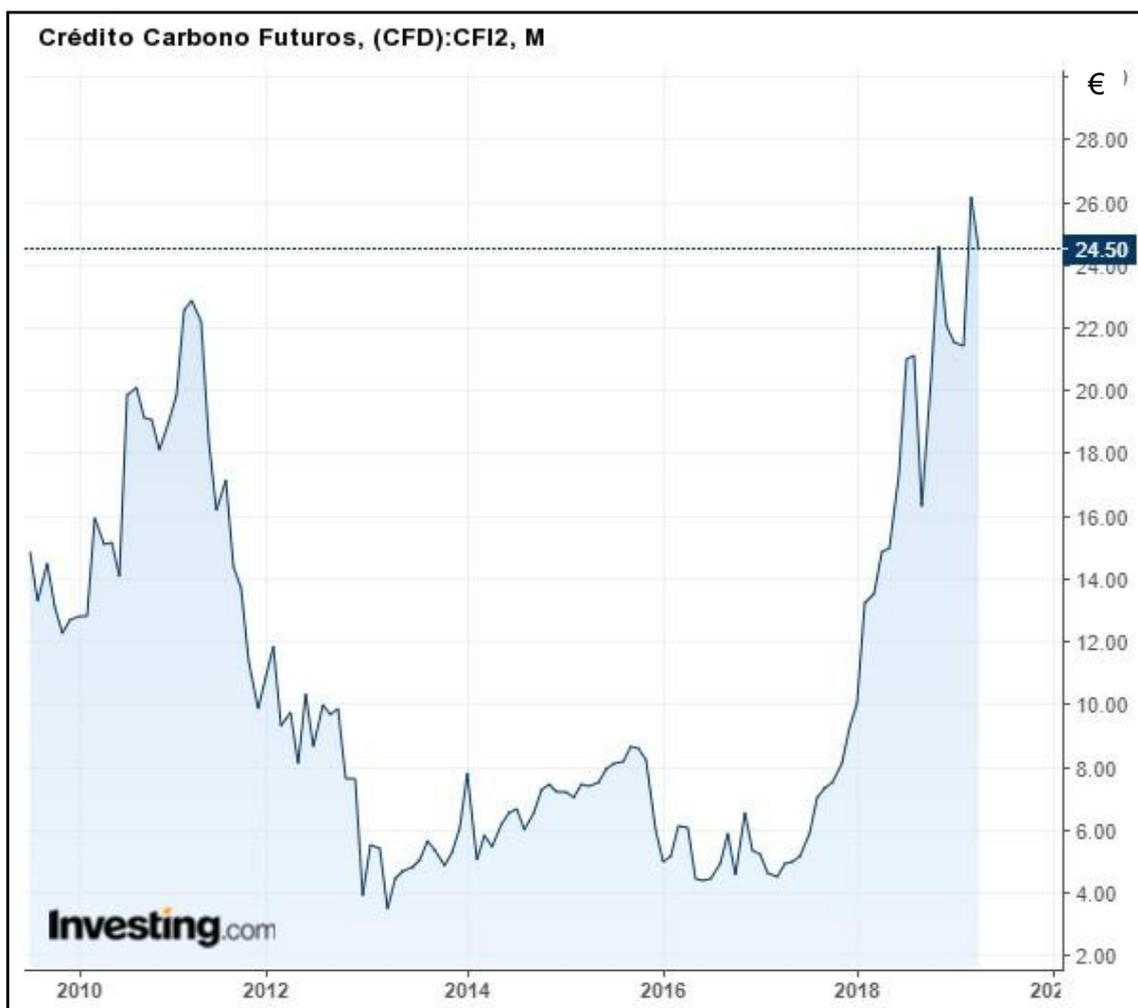


Figura 4 - Tendência de preço do mercado de carbono nos últimos 10 anos

Fonte: Investing.com (2019).

No entanto, adotar um valor futuro da commodity poderá levar a uma supervalorização nos resultados dos ativos das reduções certificadas de carbono, caso o mesmo volte a cair, ainda que menos, estabilizando nos próximos anos num valor médio. Considerando uma mínima de 4 EUR e uma máxima de 26 EUR, adotar-se-á nesse estudo um valor intermediário de 15 EUR para as estimativas de receitas de futuras de RCEs.

Existem outros mecanismos financeiros de redução dos GEE, como ecotaxas, políticas ambientais auditadas por empresas, especulação de risco por instituições financeiras. No mercado voluntário, o REDD (Redução de Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação florestal) é atualmente um modelo de crédito bem valorizado, onde empresas financiam projetos de preservação e de não-desmatamento em reservas florestais, reservas de povos tradicionais, propriedades privadas com biomas preservados, que são mantidos ou melhorados com recursos

dos créditos gerados. Esses créditos são certificados por diferentes sistemas, sendo o *Verified Carbon Standard (VCS)* e o *Climate, Community & Biodiversity (CCB)* os mais aceitos pelos negociadores.

Em 2018, 82 bilhões de dólares foram movimentados em 45 jurisdições nacionais e 25 subnacionais, que colocavam em prática algum modelo de precificação de carbono, que geraram 33 bilhões de dólares em receitas aos governos (SANTOS, 2018). Há também iniciativas privadas de precificação interna de carbono, onde se calculam os custos marginais de abatimento das reduções de emissões das ações de mitigação, e os títulos verdes (*green bonds*), semelhantes aos títulos de dívida comuns, com a diferença que são usados somente para financiar investimentos sustentáveis, como projetos de redução de emissões de GEE, por exemplo.

No Brasil, o Ministério da Fazenda e o Banco Mundial vêm coordenando o projeto *Partnership for Market Readiness (PMR)*, que visa auxiliar o governo na adoção de instrumentos de precificação de carbono, de modo obter resultados para a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) no período pós Kyoto, à partir de 2020. Também se destaca o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (Fundo Clima), vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, que financia projetos, estudos e empreendimentos que visem à redução de emissões de GEE e à adaptação aos efeitos da mudança do clima, e outros programas, como o Plano Indústria, Plano Decenal de Energia, Plano de Mineração, e o Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana, e o projeto *RenovaBio*, que objetiva promover a expansão dos biocombustíveis na matriz energética. Esse último é interessante para o setor de resíduos, uma vez que no Brasil o principal processo de tratamento tem como produto final o biogás, que possui mais de 50% de metano em sua concentração,

2.2 Histórico das políticas climáticas no Brasil

Em 1996, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTIC) instituiu o Programa Nacional de Mudanças Climáticas. Esse programa teve como objetivo prover apoio técnico e científico às ações governamentais relacionadas às mudanças climáticas. Centrando-se na elaboração da 1ª Comunicação Nacional (MCTIC, 2004), o programa estabeleceu a realização de estudos e pesquisas necessários à elaboração dos inventários nacionais de emissões como condição à futura elaboração de políticas de mitigação, vulnerabilidade e adaptação.

A partir do início do século XXI, começaram a ser elaboradas as novas políticas públicas relacionadas às mudanças do clima. Além das perspectivas de maior desenvolvimento de tecnologias para mitigação das mudanças climáticas em todo mundo, o Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, do Ministério das Minas e Energia (MME, 2004) veio incentivar o uso da biomassa para geração de energia elétrica, estabelecendo a adição de 3.300 MW de potência instalada no sistema elétrico brasileiro a partir de fontes de energia renovável, onde os produtores desta energia teriam a garantia de venda por um prazo de até 15 anos por um valor de referência compatível com as características técnico-econômicas de cada projeto. O Proinfa destacava também a redução de encargos no uso do sistema de transmissão e distribuição de eletricidade em pelo menos 50%.

Em 2006, com as novas diretrizes de redução de programas no âmbito do MCTIC, o programa Mudanças Climáticas Globais foi extinto e suas ações incorporadas pelos programas "Ciência, Tecnologia e Inovação para a Natureza" e "Clima e Gestão da Política de Ciência, Tecnologia e Inovação". Em 2007, os programas foram incorporados ao Plano de Ação 2007-2010 "Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional". O capítulo 16 desse plano agrega o Programa Nacional de Mudanças Climáticas e Previsão de Tempo e Clima, cujo objetivo era expandir a capacidade científica, tecnológica e institucional do Brasil em mudanças climáticas globais, com o intuito de ampliar o conhecimento sobre o fenômeno, identificar os impactos sobre o país e subsidiar políticas públicas para se confrontar o problema nos planos nacional e internacional.

Em 2007, foi criado o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM), para elaboração do Plano Nacional de Mudanças Climáticas, coordenado pela Casa Civil, com caráter permanente e formado por 16 ministérios e pelo Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas (FBMC), sendo responsável por propor ações prioritárias de curto prazo, promover a articulação internacional para a troca de experiências e transferência de tecnologia e identificar fontes de recursos. O Plano Nacional de Mudanças Climáticas reunia ações a serem colocadas em prática em todo o país em quatro eixos: mitigação, adaptação aos efeitos da mudança do clima, pesquisa e desenvolvimento, e capacitação e divulgação.

Em 2009 foi lançado o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, organismo científico nacional instituído pela Portaria Interministerial MCTIC/MMA nº 356 (BRASIL, 2009c), com o objetivo de fornecer informações científicas sobre a mudança do clima no País aos tomadores de decisão e a outros interessados no tema.

No final de 2009 foi aprovada a Lei nº 12.187 (BRASIL, 2009b), que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), regulamentada pelo Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010, que estabeleceu padrões ambientais e metas para a redução de emissões e para as remoções por sumidouros de GEE. A PNMC fixou o compromisso brasileiro de reduzir as emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% até 2020, reafirmando as NAMAs. Além disso, previa a utilização de instrumentos financeiros e econômicos, como medidas fiscais e tributárias, e de linhas de crédito e financiamento de agentes financeiros públicos e privados. Um destes instrumentos é o Fundo Nacional Sobre Mudanças do Clima (BRASIL, 2009a), que determina que até 60% dos recursos provenientes da produção de petróleo devam ser transferidos para financiar iniciativas que reduzam os impactos do aquecimento global.

A PNMC estabelecia um teto máximo de emissões para o ano de 2020 de 2,1 bilhões de toneladas de CO₂, cujas estimativas deveriam ser publicadas anualmente a partir de 2012, sendo que a projeção das emissões no cenário de linha de base para 2020 era de 3,2 bilhões tCO₂e. A Tabela 2 apresenta as ações então estabelecidas para o cumprimento dessa meta.

Tabela 2 - Ações estabelecidas para o cumprimento das metas de redução da PNMC

Ações	Metas
desmatamento na Amazônia Legal em relação à média verificada entre os anos de 1996 a 2005	Redução de 80% dos índices anuais
desmatamento no bioma cerrado em relação à média verificada entre os anos de 1999 a 2008	Redução de 40% dos índices anuais
Expansão da oferta hidroelétrica, da oferta de fontes alternativas renováveis, notadamente centrais eólicas, pequenas centrais hidroelétricas e bioeletricidade, da oferta de biocombustíveis, e incremento da eficiência energética	
Recuperação de pastagens degradadas	15 milhões de hectares
Ampliação do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta	4 milhões de hectares
Expansão da prática de plantio direto na palha	8 milhões de hectares
Expansão da fixação biológica de nitrogênio em substituição ao uso de fertilizantes nitrogenados	5,5 milhões de hectares de áreas de cultivo
Expansão do plantio de florestas	3 milhões de hectares
Ampliação do uso de tecnologias para tratamento de dejetos de animais	4,4 milhões de m ³
Incremento da utilização na siderurgia do carvão vegetal originário de florestas plantadas e melhoria na eficiência do processo de carbonização	

Para cumprir esse compromisso nacional voluntário seriam implementadas ações capazes de reduzir entre 1,17 e 1,26 bilhões de tCO₂e. Para garantir isso, haveria revisões no PNMC que seria integrado pelos planos de ação para a prevenção e controle do desmatamento nos biomas e por planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas.

Porém a realidade mostra que existem barreiras para se implementar essas políticas, o que impossibilita o cumprimento dos cenários prospectivos. Tais barreiras podem ser pontuais ou sistêmicas, mecanismos, estruturas ou organizações que dificultam o desenvolvimento dessas ações, podendo ocorrer por diversos motivos, dentre os quais, escassez ou falta de acesso a recursos, indisponibilidade de estruturas de governança, inexistência ou não funcionamento de estruturas legais-regulatórias, contra-ações de resistência (lobbies), inacessibilidade a conhecimento ou tecnologias (MCTIC, 2017). A Tabela 3 mostra as principais barreiras para adoção de ações de mitigação e alcance dos cenários de baixo carbono.

Tabela 3 – Principais barreiras à adoção de ações de mitigação nos cenários de baixo carbono

Barreira	Aterro sanitário com flare	Aterro sanitário com eletricidade	Aterro sanitário com biometano	Biodigestão com eletricidade	Biodigestão com biometano	Compostagem	Incineração
Técnica			Adaptação tecnológica	Adaptação tecnológica	Adaptação tecnológica	Qualidade da segregação	Adaptação tecnológica
Econômica		Crédito	Crédito	Investimento inicial	Investimento inicial	Investimento inicial	Investimento inicial
Mercado		Competitividade	Competitividade	Competitividade	Competitividade	Logística de distribuição	Competitividade
Institucional	Arranjos comerciais e regulatórios	Arranjos comerciais e regulatórios	Especificação	Arranjos comerciais e regulatórios	Especificação	Arranjos comerciais e regulatórios	Arranjos comerciais e regulatórios
Cultural			Desconhecimento		Desconhecimento	Rejeição do composto	Resistência

Fonte: MCTIC (2017).

Barreiras técnicas são relacionadas à disponibilidade, acessibilidade e adaptação da tecnologia, considerando seu nível de desenvolvimento. Barreiras de mercado são relacionadas à disponibilidade de serviços e produtos, à competitividade e às questões de estrutura do mercado. Barreiras econômico-financeiras são relacionadas à disponibilidade e acessibilidade aos recursos financeiros. Barreiras institucionais e culturais são relacionadas à legislação e regulamentação e aos entraves devido a valores sociais, crenças e práticas culturais (MCTIC, 2017),

De acordo com o estudo “Opções de Mitigação” (MCTC, 2017), para superar essas dificuldades são necessários instrumentos capazes de incentivar ou promover essas ações através de leis, normas, projetos, dentre outras medidas ainda não previstas, com foco em organizações, agentes público-privados, mercados, estruturas de governança, desenvolvimento tecnológico, sistemas de informação e redução de assimetrias.

Para o financiamento climático e precificação de carbono no Brasil, devem-se ressaltar alguns desafios a serem superados, dentre os quais a incerteza sobre a configuração da política climática brasileira em termos de mecanismos e instrumentos

econômicos para precificação de carbono, bem como os fluxos financeiros e de investimento em projetos climáticos.

2.2.1 A política climática do Estado do Rio de Janeiro

A primeira iniciativa do Estado para tratar das mudanças climáticas foi a criação do Fórum Rio de Mudanças Climáticas, através do Decreto nº 40.780 (RIO DE JANEIRO, 2007), com o objetivo de articular e discutir ações com outras esferas de governo, do âmbito federal e municipal, e com o empresariado e representantes da sociedade civil organizada. Nesse mesmo ano, a Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEA) coordenou a elaboração do primeiro inventário de emissões de gases de efeito estufa do Estado, a partir do qual foram estabelecidos os seguintes instrumentos legais:

- Resolução SEA/FEEMA nº 22, de 5 de junho de 2007, que estabeleceu a obrigatoriedade de inventário de GEE nos processos de liberação e renovação de licença ambiental; e
- Decreto nº 41.318, de 26 de maio de 2008, que instituiu o Mecanismo de Compensação Energética no Estado do Rio de Janeiro, que obriga as usinas térmicas de combustíveis fósseis a compensar parte da energia produzida, através da ampliação da capacidade instalada de fontes de energia renovável ou da promoção da eficiência energética em instalações.

Em 2008, foi lançado o Parque do Carbono, que implicava na adoção por empresas interessadas em abater suas emissões de carbono de uma área básica de nove hectares para ações de reflorestamento e de manutenção das árvores em crescimento.

Em 2010, foi sancionada a Lei Estadual de Mudança Global do Clima e Desenvolvimento Sustentável (RIO DE JANEIRO, 2010), que veio estabelecer objetivos, diretrizes e instrumentos para estabilizar as concentrações dos GEE, através dos quais:

- O Plano Estadual sobre Mudança do Clima, devendo ser reavaliado a cada quatro anos, atualizado com resultados dos inventários estaduais de emissões, em consonância com o PNMC;
- O Fórum Rio de Mudanças Climáticas;
- O Cadastro Estadual de Emissões;
- O Cadastro Estadual de Sumidouros;

- Estimativas anuais de emissões de GEE e o Inventário Estadual de Emissões de GEE, a ser elaborado a cada cinco anos;
- O Sistema Estadual de Informações sobre Mudança do Clima.

De acordo com o primeiro inventário, o Estado do Rio de Janeiro emitiu cerca de 70 milhões de toneladas de CO₂e em 2005 (GWP_{SAR}, IPCC, 2000), sendo o setor de energia responsável por 60% das emissões totais e o de resíduos por 7%, conforme mostra a Figura 5.

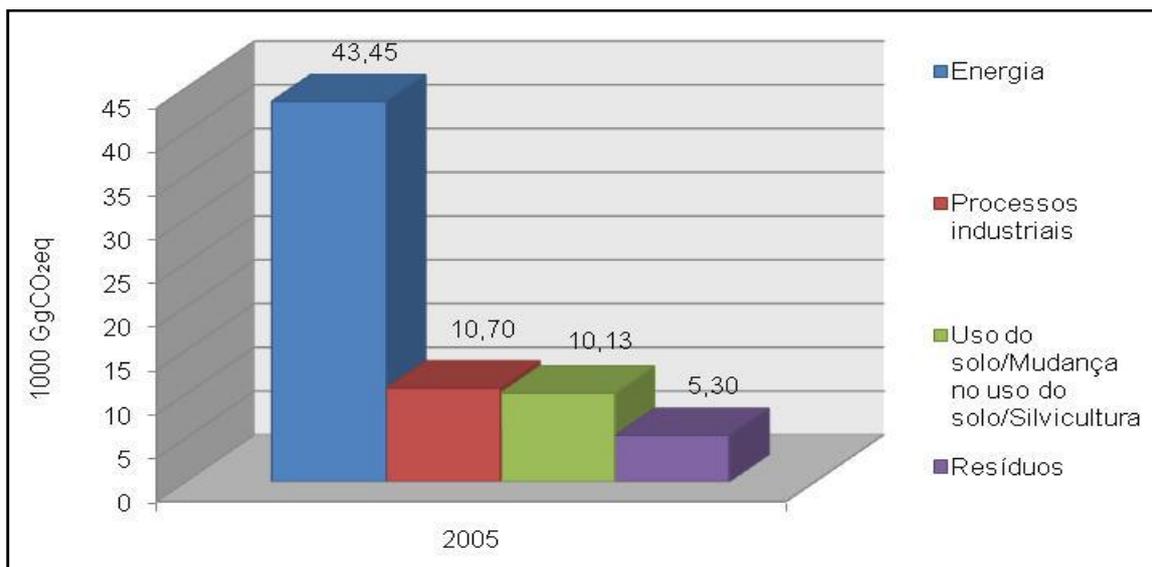


Figura 5 - Emissões de GEE do Estado do Rio de Janeiro por setores produtivos em 2005

Fonte: ROVERE *et al* (2007).

Dentro do contexto das emissões nacionais em 2005, o Estado do Rio de Janeiro contribuiu com aproximadamente 3% das emissões totais (Figura 6). Considerando o setor de tratamento de resíduos, sua participação foi bem mais expressiva, de quase 13%, considerando as emissões nacionais do setor.

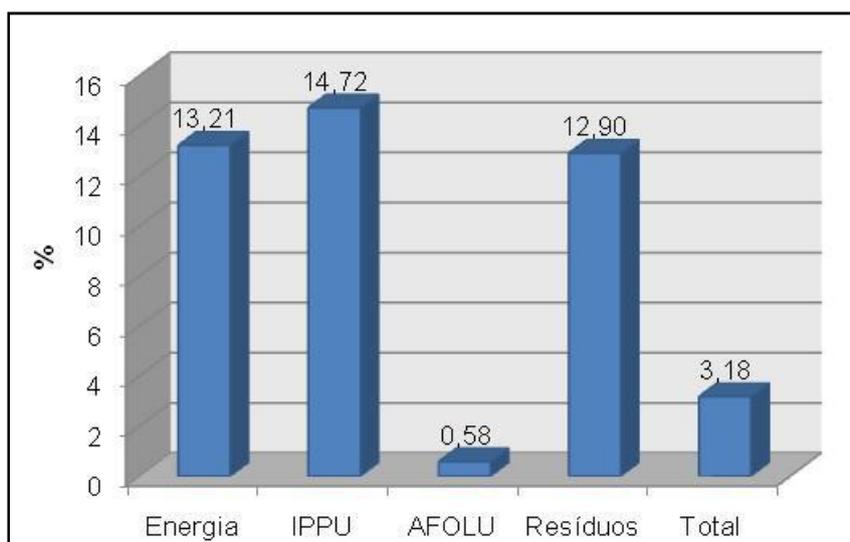


Figura 6 - Emissões do Estado do Rio de Janeiro em relação às emissões do Brasil em 2005

Fonte: ROVERE *et al* (2007).

Em setembro de 2011, foi regulamentada a Lei Estadual de Mudança Global do Clima e Desenvolvimento Sustentável (RIO DE JANEIRO, 2010), através do Decreto nº 43.216, que definiu as metas para redução das intensidades de emissões, em toneladas de CO₂e pelo Produto Interno Bruto do Estado (tCO₂e/PIB), considerando como ano base o ano de 2010 e horizonte em 2030. A meta de redução estadual foi que a intensidade de carbono do Estado do Rio de Janeiro em 2030 deva ser inferior a de 2005.

No setor de tratamento de resíduos sólidos, as ações de mitigação foram definidas pelo Programa Lixão Zero, instituído pelo Programa Estadual Pacto pelo Saneamento, através do Decreto no 42.930/2011 (RIO DE JANEIRO, 2011), com metas audaciosas de melhoria, dentre as quais:

- a erradicação do uso dos lixões no território estadual até 2014;
- a remediação dos lixões existentes até 2016;
- a redução das emissões per capita de GEE devido à disposição de resíduos sólidos em 65% até 2030, em relação às emissões de 2005;

Em outras palavras, significa que em 2030 o gerenciamento de resíduos sólidos no Estado emitirá apenas 84 kgCO₂e/hab.ano, considerando que em 2005 emitiu 241 kgCO₂e/hab.ano (GWP_{SAR}, IPCC, 2000).

O decreto ainda determinava que a reciclagem de lixo domiciliar fosse ampliada de 2% em 2010 para 15% em 2030 e que fosse incentivado o crescimento contínuo da produção de energia elétrica a partir dos resíduos, sem meta numérica.

2.2.2 A política climática da Cidade do Rio de Janeiro

A cidade do Rio de Janeiro foi uma das primeiras no país a definir uma Política Municipal de Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável, instituída pela Lei nº 5.248 (RIO DE JANEIRO, 2011), com metas de redução das emissões dos GEE em relação às emissões de 2005, de modo contribuir para a concretização das metas definidas pela NDC brasileira. No que tange ao gerenciamento de resíduos sólidos, as ações de mitigação definidas pela Política de Mudança do Clima foram:

- reduzir a geração de resíduos sólidos;
- reciclar ou reutilizar os resíduos urbanos, inclusive da construção civil e poda;
- tratar os resíduos, preservando as condições sanitárias e promovendo a redução das emissões de GEE;
- fomentar padrões ambientalmente sustentáveis de produção, comércio e consumo, de maneira a privilegiar a redução da geração de resíduos;
- gerar receitas e benefícios econômicos, inclusive de créditos de carbono, mediante a utilização de técnicas de aproveitamento de energia;
- gerar emprego e renda às populações mais desassistidas através da reciclagem e coleta de resíduos; dentre outras.

A partir das diretrizes estabelecidas, foram determinadas metas de redução das emissões totais para o município, em CO₂e, em relação ao nível das emissões no ano de 2005, fixado a partir dos dados do primeiro inventário municipal de 1998 e das projeções verificadas nas suas atualizações seguintes, de modo reduzir 8% até 2012, 16% até 2016 e 20% até 2020.

Em 2012, durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – RIO+20, a prefeitura da cidade do Rio de Janeiro liderou o encontro C-40, onde prefeitos de 56 cidades do mundo, que são responsáveis por 70% das emissões totais do planeta (ICLEI, 2012), se comprometeram a reduzir suas emissões e o Rio de Janeiro ratificou essas metas estabelecidas em sua política de mudança do clima.

Dando continuidade a revisão da literatura, o capítulo seguinte vem apresentar um relato acerca do estado atual da arte no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil, descrevendo as principais formas de tratamento disponíveis, assim como um breve panorama do Estado e da cidade do Rio de Janeiro.

Capítulo III

O ESTADO DA ARTE NO GERENCIAMENTO DOS RSU

Este capítulo apresenta objetivamente o estado da arte no tratamento dos resíduos sólidos no Brasil e em outros países. Há diferentes formas de processamento disponíveis aos resíduos, na maioria das vezes ocorrendo de modo associado. A disposição final é a última fase de um sistema de limpeza urbana. No Brasil, geralmente este processo ocorre logo após a coleta. O ideal é que antes da destinação final, o lixo seja processado, isto é, beneficiado para que possibilite melhores resultados econômicos, sanitários e ambientais.

3.1 Principais tecnologias de tratamento

3.1.1 Compactação

É um processamento que reduz o volume inicial de lixo de 1/3 a 1/5, favorecendo o seu posterior transporte e disposição final. Geralmente esse processo ocorre nas estações de transferência, o que aumenta sua vida útil consideravelmente. Este processo não gera gases do efeito estufa.

3.1.2 Trituração

Consiste na redução da granulometria dos resíduos, através de trituradores, objetivando diminuir o seu volume e favorecer o transporte, tratamento e disposição final. Também ocorre em estações de transferência. Este processo não gera gases de efeito estufa.

3.1.3 Reciclagem

É o processo pelo qual um material é separado do lixo e reintroduzido no ciclo produtivo como insumo para compor um novo produto, seja igual ou semelhante ao anterior, podendo ter características distintas das iniciais, auxiliando na diminuição da massa e do volume de resíduos encaminhados aos aterros, o que aumenta sua vida útil e evita emissões dos gases estufa.

O processo de reciclagem envolve, em princípio, a etapa de coleta de lixo que quando é precedida da coleta seletiva e da triagem, principalmente com plásticos e metais que possuem maior valor no mercado de recicláveis. Existe uma diferença entre resíduos recicláveis e potencialmente recicláveis e isso tem à ver com seu valor

no mercado de reciclagem. Para serem potencialmente recicláveis precisam ter potencial de aproveitamento e ainda serem mais viáveis que a matéria prima substituída no processo. A Tabela 4 apresenta os resíduos com potencial reciclável.

Tabela 4 - Principais resíduos potencialmente recicláveis, por categoria

PAPEL	PLÁSTICO	VIDRO	METAL
papéis de escritório, papelão, caixas, jornais, revistas, livros, listas telefônicas, cadernos, papel cartão, cartolinas, embalagens longa vida	sacos, CDs, disquetes, embalagens de produtos de limpeza, garrafas PET, canos, tubulações	garrafas, frascos, potes, copos	latas de alumínio, latas de produtos alimentícios, tampas de garrafas, embalagens de congelados, folhas de flandres

Fonte: Instituto Akatu (2011).

A parte do lixo que pode ser considerada “seca” ou potencialmente reciclável, ou seja, separado na fonte, precisa ser mantida fora de contato com o material putrescível desde a produção, evitando a irreversibilidade da mistura. Segundo Faria (2002), ao evitar a mistura, ambas partes seriam suficientemente “puras” para possibilitar um alto grau de aproveitamento, não sendo exagerado esperar 90% de reciclagem para a parte molhada e 50% para a parte seca. Este resultado quando atingido pode ser considerado excelente em termos internacionais.

Considerando a exclusão de um contingente considerável de pessoas, a catação e separação são renda para muitos brasileiros, hoje sendo personagem importante no sistema, pois contribuem informalmente com a coleta seletiva e a reciclagem. Tem-se registro dessa atividade no Brasil há pelo menos 100 anos. No início do século XX, garrafeiros recolhiam de porta em porta vasilhames e garrafas para reaproveitamento e reutilização do vidro. A partir de 1950, a atividade de catação começou a se diversificar com a ampliação das possibilidades de reciclagem de outros materiais.

Segundo dados da Abrelpe (2018), em 2017 no Brasil, cerca de 3,9 mil municípios apresentavam programas de coleta seletiva, sendo que 44% da população não tinha acesso aos mesmos e poucos são os municípios onde a coleta seletiva abrange mais de 50% da população, em sua maioria, não chegando a 10% da produção de lixo local.

O componente “papel” corresponde a cerca de 8 bilhões de toneladas coletadas seletivamente no ano com um índice de reciclagem de 52%, no entanto, é importante frisar que mesmo com esse volume, a reciclagem de papel evita uma quantidade pequena de emissão de biogás quando comparada à fração orgânica decomposta sob condições anaeróbias nos aterros ou em usinas de biodigestão controlada.

3.1.4 Tratamento térmico e incineração

Este processo visa à queima controlada do lixo em fornos projetados para transformar totalmente os resíduos em material inerte, propiciando também uma redução de volume e de peso. O material remanescente da incineração é em geral composto por gases como dióxido de carbono (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂), nitrogênio (N₂), gás inerte proveniente do ar, utilizado como fonte de oxigênio e do próprio lixo, oxigênio (O₂), proveniente do ar em excesso, que não consegue ser completamente queimado, vapor d'água, cinza e escórias, constituídas de metais ferrosos e inertes. Segundo Lima (1999), quando a combustão é incompleta, pode aparecer monóxido de carbono (CO) e particulados – carbono finamente dividido, lançado na atmosfera como fuligem.

A incineração³ pode ocorrer de duas formas: convencional e com produção de energia elétrica. Neste último caso, utiliza-se um gerador de vapor, colocado no caminho dos gases da combustão, com objetivo de aproveitar considerável parcela de energia térmica neles contida, através do esfriamento dos gases.

O dimensionamento e estudo de viabilidade econômica de uma planta de tratamento térmico deve considerar a composição dos RSU e seu poder calorífico, que chega a 3 mil kcal/kg, cujo potencial de recuperação de energia por área ocupada é superior aos aterros sanitários em operação, ao passo que os custos de instalação, operação e manutenção são bem mais elevados no curto prazo (BNDES, 2014).

O processo consiste do tratamento térmico da parte orgânica e dos combustíveis não recicláveis (papel e plástico contaminado com material orgânico) a uma temperatura média de 950°C, seguido de oxidação dos gases gerados a 1050°C. Esses gases são aspirados para a produção de vapor, que aciona um turbo gerador, capaz de produzir 0,6 MW de eletricidade por tonelada de resíduo tratado. Os gases exauridos da caldeira de recuperação são neutralizados por processo de lavagem em circuito fechado (lavadores e tanque de decantação) com uma concentração na chaminé de até 2 ppm de CO, sem liberar efluentes líquidos, restando apenas um precipitado salino de cálcio e potássio mais material inerte, cerca de 8% de massa dos resíduos, podendo ser empregado na fabricação de materiais cerâmicos. A Figura 7 mostra uma usina piloto de tratamento térmico de resíduos no Brasil.

³ A incineração é indicada para quantidades médias de resíduos sólidos de mais de 160 mil t/ano ou 240 t/dia, com linhas médias de produção de 18 t/h (Gandolla, 2012, *apud* **BNDES, 2014**) e no mínimo uma linha trabalhando 8 mil h/ano.



Figura 7 - Usina piloto de tratamento térmico com geração de energia elétrica no Rio de Janeiro

Essa tecnologia já é usada em larga escala no mundo, principalmente na Europa. Está para ser instalada na zona portuária da cidade do Rio de Janeiro uma usina térmica do tipo “waste-to-energy”, com um custo de instalação avaliado em 500 milhões de reais, capacidade para processar 1,3 mil toneladas diárias de lixo e fornecer eletricidade para 200 mil pessoas, com um custo médio de instalação de 35 a 53 reais por tonelada de lixo processado e vida útil entre 20 e 30 anos.

De acordo com o estudo “Rotas de Tecnologias para os Resíduos Sólidos Urbanos” do BNDES (2014), os valores médios de geração de energia elétrica por tonelada de resíduos encontrados nas atuais usinas de incineração variam de 550 a 770⁴ kWh por tonelada de resíduo tratado termicamente. A recuperação total energética do incinerador moderno se situa entre 50 e 70% da energia disponível nos RSU, de forma que 15 a 25% se transformam em energia elétrica e o restante em energia térmica.

3.1.5 Tratamento biológico

A decomposição biológica ocorre em células reatoras, transformando a fração orgânica sólida do material em líquidos e gases. Ao final do processo, é possível segregar o composto orgânico do inerte. Em algumas plantas, o tratamento biológico é realizado simultaneamente a um tratamento mecânico, a fim de potencializar a redução de volume de rejeitos. Um dos principais fatores da aceleração do processo

⁴ Psomopoulos *et al.* (2009), USEPA (2002) e Tolmasquim (2003) *apud* BNDES (2014) apontam, respectivamente, 600 kWh/t, 550 kWh/t e 769 kWh/t.

anaeróbio é o teor de umidade, pois a água é o elemento fundamental na atividade enzimática e de transporte dos nutrientes no lixo.

Esse processo de biodigestão acelerada de lixo orgânico como matéria-prima para produção de energia elétrica é comum no mundo e tem sido amplamente utilizado na América do Norte e em alguns países da Europa, principalmente na Alemanha, onde existe cerca de 8 mil usinas de biogás, 60% das unidades europeias. Mas ainda é novidade no Brasil, onde a primeira usina de tratamento biológico está em processo de licenciamento ambiental para operação em São José dos Pinhais, no Paraná, e irá produzir energia elétrica a partir do biogás produzido, com capacidade instalada de 2,8 MW, transformando 300 toneladas diárias de lixo urbano, codigerido com lodo de esgoto sanitário em eletricidade para 2 mil residências (ÉPOCA, 2019).

Analogamente ao tratamento biológico, os dois métodos de tratamento de resíduos a seguir, compostagem e digestão anaeróbia, são contemplados pelo IPCC (2006) como causadores da geração de gases do efeito estufa, pelas emissões de CH₄ e N₂O. As emissões de CO₂ não são contabilizadas nestes processos, devido à origem biogênica dos resíduos decompostos, como segue.

3.1.5.1. Compostagem

Trata-se de um método para decomposição do material orgânico existente no lixo, sob condições predominantemente aeróbias, em um composto mais estável, que pode ser reutilizado como adubo. Este processo ocorre pela ação de microorganismos, existentes no próprio lixo, que vão decompondo a matéria orgânica mais complexa em produtos mais simplificados. Esse método é também entendido como um processo de reciclagem do material orgânico do lixo e seu composto o produto dessa reciclagem, que possibilita enorme redução da quantidade de rejeito a ser disposto no aterro sanitário.

Existem vários sistemas de compostagem, que se utilizam dos princípios físicos e biológicos, diferenciando-se quanto aos equipamentos, forma de disposição, entre outras características. Mesmo havendo vários sistemas, todos eles apresentam duas fases distintas: o tratamento físico e o tratamento biológico. O tratamento físico destina-se ao preparo dos resíduos, favorecendo a ação biológica. Nesta etapa, os resíduos sofrem processo de separação manual e/ou mecânica, onde a fração inorgânica é retirada da massa. A seguir, os resíduos restantes são gradualmente triturados, homogeneizados e enviados para leiras que permanecem de 90 a 120 dias. Pode-se adicionar lodo de estações de tratamento de esgotos a fim de acelerar o

processo. Convém que este processo esteja associado a um sistema de recuperação dos subprodutos recicláveis do lixo.

Apesar da predominância agrícola no Brasil, não há quase produção de compostos orgânicos a partir da compostagem, com um número reduzido desses sistemas em operação, muitas das vezes de modo caseiro, onde a produção de biogás é irrelevante ou praticamente zero em condições aeróbias, porém provocando a proliferação de vetores de doenças.

3.1.5.2. Tratamento por digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia consiste na inertização do lixo, de modo prolongado. Isto significa que, com o término das reações orgânicas, a mineralização é dada de forma retardada, quando comparada com os demais tratamentos. Segundo Christensen e Kjeldsen (1989) a transformação anaeróbia do material orgânico bruto em bioestabilizado se processa em cinco fases.

i. Fase aeróbia:

- duração de aproximadamente 1 semana (CARVALHO, 1999);
- o oxigênio presente na massa de lixo é consumido, juntamente com os nitratos na decomposição da matéria orgânica, produzindo CO₂, calor e alguns produtos da decomposição;
- o chorume apresenta elevadas concentrações de cloretos e sulfatos e a DQO é da ordem de 10.000 a 100.000 mg/l;
- não há produção de biogás.

ii. Fase anaeróbia não-metanogênica ou ácida:

- fase de transição que dura de 1 semana a 6 meses (CARVALHO, 1999);
- microrganismos anaeróbios facultativos, principalmente bactérias fermentativas e acetogênicas, decompõem a matéria orgânica em CO₂ e outros produtos de decomposição, inclusive ácidos orgânicos e algum hidrogênio;
- CH₄ detectado em pouquíssima quantidade e N₂ diminui devido à produção crescente de CO₂ e H₂;
- DQO aumenta e o pH diminui no chorume, mobilizando as espécies metálicas;

iii. Fase anaeróbia metanogênica instável ou acelerada:

- duração de 3 meses a 3 anos (CARVALHO, 1999).
- crescimento das bactérias metanogênicas, acelerado com o tempo, refletindo-se no crescimento da concentração de CH₄ e redução drástica de CO₂ e H₂;

- ácidos orgânicos consumidos causando o aumento do pH;
 - redução da DQO, à medida que o metano é produzido;
- iv. Fase anaeróbia metanogênica estável:
- duração de 8 a 40 anos (CARVALHO, 1999).
 - produção constante do CH₄, variando entre 50% e 60% do total produzido;
- v. Fase metanogênica em declínio ou desacelerada:
- duração de até 80 anos (CARVALHO, 1999).
 - o carbono mais resistente à decomposição permanece;
 - com a falta de nutrientes, a produção de CH₄ torna-se tão baixa que o N₂ volta a aparecer na composição do biogás;

3.1.5.3. Tratamento por digestão aeróbia

Consiste na injeção de ar na massa de lixo, mediante sistema de bombeamento, o qual eleva demasiadamente os custos diretos e indiretos. Em contrapartida, o percolado apresenta menores níveis de DBO e DQO. Não existe a formação do metano e a estabilização da matéria orgânica é mais rápida, quando comparado com o sistema anaeróbio. Esse tratamento também propicia melhor condição de drenagem e não gera gases de efeito estufa.

3.1.5.4. Tratamento por digestão semiaeróbia

Esse tratamento exclui a desvantagem da implantação de sistemas de injeção de ar no lixo, mas sem perder seus benefícios, alcançados através dos sistemas de drenagem de biogás e percolados e aeração natural por convecção. Esse processo de digestão é bem utilizado em países onde os resíduos enterrados são em maioria cinzas de incineração, portanto não utilizado no Brasil onde a matéria orgânica é aterrada diretamente sem tratamento prévio, gerando um percolado com alto nível de DBO, que prejudica o processo.

3.1.6 Aterramento

É a técnica mais comum no Brasil, ainda que amplamente utilizada sob condições inadequadas. Os aterros podem ser classificados conforme as técnicas de operação e disposição final, conforme os potenciais riscos causados à saúde pública e ao meio ambiente em: condição inadequada, condição controlada e aterro sanitário.

- i. Condição inadequada:

São caracterizados pela simples descarga de lixo, sem qualquer tratamento, a céu aberto. Também denominados lixões ou vazadouros, este método de disposição é o mais prejudicial ao homem e ao meio ambiente, devido à ocorrência de vetores, maus odores, de poluição do solo, das águas subterrâneas e superficiais, de descontrole dos resíduos recebidos e de catadores; todavia ainda é o mais utilizado no Brasil (em número de municípios) e em outros países subdesenvolvidos.

Acrescenta-se a esta situação o total descontrole dos resíduos recebidos nestes locais, verificando-se a disposição de dejetos infectantes e perigosos, oriundos dos serviços de saúde e de indústrias, respectivamente. Comumente ainda, associam-se aos lixões a criação de animais e a presença de pessoas (catadores), muitas residentes no próprio maciço de lixo (LOUREIRO, 2005).

ii. Condição controlada:

Uma variável da prática anterior, em que o lixo recebe cobertura diária de material inerte. Esta cobertura, entretanto, é realizada de forma aleatória, não resolvendo satisfatoriamente os problemas de poluição gerados, uma vez em geral não há sistemas de coleta e tratamento de líquidos e gases, provocando a contaminação do solo e dos aquíferos.

Da mesma forma que nos lixões, a disposição do lixo é feita no solo, com as mínimas condições de controle, ou seja, o lixo é depositado, compactado e seu recobrimento é feito com frequência irregular, na maioria dos casos. Algumas instalações são providas de sistema de drenagem de águas superficiais e coleta periférica de chorume para recirculação nas células. É uma técnica que proporciona menores riscos à saúde pública e à segurança, porém ainda com graves danos ambientais.

iii. Aterro Sanitário:

O aterro sanitário ainda é a técnica de tratamento de resíduos mais utilizada no Brasil, responsável pela destinação final de 64% em massa de resíduos sólidos urbanos no Brasil e apenas 36% em número de municípios, segundo a última pesquisa realizada pelo SNIS (2019).

Os aterros sanitários são obras de engenharia, constituídas de sistemas de drenagem periférica e superficial das águas pluviais e de controle e tratamento dos gases gerados pela decomposição do lixo. Para tal, é necessária a utilização de grandes áreas livres, cada vez mais escassas nos grandes aglomerados urbanos.

Devem também prover de impermeabilização de fundo com sistemas de coleta e tratamento para o lixiviado drenado (LOUREIRO, 2005).

Neste método, a compactação e a cobertura visam não somente reduzir o volume, incêndios espontâneos e impedir a exposição ao ar livre e a proliferação de vetores, mas adicionalmente garantir a estabilidade do maciço de lixo e dos taludes e prolongar ao máximo a capacidade e vida útil do aterro sanitário. Em relação ao biogás gerado, o mínimo exigido é a sua queima em flares. Durante a operação são realizados monitoramentos constantes para evitar vazamento de percolados e instabilidade geotécnica, de modo minimizar qualquer possibilidade de impacto ambiental (LOUREIRO, 2005).

3.1.7 Recuperação de biogás

Atualmente no Brasil os novos projetos de aterros sanitários já prevêem esta tecnologia desde a instalação ao beneficiamento do biogás, diferente dos aterros sanitários antigos onde em poucos havia queima em flares e o mais usual era a queima do biogás nos próprios escapes dos drenos coletores, diretamente ao ar livre. Nessa queima do tipo aberta a combustão não é completa, além de não garantir a transformação total do CH_4 em CO_2 , resulta na liberação de compostos tóxicos (LOUREIRO, 2005).

Segundo Jucá (2007), o estudo dos componentes do biogás permite se avaliar as etapas de tratamento dos resíduos, os riscos ambientais que ocorrem pela percolação, através das camadas de cobertura, além de permitir se caracterizar adequadamente as possibilidades de aproveitamento energético de cada aterro sanitário.

Segundo o último Balanço Energético Nacional (EPE, 2018b), a oferta interna de energia a partir de biogás no Brasil foi de 191 mil tep⁵ em 2017 contra 137 mil tep em 2016. Ainda que essa oferta represente apenas 1% da demanda por gás natural no Brasil, houve um aumento de 40% nesses anos, o que demonstra um enorme potencial a ser explorado.

3.2 O gerenciamento dos resíduos sólidos

Nos países mais desenvolvidos, o aterramento dá espaço a outras tecnologias de tratamento, como incineração, usinas térmicas, biodigestão, compostagem e

⁵ 1 tep (tonelada equivalente de petróleo) equivale à 11.630 kWh ou 11,63 MWh.

reciclagem. Comparando as formas de tratamento nos países da União Europeia em 2017 (último ano com dados disponíveis), vemos que os países mais desenvolvidos utilizam métodos não-aterro para tratar seus resíduos urbanos (EUROPEAN COMMISSION, 2019). Os países da UE cujo gerenciamento de resíduos mais se assemelha ao Brasil são portanto Sérvia, Bósnia, Malta e Turquia, que destinam mais de 90% aos aterros, estes dois ainda com cerca de 5% de seus resíduos destinados à reciclagem. A Figura 8 apresenta esse comparativo.

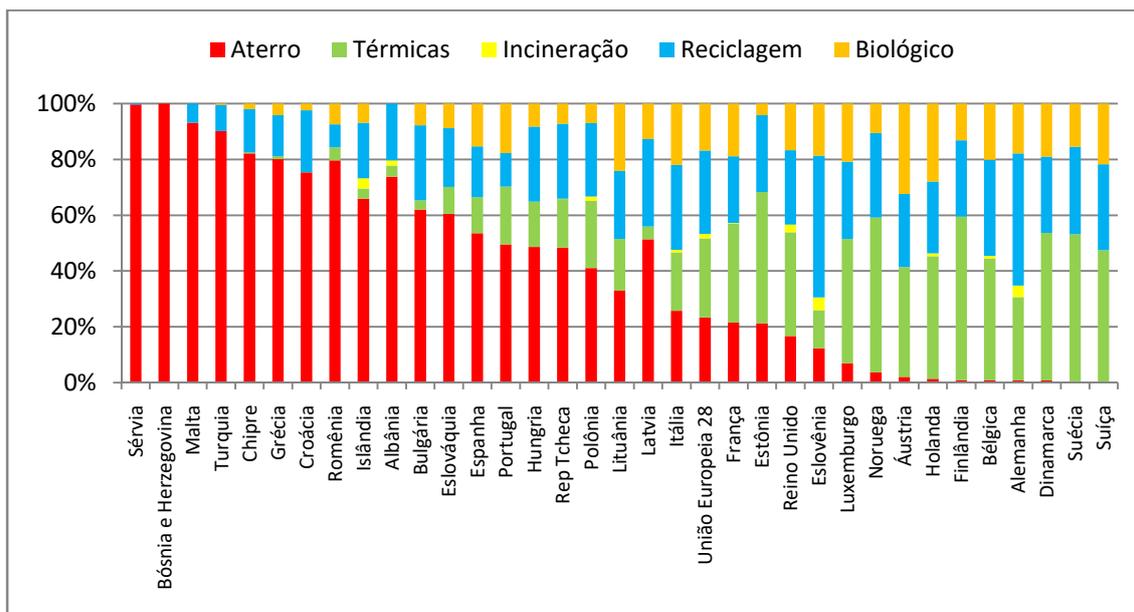


Figura 8 – Formas de tratamento de resíduos sólidos nos países da União Europeia em 2017
 Fonte: European Commission (2019).

Como visto na Figura 8, na União Europeia o tratamento de resíduos sólidos em aterros ainda é um método largamente utilizado, passando de 40% da destinação final dos RSU em mais da metade dos países, segundo a European Commission (2019).

Os valores da

Tabela 5 apresentam um histórico das intensidades de emissões per capita do tratamento de resíduos sólidos urbanos nas áreas geográficas da presente pesquisa, países da União Europeia e demais países Anexo 1 da Convenção do Clima, com base em recentes publicações de inventários de emissões de gases de efeito estufa, permitindo a comparação ao longo dos últimos 20 anos.

Tabela 5 - Emissões per capita do tratamento de RSU em cidades e países, em kgCO₂e/hab

Localidade	1990	1994	2000	2005	2010
Brasil ^{e,k}	115	120	132	152	236
Estado do Rio de Janeiro ⁱ	ND	ND	ND	265	253
Cidade do Rio de Janeiro ^g	128	133	200	263	291
Cidade de São Paulo ^h	ND	ND	345 ²⁰⁰³	377	456
União Europeia 28 ^{b,c,q}	374	366	302	242	222
Áustria ^{c,q}	440	385	287	286	216
Bélgica ^{c,q}	282	253	192	151	105
Alemanha ^{c,q}	487	469	300	213	150
Espanha ^{c,q}	135	172	215	296	328
Finlândia ^{c,q}	736	726	584	459	409
França ^{c,q}	186	218	267	311	305
Reino Unido ^{c,q}	779	686	473	315	266
Grécia ^{c,q}	219	239	285	447	436
Itália ^{c,q}	282	288	332	356	302
Holanda ^{c,q}	803	726	516	418	302
Polônia ^{c,q}	179	183	203	192	166
Portugal ^{c,q}	307	363	393	390	432
Suécia ^{c,q}	341	314	277	274	198
Austrália ^{a,q}	794	728	636	511	507
Canadá ^{p,q}	666	657	644	667	631
Japão ^{m,q}	181	204	203	168	144
Nova Zelândia ^{n,q}	438	403	392	367	308
Rússia ^{f,q}	191	205	237	279	326
Estados Unidos ^{r,q}	596	562	404	392	360

Fonte: autor, ^a ABS (2012), ^b European Environment Agency (2012), ^c European Commission (2013), ^d International Council for Local Environmental Initiatives (2012), ^e MCTIC (2010), ^f Russian Federal State Statistics Service (2012), ^g ROVERE *et al* (2015a), ^h ROVERE *et al* (2006a), ⁱ ROVERE *et al* (2007), ^j ROVERE *et al* (2008), ^k ROVERE *et al* (2011a), ^m Statistics Bureau of Japan (2012), ⁿ Statistics New Zealand (2012), ^p Statistics Canada (2012), ^q UNFCCC (2012, 2013), ^r United States Census Bureau (2012). ND - não disponível. Adotado o GWP-SAR (IPCC, 2000)

Chama atenção a intensidade de emissão de alguns países, como Finlândia, Reino Unido, Holanda, Austrália, Canadá e EUA, mas também da cidade do Rio de Janeiro por terem alcançado patamares de emissões acima dos 500 kgCO₂e/hab em 1990, tendo a Holanda obtido o maior valor neste ano. Esses números mostram clara tendência de redução do patamar de 800 kgCO₂e/hab para 400 kgCO₂e/hab, com uma média de redução aproximada de 50% de 1990 a 2010. Mesmo os EUA, que não participam do Protocolo de Kyoto, reduziram suas emissões do tratamento de resíduos sólidos em 40%.

Essa tabela mostra ainda como as intensidades de emissões per capita no Brasil são aquém dos demais países mais desenvolvidos do Anexo 1. Ressalta-se que na

cidade do Rio de Janeiro a intensidade parece aumentar. Isso se deve às melhorias metodológicas nos inventários mais recentes, dentre as quais não considerar as emissões de CO₂ da queima de metano, das emissões fugitivas e da oxidação nos aterros, por considerara origem biogênica da parte orgânica do lixo (Rovere *et al*, 2000).

Segundo Silveira (2004), Loureiro (2005), Engelhardt (2005) e Guedes (2007), através de medidas *in situ* e informações de operadores de aterros, em qualquer sistema de captação de biogás em aterros, ainda que sanitários, haverá perdas fugitivas de gás em torno de 20%, fora a oxidação que segundo o IPCC (2006), pode chegar a 10% em aterros sanitários, o que deduz uma emissão líquida menor, tendo em vista os inventários mais antigos não descontarem esses fatores.

3.2.1 A gestão dos resíduos sólidos no Brasil

No Brasil, o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos domiciliares e públicos, conhecido como serviço de limpeza urbana, é de responsabilidade dos municípios. Recentemente, uma solução que tem sido muito adotada, seja por logística ou viabilidade econômica, é a administração plurimunicipal, onde dois ou mais municípios gerenciam de forma compartilhada a coleta, transporte, tratamento e destinação final de seus resíduos, o que já é realizado com sucesso nos EUA, Inglaterra e Alemanha, que operam dessa forma desde 1960. Atualmente no Brasil, segundo o SNIS (2019), são 168 os consórcios plurimunicipais existentes e em operação. No Estado do Rio de Janeiro, os 92 municípios operam em consórcios de modo a dispor seus resíduos em 22 aterros sanitários (ROVERE *et al*, 2017b). O aterro de Dois Arcos, em São Pedro da Aldeia, é um dos que optaram pela disposição integrada de resíduos e recebe também dos municípios de Araruama, Iguaba Grande, Cabo Frio, Arraial do Cabo, Búzios, Casemiro de Abreu e Silva Jardim.

Ocorre ainda de um município com aterro de capacidade acima de sua própria demanda receber resíduos de municípios vizinhos por intermédio de acordos entre as prefeituras e as empresas administradoras dos aterros, como foi o caso do aterro de Gramacho até 2012, administrada pela Comlurb no município de Duque de Caxias, e a partir de então dos municípios de Nova Iguaçu e Seropédica, cujos aterros são administrados pela iniciativa privada e recebem resíduos da cidade do Rio de Janeiro.

A Figura 9 apresenta a tendência dos últimos 10 anos entre as principais formas de tratamento e destino final dos RSU no Brasil, por unidade de massa dos resíduos sólidos coletados, com base nos resultados obtidos pela última Pesquisa Nacional de

Saneamento Básico (PNSB) de 2008 (IBGE, 2010) e pelo último diagnóstico do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento 2017 (SNIS, 2019).

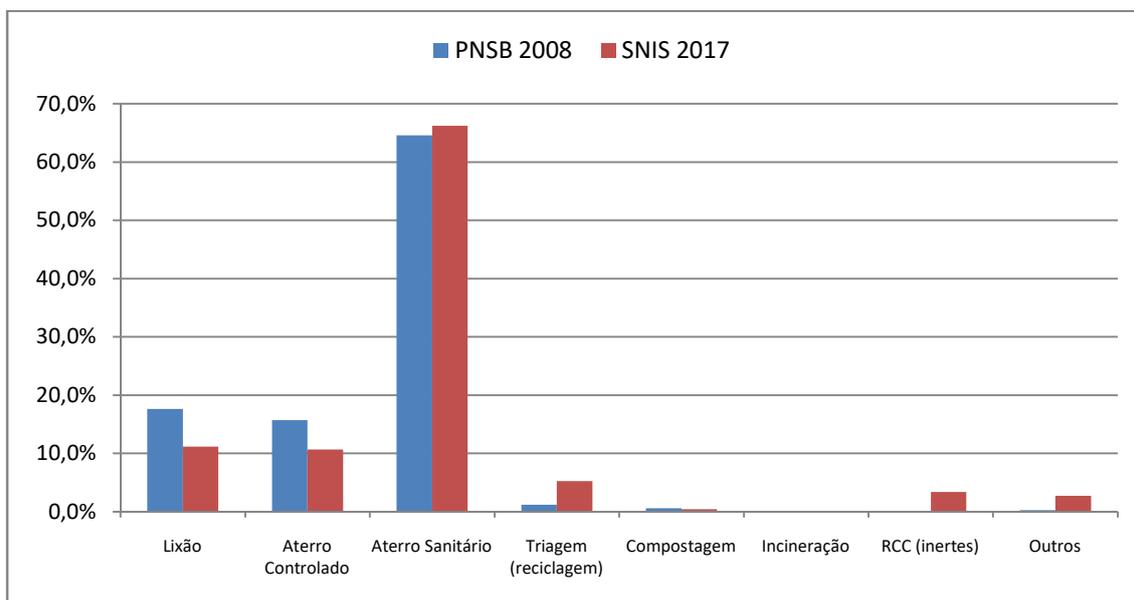


Figura 9 - Destino final do resíduo coletado no Brasil, por unidade de massa de RSU coletado
 Fonte: IBGE (2010) e SNIS (2019).

Por outro lado, essas pesquisas também informam que a disposição final dos RSU por unidade de destino nos 3.950 municípios brasileiros participantes ocorre ainda na maior parte deles de maneira inadequada, ou seja, lixões ou aterros controlados, com apenas 640 municípios dispondo seus resíduos em aterros sanitários sendo 336 no sudeste, 194 no sul, 55 no nordeste, 37 no centro-oeste e 18 na região norte do país (SNIS, 2019). A Tabela 6 abaixo apresenta a evolução do destino final dos resíduos no Brasil, referentes às últimas três pesquisas nacionais de saneamento básico, de 1989, 2000 e 2008 e a última pesquisa publicada do SNIS, de 2017.

Tabela 6 - Destino final dos RSU no Brasil, por unidade de disposição no solo de 1989 a 2017

Ano	Disposição final (%)		
	Lixão	Aterro Controlado	Aterro Sanitário
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7
2017	47,3	25,0	27,7

Fonte: IBGE (2010) e SNIS (2019).

É importante lembrar que não há uniformidade na avaliação e classificação de aterros de disposição de resíduos no Brasil. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2019) possui uma sistemática para tal, chamada IQR, ou Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos, onde vários parâmetros operacionais são

avaliados, resultando numa média ponderada final que classifica o aterro de acordo com a nota alcançada. A COPPE/UFRJ já realizou alguns estudos nesse sentido, publicando algumas dissertações de mestrado sobre este assunto, onde aperfeiçoou os critérios desses índices tanto para resíduos urbanos (FARIA, 2002; LOUREIRO, 2005) como industriais (MONTEIRO, 2006). Ainda assim, trata-se de uma avaliação multicritério, onde o fator humano influi no resultado. Ou seja, dois avaliadores com semelhante formação técnica podem chegar a resultados distintos do mesmo aterro.

Cinco anos após o prazo estabelecido para encerramento dos lixões na PNRS (BRASIL, 2010a), existe um enorme desafio para os 3.350 dos municípios brasileiros que continuam depositando seus resíduos no solo de forma inadequada. O quadro é pior nas regiões nordeste e norte, onde a disposição em lixões ocorre em 53% e 16% dos municípios, respectivamente (ABRELPE, 2018).

Os aterros sanitários no País são em quase totalidade operados pela iniciativa privada, em contratos de concessão com as prefeituras ou empresas municipais de limpeza urbana, sob a forma de terceirização, que pagam pela quantidade em peso de lixo depositado. Segundo o último panorama de resíduos da Abrelpe (2018), esses serviços custaram ao consumidor 125 reais no ano de 2017, movimentando um montante de 28,5 bilhões de reais em todo país.

Mais recentemente tem-se observado em alguns municípios uma tendência por um regime de concessão por um período maior, de até 20 anos, onde as empresas concessionárias fazem o investimento no projeto, licenciamento e infraestrutura necessária à operação e manutenção do aterro sanitário, cobrando pelo serviço à prefeitura ou diretamente aos usuários, porém ainda há muita controvérsia sobre a responsabilidade pelo monitoramento após o encerramento desses aterros.

A média brasileira de geração de resíduos, de acordo com o último panorama dos resíduos sólidos da Abrelpe (2018) foi de 1,035 kg/hab.dia em 2017, com uma eficiência de coleta de 91,2%, portanto com uma taxa de coleta de 0,944 kg/hab.dia. Porém, existe uma variação deste valor considerando as regiões, os Estados da Federação e os municípios, devido principalmente ao nível de renda da população. O SNIS (2019) mostra que no Estado do Rio de Janeiro, a média de coleta em 2017 foi de 1,15 kg/hab.dia e, de acordo com o PMGIRS, a cidade do Rio de Janeiro gerou 1,43 kg/hab.dia em 2014 (SMAC, 2015).

De acordo com a 3ª Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC (MCTIC, 2016), no ano de 2010, as emissões totais de CH₄ do setor de tratamento de resíduos sólidos

no Brasil foram de 1.327 mil toneladas, ou 37,2 milhões de toneladas de CO₂e (GWP₁₀₀-AR5), representando 8% do total das emissões de metano do país. De 1990 a 2010, as emissões de CH₄ do tratamento de resíduos sólidos aumentaram 57,3%, passando de 5,5 para 13,9 kgCH₄/hab.ano, que corresponde a 0,29 tCO₂e/hab.ano. Segundo o documento, o tratamento de resíduos foi a segunda maior fonte dessas emissões, atrás somente da fermentação entérica do gado bovino (o Brasil possui o 2º maior rebanho mundial), correspondente a 65% das emissões de metano, porém não captáveis (Figura 10).

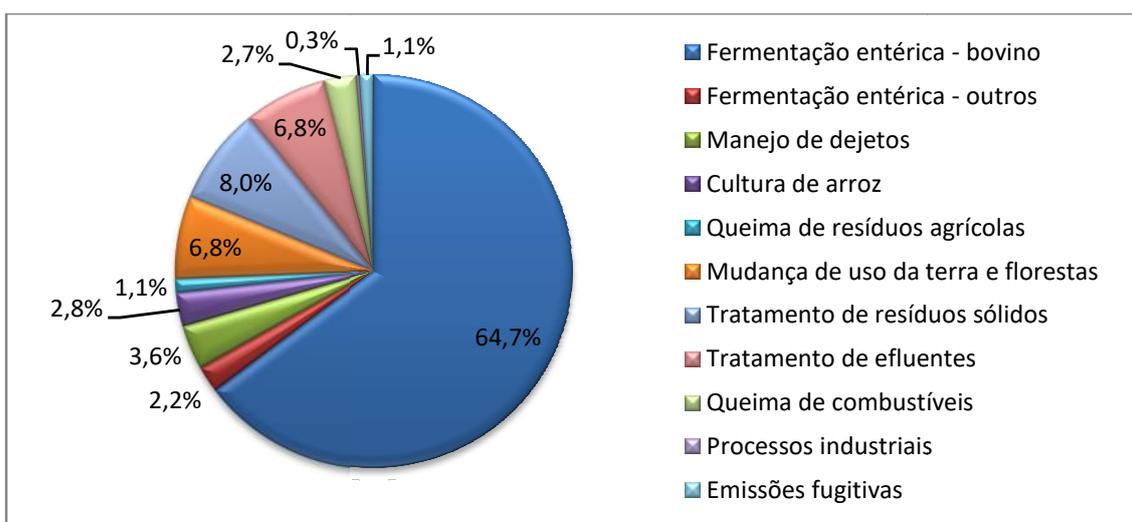


Figura 10 - Participação dos subsetores nas emissões de CH₄ do Brasil em 2010

Fonte: MCTIC (2016).

Os serviços de incineração geraram emissões de CO₂ e N₂O, devido aos resíduos contendo carbono não renovável, sendo estimadas em 175,0 mil e 7,2 mil toneladas, respectivamente, para o mesmo ano (MCTIC, 2016). A Tabela 7 apresenta a evolução das estimativas de emissões dos GEE relativos ao tratamento de resíduos sólidos no Brasil.

Tabela 7 - Evolução das emissões dos GEE do tratamento de resíduos sólidos no Brasil (10³ t)

GEE (10 ³ t)	1990	1994	2000	2005	2010	Variação (%) 1990/2005	Variação (%) 2005/2010
CH ₄	824,4	965,3	1.149,4	1.237,1	1.327,0	50,0	7,3
CO ₂	19,0	78,0	95,0	128,0	175,0	573,7	36,7
N ₂ O	0,002	0,004	0,006	0,007	0,01	250,0	42,9
CO ₂ e	23.102,7	27.107,5	32.279,8	34.768,7	37.333,7	50,5	7,4

Fonte: 3ª Comunicação Nacional do Brasil (MCTIC, 2016), GWP₁₀₀-AR5.

Credita-se esse aumento nas emissões de CH₄ ao crescimento demográfico e socioeconômico, mudanças de hábitos e melhoria na qualidade de vida do brasileiro,

que causam aumento no consumo e conseqüentemente no descarte de resíduos. As emissões poderiam ter sido ainda maiores sem as reduções obtidas pelos projetos de MDL, que contribuíram para mitigar parte desse aumento, através da recuperação e queima do CH₄, de 208,4 GgCH₄ em 2010 (MCTIC, 2016). Também deve ser considerada a instalação de aterros sanitários com flares de baixa eficiência, já que existe um *trade-off* entre o aspecto sanitário e o climático, pois a destinação adequada em aterro sanitário gera mais gases de efeito estufa.

3.2.2 A gestão dos resíduos sólidos no Estado do Rio de Janeiro

Segundo Lua (1999), ao longo das últimas décadas, o Estado do Rio de Janeiro investiu grandes quantias na construção de usinas de reciclagem e compostagem que permaneceram por anos desativadas ou abandonadas. Das usinas construídas, onze foram desativadas ou tiveram suas obras paralisadas. Duas estavam em atividade e outras duas produziam aquém da capacidade. A construção das usinas de Queimados e Belford Roxo foi motivada pela Rio-92. Para a construção das usinas de São Gonçalo, Niterói e Magé, foram destinados recursos do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara (PDBG).

Segundo o levantamento realizado por Rovere *et al* (2007) por intermédio da elaboração do Inventário Estadual das Emissões dos GEE do Estado do Rio de Janeiro de 2005, o panorama nos 92 municípios do Estado apresentou as seguintes opções de tratamento e destinação final: 4 aterros sanitários licenciados, 13 aterros controlados, 6 aterros sanitários em licenciamento ambiental, 57 unidades de triagem e compostagem e 62 lixões⁶.

Em 2013 foi aprovado o Plano Estadual de Resíduos Sólidos – PERS (SEA-RJ, 2013), por meio do Decreto nº 45.957, de 22 de março de 2017, válido até 2033 e devendo ser revisto a cada quatro anos. Segundo o documento, das 17 mil toneladas de lixo geradas no Estado do RJ todos os dias, 83% é produzido na Região Metropolitana, sendo apenas 3% destinados à reciclagem.

Dentre as metas do PERS-RJ, destacou-se o Programa Lixão Zero, que visava erradicar todos os lixões do Estado, com a respectiva migração do lixo para aterros sanitários até 2018, através da formação de consórcios intermunicipais, para viabilizar

⁶ Aterros sanitários licenciados (Rio das Ostras, Nova Iguaçu, Pirai e Macaé); aterros controlados (Angra dos Reis, Gramacho, Nova Friburgo, Resende, Teresópolis, Barra do Pirai, Rio Bonito, Santa Maria Madalena, Petrópolis, Miracema, Maricá, Porciúncula e Natividade); aterros sanitários em licenciamento (Macaé, Rio de Janeiro, Nova Friburgo, Paracambi, São Pedro da Aldeia e Campos); das 57 unidades de triagem e compostagem, 4 em fase de implantação e apenas 26 em operação; dos 62 lixões, 48 com catadores, crianças, animais e vetores.

arranjos regionais de baixo custo operacional. Dentre os 65 lixões identificados no início do programa, ao final de 2014 restavam apenas 17, que recebiam 480 toneladas de lixo por dia ou 2,8% de todo lixo fluminense. Os Arranjos Regionais são formados por um agrupamento de municípios que, mesmo sem serem consorciados, levam seus resíduos para uma central de tratamento ou aterro sanitário comum.

Segundo a atualização do Inventário Estadual de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Rio de Janeiro em 2015 (ROVERE *et al*, 2017b), o tratamento de resíduos sólidos urbanos foi responsável pela emissão de 3,6 milhões de toneladas de CO₂e, valor abaixo de 2005 e 2010, quando emitiu 5,2 e 6,4 mi tCO₂e, respectivamente. A Tabela 8 apresenta essa evolução por fonte emissora de tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Tabela 8 – Histórico das emissões de GEE por tratamento de RSU no Estado do Rio de Janeiro (10³ tCO₂e)

Fonte de emissão	2005	2010	2015	2015/2005
Lixões e vazadouros	560,6	473,5	738,9	+32%
Aterros controlados	3.457,7	4.687,2	0,0	-100%
Aterros sanitários	1.184,5	1.252,8	2.839,4	+140%
Tratamentos biológicos	0,0	0,1	0,8	+700%
Tratamentos térmicos	25,1	25,5	25,9	+3%
Total	5.227,9	6.439,0	3.605,0	-31%

Fonte: adaptado de Rovere *et al* (2017b) para GWP₁₀₀-AR5 (IPCC. 2013).

As emissões do tratamento biológico foram devidas basicamente à usina de compostagem do Caju e o tratamento térmico à Usina Verde na Ilha do Fundão e à incineração de outros resíduos de pequena monta, sendo irrelevantes no total das emissões do Estado numa escala de milhões de toneladas de CO₂e. Considerando a população no Estado do Rio de Janeiro de 15,3 e 16,6 milhões de habitantes em 2005 e 2015, respectivamente, a emissão per capita do tratamento dos resíduos sólidos urbanos caiu de 0,342 para 0,217 tCO₂e/hab.ano.

3.2.3 A gestão dos resíduos sólidos no município do Rio de Janeiro

Nos primeiros anos de colonização da cidade do Rio de Janeiro, grande parte dos resíduos urbanos era despejada próxima aos locais de pastagem dos animais, dando origem às praças públicas. No final do século XIX, o lixo era entulhado em mangues e alagadiços, em terrenos de marinha ao longo da Baía de Guanabara, o que deu origem em 1931 ao aterro do Caju, onde o lixo recolhido era espalhado pelo terreno pantanoso e coberto por uma camada de barro e areia extraídos do cemitério de São Francisco Xavier. O local foi utilizado durante 40 anos e chegou a cobrir 800 mil m². O aterro foi desativado em virtude do assoreamento da foz de rios que ali

desembocavam. Convênios com os Ministérios da Marinha e do Exército em 1971 deram origem a dois novos aterros com 40.000 m² (FARIA, 2002).

Em 1975, o Estado da Guanabara uniu-se ao antigo Estado do Rio de Janeiro. Esta fusão transformou a cidade do Rio de Janeiro capital do novo Estado. O antigo DLU (Departamento de Limpeza Urbana), vinculada à Secretaria de Saneamento do Estado da Guanabara, tinha como atribuições quase exclusivamente a coleta e limpeza, não havendo preocupação maior com o destino final do lixo. Com a fusão, o DLU passou a se chamar Celurb e então Comlurb (Companhia Municipal de Limpeza Urbana), uma empresa da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, criada com a missão de planejar a médio e longo prazo a disposição final do lixo urbano, integrado ao sistema de coleta e limpeza da cidade.

Em 1976, numa área de 1,3 milhão de m², foi criado o aterro Metropolitano de Gramacho, que nasceu como lixão e foi evoluindo para a condição de aterro controlado. Para lá eram levadas de 7 a 8 mil toneladas de lixo por dia, chegando a pouco mais de 9 mil t/dia antes de seu encerramento. A recuperação e operação do aterro começou com a execução das obras em dezembro de 1995, através de concorrência pública⁷. Posteriormente, o aterro metropolitano foi administrado por um consórcio com outra empresa e passou a receber resíduos das prefeituras do Rio de Janeiro, Nilópolis, Duque de Caxias e São João de Meriti. Atualmente encontra-se encerrado desde 2012, não recebendo mais resíduos. Às margens da Baía de Guanabara, o local, é considerado um dos piores passivos ambientais do Estado. O recente risco de vazamento subterrâneo de chorume foi determinante para a desativação definitiva (ROVERE *et al*, 2017b).

Com tecnologia instalada para coleta e beneficiamento, o biogás gerado em Gramacho passou a ser utilizado como substituto ao gás natural na Refinaria de Duque de Caxias, da Petrobrás. Segundo a Comlurb (2011), a queima do metano de Gramacho deveria evitar até 2025 uma emissão média anual de cerca de 75 milhões de metros cúbicos de metano contido no biogás.

Atualmente, o lixo da cidade do Rio de Janeiro é destinado ao CTR de Seropédica, inaugurado em 2012, que conta com tecnologia de coleta de biogás, capaz de promover a queima do metano e o aproveitamento para geração de energia

⁷ O aterro metropolitano de Gramacho foi considerado como controlado a partir de 1996, pois até 1995 funcionava como lixão, a partir de quando se iniciaram os processos de melhoria. Ainda assim, a massa de resíduos permaneceu assente em camada de solo altamente deformável, com presença de centenas de catadores trabalhando dia e noite e com uma cobertura que nunca garantiu uma completa impermeabilização. Com isso, nas camadas superficiais o comportamento dos resíduos era aeróbio, só se tornando anaeróbio ao longo do tempo.

elétrica ou térmica, além de toda infraestrutura necessária ao tratamento adequado dos resíduos e seus produtos, como chorume.

Segundo Lua (1999), programas de reciclagem na cidade do Rio de Janeiro também desperdiçaram muitos recursos, por exemplo, as usinas de reciclagem de Irajá, Jacarepaguá e Caju. A de Irajá, construída em 1977, contava com sistema prévio de trituração e posterior compostagem natural em leiras, com capacidade de processamento de 350 toneladas/dia, mas operava apenas a separação. A usina de Jacarepaguá, com capacidade instalada de 560 toneladas/dia, funcionou de 1992 a 1997, desativada pelo forte odor. A do Caju, inaugurada em 1992, com capacidade de projeto de 70 toneladas/hora de resíduos, funcionou por dois anos também devido ao forte odor produzido no processo. Essas instalações acabaram se tornando estações de transferência (ETR) e a usina do Caju deve se tornar a primeira usina de biodigestão do Brasil, com previsão de aproveitamento energético do biometano.

De acordo com dados do último diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos da cidade do Rio de Janeiro, 31 entidades de catadores então em operação produzem a quantidade média mensal declarada de 2,7 mil toneladas de recicláveis, sendo 866,0 t/mês de papel, 519,3 t/mês de papelão e 96,0 t/mês de madeiras que poderiam ser destinados a aterros sanitários. Esses 3 tipos de resíduos juntos somam 1,5 mil t/mês, equivalente à 17,8 mil toneladas anuais, que evitam a emissão de 2,4 mil tCH₄, ou 66,8 mil tCO₂e (ROVERE *et al*, 2015b).

Até 2012, os RSU da cidade do Rio de Janeiro eram despejados em dois aterros controlados: Gericinó, no bairro de Bangu, e Gramacho, no município de Duque de Caxias. Com o encerramento de ambos, todo lixo da cidade passou a ser disposto no aterro de Seropédica que fica a cerca de 40 km do centro da capital. Ainda que os resíduos fossem dispostos em um município vizinho, a responsabilidade política das emissões é dada na origem da sua produção. De todo lixo produzidos na cidade, 40% é retirado de ruas (feiras livres, entulho de pequenas obras, galhadas e bens inservíveis). A massa de lixo urbano per capita destinada aos aterros, oriundas de resíduos domiciliares e grandes geradores, de 0,9 kg/hab/dia, resultaram nas emissões líquidas⁸ de 81,2 mil toneladas de CH₄, ou 2.274,3 mil toneladas de CO₂e (ROVERE *et al*, 2015a). A Tabela 9 apresenta as emissões líquidas de GEE por fonte de tratamento de resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro em 2005.

⁸ A massa de metano recuperado e queimado foi de 388,3 t em Seropédica e de 11, 2 mil t em Gramacho, somando um total de 11,6 mil tCH₄ (ROVERE *et al*, 2015a).

Tabela 9 - Histórico das emissões de GEE por tratamento de RSU na Cidade do Rio de Janeiro (10³ tCO₂e)

Fonte de emissão	1990	1998	2005	2012	2012/2005
Lixões e Vazadouros	352,8	1.322,6	407,0	0,0	-100%
Aterros Controlados	3.175,2	2.625,4	3.877,0	1.974,4	-49%
Aterros Sanitários	0,0	0,0	0,0	291,1	-
Tratamentos biológicos	0,0	0,0	0,0	0,8	-
Tratamentos térmicos	0,0	0,0	0,0	8,9	-
Total	3.528,0	3.948,0	4.284,0	2.275,1	-47%

Fonte: adaptado⁹ de Rovere *et al* (2011b) e Rovere *et al* (2015a) para GWP₁₀₀-AR5 (IPCC. 2013).

Ainda que a participação nas emissões totais de metano nos inventários do Brasil e do Estado do Rio de Janeiro seja relevante, na cidade do Rio de Janeiro historicamente o tratamento dos resíduos sólidos é a maior fonte emissora de metano, com 54% das emissões totais deste gás na cidade. Considerando a população de 6,4 milhões de habitantes em 2012 (ROVERE *et al*, 2015a), a emissão per capita do tratamento dos resíduos sólidos foi de 0,356 tCO₂e/hab.

Após a revisão da literatura, dividida em revisão histórica e descrição do estado da arte, apresentada no presente capítulo e no anterior, o próximo capítulo vem descrever a metodologia empregada na presente pesquisa.

⁹ Os inventários até 1998 consideravam o Aterro de Gramacho como sanitário, com FCM igual a 1, que superestimava as emissões totais de metano. A Tabela 9 - *Histórico das emissões de GEE por tratamento de RSU na Cidade do Rio de Janeiro (10³ tCO₂e)* acima ajusta esse fator para 0,8, considerando-o controlado, pois sabe-se que a frente de trabalho em Gramacho na década de 90 operava com lixo à céu aberto, catadores, queimas espontâneas, características de lixões, contudo com compactação, cobertura (não diária), drenagem de chorume, ainda que ineficazes. A partir de 2005, os inventários da cidade do Rio de Janeiro também passaram a considerar a soma das contribuições históricas desde 1975, de acordo com a diretriz para inventários nacionais do [IPCC \(2006\)](#).

Capítulo IV

METODOLOGIA UTILIZADA NA PESQUISA

Este capítulo apresenta o modo como foi conduzido o estudo. A partir da definição do problema e dos objetivos, será estabelecido o método pelo qual se pretenderá alcançar os objetivos, bem como as técnicas e procedimentos para a realização do estudo.

Segundo Silva e Menezes (2001, p. 19), pesquisar é "procurar respostas para indagações propostas. A pesquisa é um conjunto de ações, que têm por base procedimentos racionais e sistemáticos, para encontrar a solução para o problema". A pesquisa é realizada quando se tem um problema e não há informações para solucioná-lo.

Segundo Silva e Menezes (2001, p. 23), metodologia científica é "um conjunto de etapas ordenadamente dispostas para investigação de um fenômeno". Nessas etapas estão incluídas a escolha do tema, o planejamento da investigação, o desenvolvimento metodológico, a coleta e a tabulação de dados, a análise dos resultados, a elaboração das conclusões e a divulgação de resultados.

Para Villaça (2004, p. 3), numa pesquisa de tese é fundamental ordenar e articular o raciocínio, de modo que o texto tenha começo, meio e fim e que haja um fio de raciocínio, ou seja, ideias concatenadas percorrendo essas etapas.

Esta pesquisa pretende mostrar os potenciais benefícios ambientais e financeiros no tratamento de resíduos sólidos urbanos a partir da ampliação do saneamento com redução da emissão de gases de efeito estufa. Será apresentado a seguir o modelo de estudo empregado, para o alcance dos objetivos do estudo.

4.1 Classificação da pesquisa

Na perspectiva teórica, este estudo pode ser classificado, segundo Silva e Menezes (2001, p. 20), do ponto de vista da sua natureza, da forma de abordagem do problema, de seus objetivos e dos seus procedimentos técnicos:

- quanto à sua natureza, é uma **pesquisa aplicada** que tem por objetivo gerar conhecimento para aplicação prática e dirigida à solução de problemas específicos

(neste caso, a mitigação das emissões de GEE do gerenciamento de resíduos sólidos);

- quanto à forma de abordar o problema, é uma **pesquisa quantitativa**, pois se trata de traduzir em números informações para classificá-las e analisá-las, através do uso de recursos e de técnicas de cálculo (neste caso de quantificar as causas das aplicações das políticas em termos de emissões de GEE e comparar as possibilidades por meio de cada custo e benefício);
- quanto aos seus objetivos, segundo Gil (1991), é uma **pesquisa explicativa**, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito, através de levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e de análise de exemplos (Brasil, Estado e Cidade do Rio de Janeiro); ainda em relação aos seus objetivos, em parte a presente pesquisa também assume caráter **descritivo**, pois descreve características do fenômeno e estabelece relações entre variáveis, através levantamento de dados e observação sistemática;
- quanto aos seus procedimentos técnicos, segundo Gil (1991) a pesquisa é **experimental**, pois determina um objeto de estudo, selecionam-se as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definem-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

4.2 Método de Pesquisa

Segundo Silva e Menezes (2001, p. 25), "método científico é o conjunto de processos ou operações mentais que se devem empregar na investigação. É a linha de raciocínio adotada no processo de pesquisa" científica. Os métodos científicos que fornecem as bases lógicas para a investigação são: dedutivo, indutivo, hipotético-dedutivo, dialético e fenomenológico.

Para Gil e Lakatos e Marconi (*apud* SILVA e MENEZES, 2001, p. 25), o método **dedutivo**, "proposto pelos racionalistas Descartes, Spinoza e Leibniz, que pressupõem que só a razão é capaz de levar ao conhecimento verdadeiro, tem o objetivo de explicar o conteúdo das premissas, por intermédio de uma cadeia de raciocínio em ordem descendente, de análise do geral para o particular, para chegar a uma conclusão, ou seja, usa o silogismo, que é a construção lógica a partir de duas premissas para uma terceira decorrente das duas primeiras".

Segundo Gil, Lakatos e Marconi (*apud* SILVA e MENEZES, 2001, p. 26), o método **indutivo**, "proposto pelos empiristas Bacon, Hobbes, Locke e Hume, considera que o conhecimento é fundamentado na experiência, não levando em conta princípios preestabelecidos". Nesse método, a generalização deriva de observações de casos particulares da realidade concreta.

Segundo Gil e Triviños (*apud* SILVA e MENEZES, 2001, p. 27), no método **fenomenológico**, preconizado por Husserl, empregado em pesquisa qualitativa, descreve-se diretamente a experiência tal como ela é. "A realidade é construída socialmente e entendida como o compreendido, o interpretado, o comunicado".

Ainda que os métodos científicos sejam importantes para a pesquisa, atualmente não se olha a ciência como fruto de um roteiro previsível, ou seja, por apenas uma maneira de raciocínio, um método em particular, mas pelo emprego de dois ou mais métodos, de forma que se ampliem as possibilidades de análise e obtenção de respostas para o problema proposto (SILVA e MENEZES, 2001, p. 28).

Tendo em vista que o objetivo da pesquisa é demonstrar o que vem acontecendo a partir de casos concretos, fazer extrapolação e avaliar o potencial de benefícios baseados em evidências e tecnologias já comprovadas, o método utilizado no presente trabalho é o indutivo.

4.3 As Etapas da Pesquisa

O presente item sistematiza o processo de pesquisa em suas etapas e detalha os procedimentos adotados em cada uma delas, divididas em cinco: planejamento, pesquisa, modelo, aplicação e avaliação.

No planejamento, são identificadas as lacunas entre a teoria e a prática, que levam às perguntas de pesquisa e à definição do objetivo a ser alcançado. A busca por respostas condiciona a pesquisa, que é realizada na teoria, na prática e por meio de experimentação. Estas diferentes abordagens fundamentam, respectivamente, a conceituação, a configuração e o detalhamento do modelo. A aplicação do modelo vai permitir responder às perguntas da pesquisa. A avaliação verifica o alcance do objetivo e as implicações do modelo para uma nova compreensão do problema.

Para Yin (2001, p.33), como estratégia de pesquisa, "o estudo de caso compreende um método que abrange tudo com a lógica de planejamento incorporando

abordagens específicas à coleta de dados e à análise de dados". Nesse sentido, o estudo de caso não é uma tática para a coleta de dados nem uma mera característica do planejamento, mas uma estratégia de pesquisa abrangente (STOECKER *apud* YIN, 2001, p.33).

4.3.1 Descrição do modelo de estudo

Segundo Rovere *et al* (2008), um cenário prospectivo é a configuração de um sistema ou situação que desejamos conhecer. Sua finalidade é a de apresentar de forma clara e coerente um número de possibilidades para o futuro, sem a pretensão de fazer uma previsão. Deve ser interpretado como estimativas do que pode acontecer, concebidas a partir de hipóteses das variáveis relevantes para o comportamento de um sistema em estudo. Os cenários devem ser considerados como caminhos possíveis em direção ao futuro e uma forma de aumentar a compreensão das consequências de eventos potenciais e políticas de longo prazo, em um determinado nível.

Segundo Rovere *et al* (2008), a construção de cenários é a forma mais adequada de se compreender como intervenções planejadas podem afetar a dinâmica de um sistema e, portanto, de se construírem políticas, planos e programas adequados a um ou mais propósitos. No caso das políticas públicas relacionadas à mudança do clima, seus resultados poderão ser avaliados a partir da construção de cenários sobre o desenvolvimento da economia brasileira, com e sem sua implementação plena ou parcial.

Conforme a abordagem proposta para a construção dos cenários do SRES (IPCC, 2000), os cenários são classificados em quatro diferentes narrativas ou "histórias de futuro", permitindo incorporar um contexto qualitativo na sua quantificação. Na verdade, as narrativas representam dois níveis de maior ou menor globalização (1 ou 2) combinados com dois níveis de prioridade para o mercado ou o meio ambiente (A ou B). A quantificação é feita com apoio de modelos matemáticos, com base nos parâmetros que são identificados nas narrativas que caracterizam o cenário.

No caso do Brasil, do Estado e da Cidade do Rio de Janeiro, foram traduzidas as "histórias de futuro" dos cenários SRES para a realidade nacional. O Centro-

Clima¹⁰/COPPE/UFRJ normalmente utiliza o cenário A2 que é caracterizado pelo relativamente baixo comércio internacional, pela lenta renovação do estoque de capital e pelas baixas taxas de mudanças tecnológicas. Utiliza também o cenário B2 que é caracterizado por comparativamente maiores preocupações com a sustentabilidade social e ambiental. As principais diferenças entre os cenários A2 e B2 em estudos anteriores estão nas trajetórias de transformação das atividades industriais. Assim, o cenário A2 apresenta o crescimento das indústrias energo-intensivas, enquanto no B2 destacam-se as menos consumidoras de energia, como a têxtil e a de alimentos e bebidas. Considerou-se que o cenário B2 como o mais adequado a servir de base para construção dos cenários socioeconômicos da presente pesquisa.

A construção da base de um cenário prospectivo passa por várias fases, entre elas: a delimitação do sistema estudado (resíduos sólidos), o diagnóstico da situação atual (nível de atividade econômica) e o exame de sua evolução passada. A partir da construção desta base, inicia-se a parte prospectiva propriamente dita, subdividida nas seguintes fases: um cenário tendencial de emissões de GEE (cenário A) e de cenários contrastados, com a implementação de políticas pré-concebidas ou em andamento (cenário B) e com medidas adicionais ainda não implementadas e mais otimistas (cenário C), e a descrição do que poderá ocorrer nos períodos que compõem o horizonte pesquisado.

A Figura 11 representa a quantificação das emissões de GEE que podem ser estimadas e respectivas reduções que podem ser obtidas com a adoção dos cenários alternativos, quando comparados ao cenário de linha de base.

¹⁰ O Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas é um centro de pesquisa para gerar e disseminar conhecimento na área ambiental e de mudanças climáticas. Foi criado por iniciativa do Ministério do Meio Ambiente e do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, para os principais agentes da sociedade.

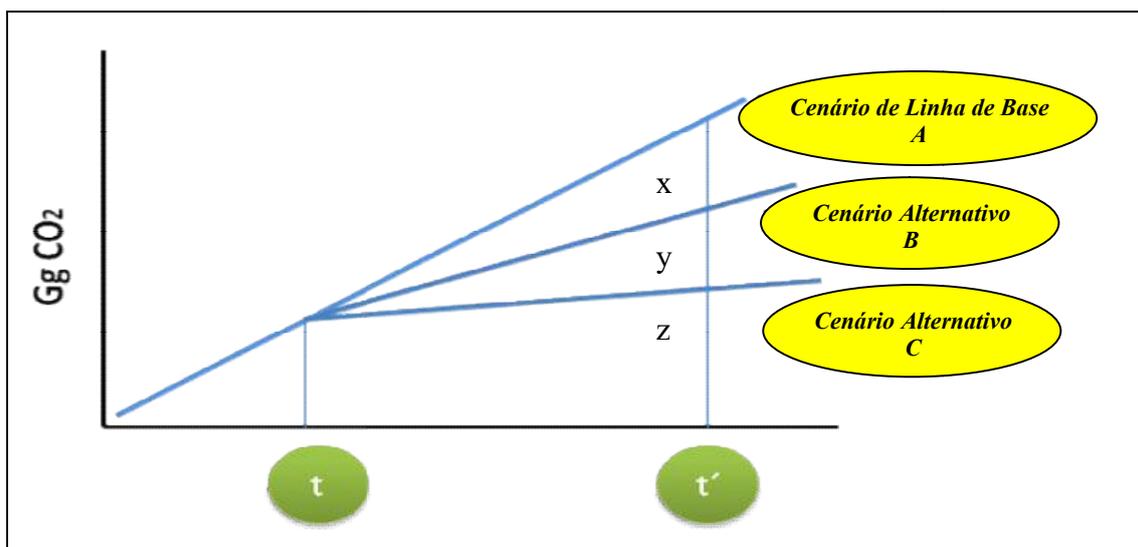


Figura 11 - Esquema para estimativa de reduções das emissões alcançáveis por diferentes cenários

onde:

t = emissões inventariadas no ano t (presente);

t' = qualquer tempo futuro (no caso, 2050);

emissões totais do cenário da linha de base (A) no tempo t' = $X + Y + Z$;

emissões totais do tempo t a t' com o cenário alternativo (B) = $Y + Z$;

emissões totais do tempo t a t' com o cenário alternativo (C) = Z ;

redução total de emissões alcançadas no tempo t' com o cenário alternativo B = X ;

redução total de emissões alcançadas no tempo t' com o cenário alternativo C = $X + Y$.

O conjunto de cenários será, portanto, construído a partir de um cenário de linha de base, denominado cenário A, e de mais dois cenários alternativos, denominados cenários B e C, definidos da seguinte forma:

- Cenário A (ou tendencial ou linha de base) – compreenderá as emissões que poderão ocorrer na ausência de políticas e projetos públicos que contribuam para a mitigação do problema climático, a partir de 2018. A construção do cenário tendencial se justifica pela dificuldade de se remunerar a geração de eletricidade produzida à partir do lixo pelo preço praticado no mercado.
- Cenário B – compreenderá as emissões que poderão ocorrer com a implantação total ou parcial de políticas e projetos públicos que já fazem parte do planejamento e das iniciativas dos governos.
- Cenário C – compreenderá as emissões que poderão ocorrer com a implantação plena das políticas e projetos públicos apontados pelos governos como viáveis e

desejáveis, sendo essas ações mais ousadas que aquelas estabelecidas no cenário B, além da ampliação da intensidade de algumas ações do cenário B.

Para cada área geográfica da pesquisa foram desenvolvidos os cenários socioeconômicos a partir das premissas de crescimento socioeconômico. Assim, para o desenvolvimento quantitativo dos cenários futuros, foram estabelecidos os seguintes parâmetros:

- População: será observada a evolução da população e as respectivas projeções;
- Produto interno bruto (PIB): a taxa de crescimento do PIB será definida para cada área geográfica estudada;
- Renda per capita: a partir das taxas de crescimento populacional e do PIB, foram calculadas as taxas de crescimento do PIB per capita.

As projeções de PIB e de população e de progresso técnico autônomo, obtidos da literatura especializada, se constituirão nos parâmetros de desenvolvimento (cenário socioeconômico) e permitirão a construção dos cenários de emissões que correspondem aos níveis de atividade do cenário socioeconômico sob as hipóteses de ausência das políticas públicas (cenário A, tendencial), com as políticas públicas (cenário B) e com medidas adicionais (cenário C).

Na construção dos cenários, pode-se notar que as emissões tendem a diminuir nos anos de pequena evolução do PIB, ao passo que aumentam quando a economia volta a crescer, no entanto, considerando uma tendência média de crescimento, o resultado em longo prazo das emissões é praticamente inalterado (ROVERE *et al*, 2008).

Foram utilizados os dados de produção per capita de resíduos, composição gravimétrica, as massas de resíduos destinados a cada tipo de tratamento, o incremento de coleta e reciclagem, que variam conforme as seguintes premissas:

- a produção de lixo dependerá de hábitos culturais, de consumo, do poder aquisitivo, do clima, do nível educacional e das características de sexo e idade dos grupos populacionais, fato que ocorre no mundo todo (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2019; ROVERE *et al*, 2015b);
- a quantidade per capita de lixo produzido por determinada família será diretamente proporcional à sua renda até certo ponto de saturação;

- a situação econômica impacta diretamente na geração de resíduos, pois em períodos de recessão, a quantidade de resíduos coletados diminuirá devido à diminuição do consumo.
- os resíduos terão diferentes frações orgânicas ao longo do período dos cenários, que deverão variar em consequência das diferenças econômicas regionais brasileiras. Isto porque há uma tendência mundial de diminuição deste percentual em decorrência do aumento nas vendas dos alimentos industrializados, quando há aumento de renda. Considerando que as classes sociais mais altas possuem um maior poder de compra, haverá um maior descarte de resíduos, acarretando mais desperdícios e maior geração de plásticos, papéis e vidros na massa de lixo, ou seja, maior potencial reciclável. Nas classes menos favorecidas ocorrerá o oposto, predominando restos alimentares e orgânicos;
- com a evolução das embalagens, os processos tecnológicos contribuíram de forma decisiva para a redução do peso específico do lixo urbano. A utilização praticamente irrestrita de embalagens plásticas em substituição às embalagens de vidro e metal contribuiu para tornar o lixo mais leve, requerendo, portanto, maiores volumes para seu manuseio e destinação final;
- Para as projeções da geração dos resíduos sólidos urbanos e composição gravimétrica, foram consideradas as mesmas velocidades ao longo do tempo proporcionais ao crescimento do produto interno bruto;

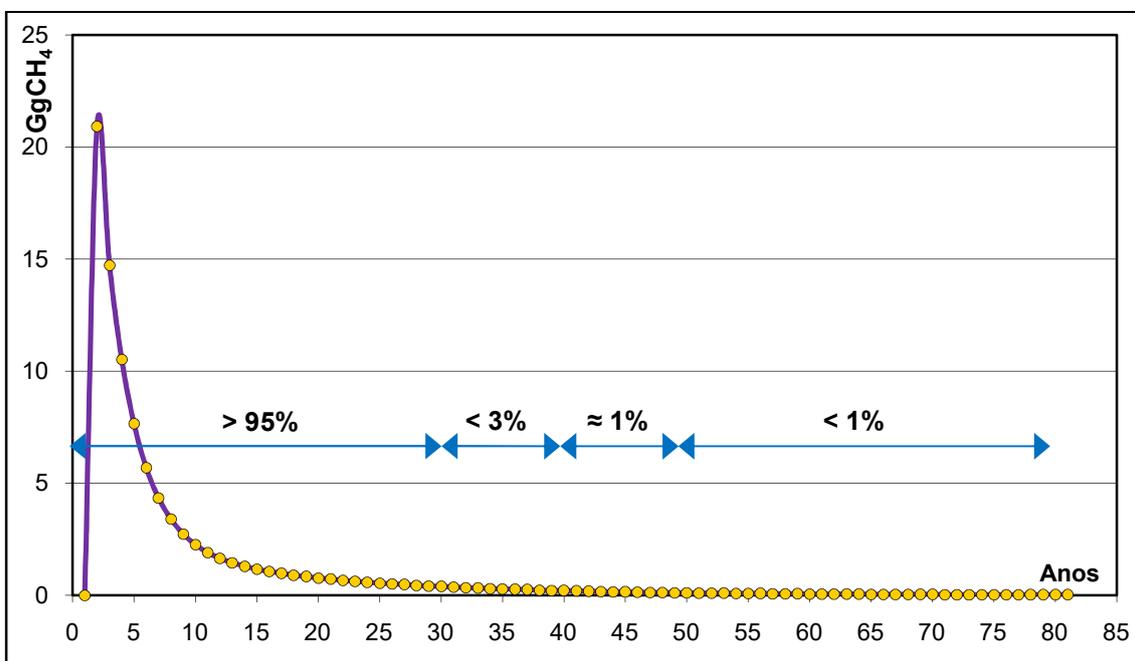
A partir da produção per capita e da composição gravimétrica, foram projetadas a produção de resíduos e a evolução de suas características em função das projeções de crescimento econômico e populacional do cenário socioeconômico e do índice de desenvolvimento humano – IDH, assim como sua destinação entre as diferentes formas de tratamento. Com essas tendências, poder-se-á calcular as emissões das diferentes formas de tratamento de resíduos (aterramento, biológico ou térmico).

Para a escolha das funções de produção de resíduos sólidos e de composições gravimétricas em termos do PIB, foram aplicados os conceitos do modelo neoclássico de crescimento econômico. Segundo Romer (1996), este modelo, também chamado de Modelo de Solow-Swan, preconiza a relação entre o PIB per capita e o capital físico. Considerando o progresso técnico como variável exógena, o modelo assume que haverá sempre um limite máximo ao crescimento, denominado “steady state”, onde o crescimento real do PIB é igual ao crescimento da população, ou seja, o PIB per capita se mantém constante. Já quando o modelo incorpora o progresso técnico

ao sistema, o PIB cresce conforme o crescimento populacional somado ao progresso técnico e o PIB per capita varia em função da taxa do progresso técnico.

No caso do tratamento por aterramento, para uso do método FOD, o Manual de Boas Práticas do IPCC (2006) recomenda o uso de dados de disposição de resíduos retroativos a pelo menos 50 anos, a fim de prover resultados aceitáveis. Isso se deve ao fato das meias-vidas de diferentes tipos de resíduos variarem de poucos anos a muitas décadas e o método requerer dados de depósitos de lixo coletados ou estimados historicamente por um período de tempo superior a 3 a 5 meias-vidas.

A partir da experiência do autor na área em trabalhos recentes (LOUREIRO, ROVERE, MAHLER, 2008, 2013; MAHLER *et al*, 2010; ROVERE *et al*, 2006a, 2007, 2008, 2011a, 2014, 2017a, 2017b, 2018) e mediante a realização de simulações de resultados com dados reais, a presente pesquisa pode assumir que ao considerar-se o período de 30 anos, o risco de se subestimar as emissões é praticamente nulo, tendo em vista que após 30 anos do lixo aterrado, o gás produzido pela massa de resíduos é residual e bem próximo à zero (Figura 12). Para tal, como a construção dos cenários se inicia em 2018, para se estimar as emissões a partir deste ano foram considerados dados desde 1988¹¹.



¹¹ A série histórica da Companhia Municipal de Limpeza Urbana da cidade do Rio de Janeiro possui dados desde 1981. Para o Estado do RJ e cidade do Rio de Janeiro, foi feito o mesmo cálculo com base nos dados históricos de população, PIB e IDH, baseados nas informações oficiais dos órgãos de estatística do Estado do Rio de Janeiro e da cidade do Rio de Janeiro, respectivamente. Para o Brasil, foram adotadas as informações do IBGE citadas.

Figura 12 - Evolução das emissões de metano por aterramento de resíduos

Considera-se que as emissões em determinado ano X sejam dadas pela soma das contribuições das emissões dos 80 anos anteriores neste ano X, ou que determinada massa de resíduos depositada no ano X irá produzir biogás ao longo dos 80 anos seguintes, onde a soma das emissões corresponde à integral da curva acima. Portanto, considerando que as emissões em determinado ano X passariam a ser dadas pela soma das contribuições no ano X das emissões dos 30 anos anteriores ao ano X, pode-se ilustrar esta afirmação com a seguinte fórmula:

$$E_x = \sum_n^x E_{x-n} = E_{x-30}^x + E_{x-29}^x + E_{x-28}^x + \dots + E_{x-3}^x + E_{x-2}^x + E_{x-1}^x$$

onde:

E_x é o total de emissões no ano X; e

E_{x-n} é a contribuição da emissão do ano X-N no ano X.

Com os resultados encontrados a partir do uso deste modelo, foram construídos os gráficos de intensidades de emissões, em relação ao PIB e à população, de forma possibilitar uma maneira de se comparar as evoluções dos cenários construídos entre as áreas geográficas, uma vez que estão em escalas distintas. Esse método também permite se comparar os resultados com outras cidades e países.

A partir das explicações acima, pode-se passar à apresentação do modelo de cálculo utilizado no presente estudo, para cada forma de tratamento de resíduo sólido, para os custos de abatimento das medidas de mitigação e para as receitas derivadas dos potenciais benefícios. As fórmulas para modelagem são apresentadas no Apêndice A.

4.3.2 Receitas das medidas de mitigação das emissões de carbono

Com relação ao potencial de aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica, considerando que a eficiência termodinâmica de uma planta de geração de eletricidade varia de 30% a 50% (ROVERE *et al*, 2006b), adotou-se 30% em prol do cenário mais conservador. Sabendo-se que o poder calorífico inferior do gás natural é de 9.256 kcal/m³ e que este gás é composto em 94% de metano, cuja densidade é 0,716 kg/m³, e que 1 kWh corresponde a 861,2 kcal, em termos físicos, foi possível calcular o potencial de geração de eletricidade (GE) pelo metano recuperado (MR), em kWh/ano, de 2020 a 2050, através da (Equação 1):

$$GE = MR (10^3.tCH_4/ano) \times 9.256 (kcal/m^3) \times 0,30 / [0,716 (kg/m^3) \times 861,2 (kcal/kWh)]$$

(Equação 1)

A partir de referências na literatura e informações de mercado, foram calculadas as potenciais receitas com a venda de energia e dos créditos de carbono associados a essas reduções. De acordo com a Portaria nº 65/2018 (MME, 2018), foram estabelecidos os valores de referência específicos (VRES) para geração de energia elétrica de R\$561/MWh à partir do tratamento térmico ou biológico de resíduos e de R\$390/MWh à partir do biogás de aterros.

No estudo de Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético de Resíduos Urbanos da EPE (2014a) que considerou um arranjo tecnológico com construção de biodigestores no lugar do biogás de aterro, os valores elevados das tarifas de equilíbrio levaram à necessidade de se propor um VRES para essa fonte. Na sequência, o estudo (EPE, 2018c) considerou a produção de biometano para injeção na rede de gás e os resultados mostraram que, de modo geral, projetos de grande escala apresentam competitividade em relação ao gás natural, com tarifas de equilíbrio entre R\$1,04/m³ e R\$1,11/m³, cujos preços à época praticados pela Petrobras variavam de 0,91 R\$/m³ até 1,12 R\$/m³. Para o presente estudo foi adotado o valor de R\$1,15/m³.

Considerando ainda biodigestores, de acordo com o estudo do Inventário Energético de RSU da EPE (2014b), a produção específica de energia por tonelada de RSU é de 109 kWh/t, sem considerar a energia conservada com os recicláveis segregados, mas somente a matéria orgânica sendo biodigerida, com uma eficiência de conversão elétrica de 33% e poder calorífico do metano de 36 MJ/m³,

Segundo (Oliveira *et al*, 2010; Carvalho *et al*, 2012), a coleta seletiva e a comercialização dos recicláveis poderiam promover ganhos na ordem de R\$ 500 por tonelada, além da redução na destinação final e a conservação de energia em torno de R\$ 300 por tonelada de reciclável, sem contar os créditos de carbono das emissões evitadas pela economia associada ao uso de combustíveis fósseis nesse processo. Somando-se essas parcelas, chegar-se-ia em ganhos de um valor próximo a R\$ 1.000 por tonelada de resíduo reutilizado ou reciclado, que corresponde a R\$ 1.450 por tonelada em valores de junho de 2019.

O estudo das Implicações Econômicas e Sociais para o Brasil – IES-Brasil 2050 (ROVERE *et al*, 2017a) utilizou para reciclagem o valor de conservação de energia de R\$ 112 /MWh e uma receita de venda média ponderada de R\$ 670 por tonelada de reciclável (papel, plástico, vidro, metal), que em valores atuais chegam a R\$ 131 /MWh

e R\$ 806 por tonelada, respectivamente. O estudo prevê ainda uma taxa de emissão evitada na reciclagem variando de 0,247 tCO₂e/ano em 2019 a 0,251 tCO₂e/ano em 2031.

De acordo com o estudo de Opções de Mitigação de Emissões de GEE em Setores-chave do Brasil (MCTIC, 2017), o tratamento térmico de resíduos para geração de energia elétrica é semelhante ao de usinas térmicas convencionais, cuja capacidade de geração, que depende diretamente do poder calorífico do material incinerado, pode variar de 350 kWh/t a 600 kWh/t de RSU.

Considerando que a incineração de resíduos, para geração de eletricidade, requer uma massa de lixo com PCI acima de 2.000 kcal/kg (MARTIN, 2008, *apud* EPE, 2014b), com uma eficiência de conversão elétrica de 20%, a produção específica é de 398 kWh/t de RSU, dentro do intervalo previsto no parágrafo anterior. Para simplificar, neste estudo foi adotado o valor de 400 kWh/t.

4.3.3 Custos de abatimento das emissões de carbono

Para o cálculo dos custos de abatimento das medidas de mitigação das emissões dos GEE foram consideradas as seguintes formas de tratamento do lixo:

- aterramento sem queima do biogás;
- aterramento com sistemas de captura e destruição de metano em flares;
- aterramento com sistemas de captura e aproveitamento de metano para geração de energia elétrica em usinas térmicas à gás;
- incineração com geração de energia elétrica (“waste-to-energy plant”);
- usina de biodigestão anaeróbia acelerada;
- compostagem anaeróbia; e
- reciclagem.

Foi utilizada uma taxa de desconto social de 8% para o período e todos os custos calculados a valores de 2019, sendo adotado para tal a variação do índice nacional de preços ao consumidor amplo – IPCA, com a taxa de câmbio do dólar em junho de 2019 de R\$ 3,8228 para cada US\$ 1,00.

De acordo com Gouvello *et al* (2010), o custo anual para implantação de um aterro sanitário sem queima de metano no Brasil sairia de R\$ 30,00 per capita (chegando a R\$ 50 em 2019, corrigido pelo IPCA), e do mesmo aterro sanitário com instalações para coleta e captura de biogás para queima do metano em flares de R\$ 56,00 per capita (chegando a R\$ 93 em 2019, corrigido pelo IPCA), considerando

idades com população acima de 300 mil habitantes e uma expectativa de vida útil de pelo menos 20 anos desses equipamentos.

O estudo IES-Brasil 2050 (ROVERE *et al*, 2017a) utilizou para aproveitamento de biogás de aterros os seguintes custos de investimento, em valores de 2015: USD 985 por kW (investimento), USD 7 por kW (operação e manutenção) e USD 37 por MWh (índice de custo-benefício). Para digestão anaeróbia foram usados os seguintes custos: USD 985 por kW (investimento), USD 48 por kW (combustível) e USD 57 por kW (operação e manutenção). E para incineração os seguintes: USD 2.620 por kW (investimento), USD 20 por kW (combustível) e USD 19 por kW (operação e manutenção).

O mesmo estudo usou custos anualizados de R\$ 50 por tonelada de resíduo tratado em aterros sanitários, R\$ 224 em usinas térmicas, R\$ 48 para biodigestão anaeróbia, R\$ 190 para coleta seletiva e R\$ 2,7 para central de reciclagem, em valores de 2015. Trazendo a valores atuais, esses custos ficam em R\$ 60, R\$ 263, R\$ 56, R\$ 223 e R\$ 3,2, respectivamente.

E segundo o estudo da EPE (2014a, *in* ROVERE *et al*, 2017a), para os custos de investimento nos sistemas de coleta e queima de metano em flares R\$ 127 por tonelada de resíduo tratado, com sistema de coleta e aproveitamento de metano para geração de energia elétrica o valor de R\$ 273 por tonelada de lixo tratado, com potencial de 561,6, kWh por tonelada de resíduo processado.

De acordo com o estudo de Opções de Mitigação de Emissões de GEE em Setores-chave do Brasil (MCTIC, 2017), os custos para aproveitamento do metano em aterros pode variar de USD 2.300/kW, para uma microturbina de até 1 MW, a USD 5.500/kW, para uma turbina a gás de 3 MW ou mais.

Ainda de acordo com o estudo Opções de Mitigação (MCTIC, 2017), para o tratamento térmico dos RSU, o investimento varia de USD 65 milhões a USD 100 milhões para capacidade tratamento de 125 mil t/ano a 250 mil t/ano, respectivamente. Os custos de investimento são de USD 15 a USD 75 por tonelada processada de acordo com a escala, o que bate com o valor adotado neste estudo e pelo IES-Brasil 2050 (Rovere *et al*, 2017a).

Uma unidade de biodigestão do tipo Dranco tem investimento da ordem de USD 20 milhões, para produção de 190 m³/h de biometano ou para geração de 1 MW, ou 20.000 USD/kW, com um custo anual O&M de 10% do investimento (MCTIC, 2017).

Segundo o PERS (SEA-RJ, 2013), o valor do Gate Fee para viabilizar a implementação de usinas de biodigestão foi avaliado em R\$84 por tonelada de resíduo, que corresponde a valor presente de R\$115 por tonelada.

Segundo Pires (2011), a implantação e operação de um sistema de compostagem acelerada para RSU com capacidade para processar 30 toneladas diárias teria um custo anual de R\$ 165,3 mil, que resulta num custo unitário de R\$ 15,10. Em valores atuais, portanto R\$ 23,30 /t.ano. A receita oriunda de composto orgânico foi estimada em R\$ 125 /t, que corresponde a R\$ 192 /t em valores atuais.

Considerando um esforço econômico de internalização de preço de carbono na economia da ordem de US\$ 10/tCO₂e. os custos totais das medidas de mitigação até 2030 seriam de USD 234,6 milhões para queima de metano em flares, USD 234,6 milhões para aproveitamento de biogás para produção de biometano, USD 399 milhões para aproveitamento de biogás para geração de eletricidade, USD 188,6 milhões na biodigestão para produção de biometano e USD 70,4 milhões na biodigestão para geração de eletricidade (MCTIC, 2017)

4.3.4 Receitas das reduções certificadas de emissões de carbono

A partir das estimativas dos potenciais de redução das emissões e respectivas emissões evitadas, incluindo não somente a destruição do metano em si, mas também da captação e aproveitamento energético, e de informações do valor da commodity carbono no mercado internacional, são calculados os potenciais de receitas a partir desses créditos.

Há, contudo, diferenças entre o metano utilizado para geração de eletricidade e para fins industriais ou veiculares, pois o mesmo montante de metano utilizado para fins diferentes evita quantidades diferentes de emissões de gases do efeito estufa. Se o metano for utilizado exclusivamente para substituição ao gás natural, a emissão evitada será da combustão do gás natural, cujo cálculo será realizado com base na estequiometria da reação de combustão do metano, ou seja, pelo total de gás substituído multiplicado por 44 e dividido por 16.

Quando o metano for utilizado para produção de energia elétrica, ele estará substituindo um conjunto de fontes de energia utilizadas, como água nas hidrelétricas, urânio nas usinas nucleares, bagaço nas usinas do setor sucroalcooleiro, vento nas eólicas e combustíveis fósseis. Para estimar a substituição de combustíveis fósseis, será necessário utilizar nos cálculos a participação efetiva destas fontes na geração

elétrica, chamada fator de emissão, que em 2017 foi de 104,4 tCO₂e/GWh, segundo o Balanço Energético Nacional de 2018 (MME, 2018). A Tabela 10 – *Custos unitários e benefícios por medidas de mitigação e tratamento de RSU* apresenta os custos e ganhos por cada medida de mitigação adotada neste estudo.

Tabela 10 – Custos unitários e benefícios por medidas de mitigação e tratamento de RSU

Mitigação / Tratamento	Custos		Eletricidade		Biometano		Plus (R\$/t)
	(R\$/t)	(R\$/hab.ano)	(kWh/t)	(R\$/MWh)	m ³ /h	(R\$/m ³)	
Aterro sem queima	60,00	50,00					
Aterro com queima	127,00	93,00					
Aterro com energia	273,00		561,6	390,00		1,15	
Incineração “waste-to-energy”	263,00		400,0	561,00			
Biodigestão anaeróbia	56,00		109,0	561,00	190,0	1,15	115,00
Compostagem aeróbia	23,30					1,15	192,00
Reciclagem	226,20			131,00			806,00

Fonte: Gouvello *et al* (2010), SEA-RJ (2013), Rovere *et al* (2017a) MME (2018); EPE (2018c),

Portanto, somando-se as possibilidades de ganhos com as receitas de emissões reduzidas pela destruição de metano e evitadas pelo aproveitamento energético, para cada medida de mitigação, e descontando-se os investimentos direcionados aos respectivos potenciais, é possível determinar os respectivos balanços.

4.4 Limitações do estudo

As receitas com a venda de eletricidade podem depender da quantidade de eletricidade multiplicadas por uma tarifa elétrica máxima (VRES), mas que pode variar em função da escala, visto que a legislação possibilita a participação em leilões, chamadas públicas ou compensações, que não foi considerado no presente estudo, assim como os custos com a produção da eletricidade, que giram em torno de R\$ 200 por MWh, fora o combustível.

Também não entraram nos cálculos dos custos de abatimento as emissões do consumo de energia pela coleta e transporte dos resíduos e centrais de tratamento.

Para as receitas da comercialização dos créditos de carbono, não foram descontadas as taxas administrativas de certificação e venda dos certificados no mercado, ainda que se possa dizer que esses custos administrativos sejam irrelevantes quando comparados aos valores totais de venda.

Em relação à variável de mercado não foram consideradas a política e elasticidade de preço e market share, pois estas informações não foram objeto da presente pesquisa.

Considerando que, somente a partir de uma produção mínima de resíduos, equivalente a uma cidade com cerca de 300 mil habitantes, considerar-se-á viável a implantação de sistemas de coleta e aproveitamento energético do lixo para geração de eletricidade, o presente estudo não se aplica a pequenos aglomerados urbanos ou consorciados com população menor que a mínima ou ainda em zonas rurais.

4.5 Potenciais de Aquecimento Global (GWP e GTP)

O Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential - GWP) é definido como a força radiativa, integrada no tempo, de um pulso de emissão de um determinado componente, relativo a um pulso de emissão de uma massa igual de CO₂, ou, é um índice da energia total adicionada ao sistema climático por um componente em relação àquele adicionado pelo CO₂. O GWP se tornou a métrica padrão para transferir emissões de diferentes gases para uma escala comum, denominada "emissões equivalentes de CO₂", para 20, 100 ou 500 anos.

O Potencial de Mudança de Temperatura Global (Global Temperature change Potential – GTP) é definido como a mudança na temperatura média global da superfície em um ponto escolhido no tempo em resposta a um pulso de emissão relativo ao de CO₂. Enquanto o GWP é integrado no tempo, o GTP é uma métrica de “fim de linha” que é baseada na mudança de temperatura para um ano selecionado, em que o impacto do CO₂ é usado como referência, ou determinada pela proximidade de um ano alvo calculado usando cenários e modelos climáticos (SHINE *et al.*, 2007, *apud* IPCC, 2013).

Contabilizando a sensibilidade climática e a troca de calor entre a atmosfera e o oceano, o GTP inclui processos físicos que o GWP não possui. O GTP responde pela resposta lenta do oceano (profundo), prolongando assim a resposta às emissões além do que é controlado pelo tempo de decaimento da concentração atmosférica. Assim, o GTP inclui tanto a escala de tempo de ajuste atmosférico do componente considerado quanto a escala de tempo de resposta do sistema climático (IPCC, 2013).

De acordo com o IPCC (2013), além do progresso na compreensão do GWP, novos conceitos foram introduzidos ou mais explorados desde o AR4. As métricas de variante de tempo apresentam visões mais dinâmicas das contribuições temporais que explicam a proximidade de um destino, ao contrário do GWP estático tradicional. À medida que as métricas usam parâmetros mais abaixo na cadeia de efeito de causa,

as métricas se tornam, em geral, mais relevantes para a política, mas ao mesmo tempo aumentam as incertezas.

Em relação ao AR4, o GWP do CH₄ mudou devido a uma pequena alteração na eficiência radiativa devido a um aumento na concentração de fundo e mudanças nas estimativas de efeitos indiretos que, com as mudanças no GWP do CO₂, produzem efeito líquido no aumento dos valores de GWP de CH₄. Os GWPs para o N₂O são menores em comparação com AR4, pois foi adotada uma vida útil de perturbação mais longa no AR5, enquanto a eficiência radiativa é menor devido ao aumento da abundância de CH₄ e N₂O. As alterações mostradas na Tabela 11, representam tanto mudanças na compreensão científica quanto uma mudança na concentração de CO₂ na atmosfera (IPCC, 2013).

Tabela 11 – Evolução do GWP-100 para CH₄ e N₂O segundo IPCC (2000, 2007a, 2013)

GEE	2nd Assessment Report (SAR)	4th Assessment Report (AR4)	5th Assessment Report (AR5)
CH ₄	21	25	28
N ₂ O	310	298	265

Os valores de GWP mudaram de avaliações anteriores devido a novas estimativas de vida útil, funções de resposta ao impulso e eficiências radiativas, atualizados devido a um maior conhecimento e níveis de fundo alterados. Os mesmos fatores contribuem para as incertezas no GWP e no GTP, com uma contribuição adicional dos parâmetros que descrevem a absorção de calor do oceano e a sensibilidade climática. Reisinger *et al.* (2011, *apud* IPCC, 2013) estimaram a incerteza para o CH₄ e encontraram uma variação de -30% a +40% para o GWP100 e -50% a +75% para o GTP100 (para 5% a 95% do intervalo). Boucher (2012, *apud* IPCC, 2013) realizou uma análise de Monte Carlo com incertezas na vida útil das perturbações e eficiência radiativa e para o CH₄, assumindo uma atmosfera de fundo constante, encontrou ±20% e de -40% a +65% para GTP100 (para 5% a 95% faixa de incerteza).

Devido ao CO₂ ser usado como referência, a incerteza é dominada pelo AGWP para CO₂ e efeitos indiretos e quaisquer alterações para este gás afetam todos os valores da métrica. O efeito líquido da mudança na eficiência radiativa é um aumento de aproximadamente 1% e 6% do AR4 para o AR5 no GWP do CO₂ para 20 e 100 anos, respectivamente. Estes aumentos no GWP do gás de referência levam a decréscimos correspondentes nos GWPs para todos os gases não-CO₂. Novos

aumentos nos níveis atmosféricos de CO₂ levarão a novas mudanças nos GWPs e GTPs no futuro (IPCC, 2013).

Para gases com vida útil de um século ou mais, as incertezas são da ordem de $\pm 20\%$ e $\pm 30\%$ para horizontes de 20 e 100 anos. A incerteza em GWPs para gases com vida útil de algumas décadas é estimada na ordem de $\pm 25\%$ e $\pm 35\%$ para 20 e 100 anos. Para gases de vida mais curta, as incertezas nos GWPs são maiores. Para o GTP, poucas estimativas de incerteza estão disponíveis na literatura, mas a incerteza do GTP100 do CH₄ foi avaliada da ordem de $\pm 75\%$ (IPCC, 2013, in JOOS *et al.*, 2013; REISINGER *et al.*, 2010; BOUCHER, 2012). Quando os feedbacks de carbono climático são incluídos, os valores métricos aumentam em relação à metodologia usada no AR4. A Tabela 12 mostra as variações nos potenciais, considerando as incertezas e os feedbacks de carbono no clima.

Tabela 12 - GWP e GTP por feedbacks de carbono climático para CH₄ e N₂O (IPCC, 2013)

GEE	Vida Útil (anos)	feedback carbono-climático	GWP20	GWP100	GTP20	GTP100
CH ₄	12,4	sem	84	28	67	4
		com	86	34	70	11
N ₂ O	121,0	sem	264	265	277	234
		com	268	298	284	297

No GWP a influência das emissões sobre a força radiativa e, portanto, implicitamente sobre os custos para a sociedade além do horizonte de tempo não é levada em conta e existem diferenças numéricas substanciais entre os valores de GWP e GTP (Marten e Newbold, 2012, *apud* IPCC, 2013). No caso do GTP, a influência das emissões na mudança de temperatura e custos é incluída apenas no momento em que a meta é atingida, mas não antes nem depois.

A escolha do tipo de métrica e do horizonte de tempo pode ter um efeito muito maior do que as estimativas dos parâmetros de entrada e pode ter fortes efeitos sobre os impactos percebidos das estratégias de redução de emissões. A escolha do horizonte de tempo tem um forte efeito nos valores de GWP e, portanto, também nas contribuições calculadas de emissões equivalentes de CO₂ por componente, setor ou nação. Não há argumento científico para a seleção de 100 anos em comparação com as outras opções (Fuglestvedt *et al.*, 2003; Shine, 2009 *apud* IPCC, 2013), porém por ter sido adotado como a métrica para implementar a abordagem multigás incorporada na Convenção do Clima e operacionalizada no Protocolo de Kyoto, foi também utilizado no presente estudo.

A escolha de horizonte de tempo no caso de GWP e GTP é baseada em valor. Enquanto o GWP integra os efeitos até um horizonte de tempo escolhido, o GTP fornece a temperatura apenas para um ano escolhido, sem peso nos anos anteriores ou posteriores. A métrica mais apropriada dependerá da aplicação específica e de qual aspecto da mudança climática será considerado relevante em um determinado contexto. É importante salientar que todas as escolhas métricas, mesmo as métricas "tradicionais" ou "amplamente usadas", contém julgamentos implícitos de valor, bem como grandes incertezas (IPCC, 2013).

Os próximos dois capítulos vêm aplicar a metodologia da presente pesquisa, sendo o primeiro focado na construção dos cenários futuros de emissões dos GEE e o segundo nas análises dos resultados do primeiro, juntamente com informações adicionais levantadas na etapa de coleta de dados.

Capítulo V

CENÁRIOS FUTUROS DE EMISSÕES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

5.1 Sistema de comunicação adotado

. Na presente pesquisa foram empregados os dois métodos de comunicação¹², tanto por canais informais como formais. Para a definição do problema, a formulação da hipótese, determinação dos objetivos e revisão bibliográfica foram utilizados mais os canais formais de comunicação. Já para a coleta de dados, além de canais formais, lançou-se mão ainda de canais informais, ainda que em menor volume.

A principal fonte de informações quanto à quantidade de lixo produzida no Brasil foi a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008, publicada pelo IBGE (2010) e as seguintes Pesquisas Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD e do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2019), que reúnem os resultados das pesquisas sobre a oferta e a qualidade dos serviços de saneamento básico no País, com base em levantamento realizado junto às prefeituras municipais e empresas contratadas para a prestação de serviço de limpeza urbana e coleta de lixo.

Foram também utilizados dados do Banco de Dados de Cidades e Estados do IBGE, a respeito da população, produto interno bruto, atividades econômicas, finanças e índice de desenvolvimento humano e da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018), nas suas publicações mais recentes sobre o panorama do setor de resíduos sólidos urbanos.

Para a construção dos cenários do Estado do Rio de Janeiro, as principais fontes de informação pesquisadas foram o 1º e 2º Inventários de Emissões dos GEE do Estado do Rio de Janeiro, anos base 2005 (ROVERE *et al*, 2007) e 2015 (ROVERE *et al*, 2017b), os resultados das últimas pesquisas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, que reuniu os resultados sobre a oferta e a qualidade dos serviços de limpeza urbana e coleta de lixo junto às prefeituras municipais e empresas terceirizadas.

¹² Segundo Silva e Menezes (2001), o sistema de comunicação na ciência é formado por dois tipos de canais de comunicação: o canal informal de comunicação, que representa a parte do processo invisível ao público e está caracterizado por contatos pessoais, conversas telefônicas, correspondências, cartas e assemelhados, e o canal formal, que é a parte visível do sistema de comunicação científica e está representado pela informação publicada em artigos de periódicos, livros, comunicações de congressos, feiras, e outros eventos científicos.

Para a projeção da população do Estado do Rio de Janeiro, utilizaram-se os dados da Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro e as variações fornecidas pelo estudo da Matriz Energética do Estado do Rio de Janeiro 2008-2020 (SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, 2008), realizado pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro. Para o cálculo da taxa de crescimento do PIB estadual, utilizaram-se os valores fornecidos pelo IBGE (2018c).

Para a produção de resíduos sólidos e composição gravimétrica foi consultada a base de dados da série histórica da Comlurb (2011) e o 1º e 2º Inventários de Emissões Antrópicas de GEE do Estado do Rio de Janeiro de 2005 (ROVERE *et al*, 2007) e 2012 (ROVERE *et al*, 2017b).

As estimativas de crescimento sócio econômico e do índice de desenvolvimento humano – IDH, foram retiradas a partir do Relatório Emprego, Desenvolvimento Humano e Trabalho Decente - A Experiência Brasileira Recente, do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, PNUD (2008, 2010) e do IBGE (2019b).

Para a construção dos cenários futuros da Cidade do Rio de Janeiro, foram utilizadas as últimas informações disponíveis da série histórica de dados (COMLURB, 2011), como a caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município do Rio de Janeiro, produção per capita, formas de tratamento, coleta seletiva, aproveitamento de biogás (ROVERE *et al*, 2015a). Complementarmente, foram utilizadas as informações mais recentes das pesquisas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019) e a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, PNAD (IBGE, 2019b) para o município.

Para o cálculo da projeção da população do município do Rio de Janeiro, utilizaram-se os dados dos estudos "Tendências Demográficas do Município do Rio de Janeiro" (CAMARANO *et al*, 2004), "Novas estimativas do IBGE para a população do Rio de Janeiro" (OLIVEIRA e CAVALLIERI, 2008), estudos demográficos realizados pelo Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos (IPP, 2008a, 2008b), da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro e as estimativas de população do IBGE (2018a, 2018b, 2019a).

Para o cálculo dos custos marginais abatimento das medidas de mitigação, foram pesquisados os estudos de "Baixo Carbono para o Brasil", elaborado pelo Banco Mundial (GOUVELLO *et al*, 2010), de "Cenários Nacionais 2010-2030", realizado do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUD (ROVERE

et al, 2011a), de “Opções de Mitigação” (MCTIC, 2017), das “Implicações Econômicas e Sociais” dos cenários de emissões no Brasil até 2030 e 2050 (ROVERE *et al*, 2016a; 2017a), notas técnicas da Empresa de Pesquisa Energética (2014a, 2014b, 2018c) e os valores de referência específicos da Portaria nº 65 (MME, 2018).

5.2 Cenários de emissões no Brasil

Para a construção dos cenários, os parâmetros considerados nas estimativas como características dos resíduos e composição gravimétrica, carbono orgânico degradável (DOC) contido nos resíduos, fração de carbono fossil, foram as médias adotadas na 3ª Comunicação Nacional (MCTIC, 2016), considerando a diversidade das diferentes regiões do país. Alguns valores padronizados foram obtidos do IPCC (2006), por exemplo, para o fator de oxidação (OX), foi adotado 10% para os aterros sanitários e 0 (zero) para os demais.

E para projetar a alocação do total coletado nas diferentes formas de tratamento, considerou-se que o MCF de 0,4 para aterros controlados e lixões e 1,0 para aterros sanitários. Os resíduos não coletados foram considerados “não categorizados”, com MCF de 0,6.

5.2.1 Cenário socioeconômico no Brasil

A projeção da população brasileira foi obtida das estimativas de população residente no Brasil, Unidades da Federação e municípios (IBGE, 2019a) e das projeções do Plano Nacional de Energia 2030 - PNE (MME e EPE, 2007), com taxas de crescimento do PIB de 1,5% a.a. até 2020 e 2,5% a.a. de 2021 a 2030, 3,4% a.a. de 2031 a 2040 e 4,5% de 2041 a 2050, considerando a evolução do cenário macroeconômico “C” ao “B1”, passando pelo “B2”, nas próximas décadas, tendo em vista os atuais contextos político-econômicos brasileiro e mundial. Com base nessas informações e na geração per capita de resíduos, pôde-se estimar a produção futura de resíduos no Brasil..

5.2.2 Premissas adotadas para a construção dos cenários no Brasil

Para a construção dos cenários no Brasil, faz-se necessário estabelecer como premissa três substratos por porte de cidades. Nas cidades maiores, com população acima de 500 mil habitantes, e regiões metropolitanas, têm-se uma taxa de coleta de resíduos sólidos acima de 90% com os resíduos dispostos em aterros controlados e sanitários, maiores índices de coleta. Nas cidades de porte médio, com mais de 100

mil habitantes, e pequenas cidades a eficiência de coleta não é tão alta e menos lixo é disposto em aterros sanitários e mais em lixões (ROVERE *et al*, 2018).

• **Cenário A - Brasil:**

O cenário A foi definido pela continuação das tendências observadas no passado, ou seja, para projeção da distribuição dos resíduos nos tipos diferentes de tratamento, considerou-se que a taxa de crescimento continuaria a partir daquela observada em 2017, portanto sendo um cenário tendencial.

Neste cenário não foram consideradas medidas de mitigação adicionais às que já estão em andamento. Foram, portanto, estimados os níveis de atividade pelo prolongamento até 2050 das respectivas tendências de tratamento e disposição final dos resíduos de 2005 a 2017, apresentada na Tabela 13, cumprindo em parte a PNRS de modo reduzir a destinação inadequada dos resíduos, a partir das seguintes premissas:

- Estimativas de crescimento da população do IBGE (2018a; 2019a);
- Geração de resíduos em função do PIB per capita (IBGE, 2018b; 2018c);
- Coleta e disposição final com base na série histórica da Abrelpe (2018);
- Tratamento biológico com base nas PNSB 2000 e 2008 (IBGE, 2010);
- Reciclagem de papel com base nos dados da Bracelpa e Abrelpe (2018);
- Não há queima de metano em flares (3ª Comunicação Nacional - MCTIC, 2016);

Tabela 13 - Nível de atividade do tratamento de RSU no Brasil, no cenário A, de 2020 a 2050

Atividade	2020		2030		2040		2050		
	Mt	%	Mt	%	Mt	%	Mt	%	
Geração de RSU	85,0	100,0	99,7	100,0	111,4	100,0	132,4	100,0	
Coleta de RSU para aterramento	77,1	90,6	89,6	89,9	99,1	89,0	116,3	87,8	
Disposição final em	Lixões	11,4	14,8	11,6	13,0	11,9	12,0	13,1	11,2
	Aterros controlados	14,8	19,3	13,9	15,5	12,5	12,7	12,1	10,4
	Aterros sanitários	50,8	65,9	64,1	71,5	74,7	75,4	91,1	78,4
Não coletado (não categorizado)	1,4	1,6	1,1	1,1	1,0	0,9	1,0	0,8	
Compostagem aeróbia	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	
Reciclagem	6,3	7,5	8,7	8,8	11,2	10,1	15,0	11,4	

• **Cenário B - Brasil:**

Considerando que tanto no decreto que regulamentou a Política Nacional do Clima como nas reuniões da Convenção do Clima de Copenhague (COP-15) e Paris (COP-21) e no Decreto nº 7.404, que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos, não há objetivos ou metas definidas por meio dos quais se dará a universalização do acesso aos serviços de manejo de resíduos, no cenário B, foram

consideradas medidas de mitigação adicionalmente ao cenário tendencial a partir de 2018, aumentando-se o nível de coleta e tratamento e cumprindo em maior escala a PNRS, no sentido não apenas da redução da destinação inadequada dos resíduos, mas também das emissões.

Nesse sentido e a partir das metas sugeridas pelo FBMC (ver seção 2.1), de forma contribuir com o cumprimento da NDC brasileira, produzindo até 2030 um potencial de redução nas emissões no tratamento de resíduos, prolongado até 2050, foram adotadas as seguintes medidas de mitigação, cujos níveis de atividades são apresentados na Tabela 14:

- 1) Degradação de metano de aterro sanitário com flare (potencial de mitigação de até 20.8 MtCO₂e em 2030);
 - ampliação da coleta para aterramento de RSU atingindo 75% da disposição final em aterros sanitários já em 2030, mantendo a tendência de crescimento até 2050;
 - incremento anual de 10% na recuperação de metano para queima em flares nas capitais brasileiras, regiões metropolitanas e 5% nas cidades grandes (com mais de 500 mil habitantes), a partir de 2021 até alcançar 80%.
- 2) Ampliação da captação/uso do metano de lixões e aterros e da compostagem de resíduos orgânicos segregados na fonte (potencial de mitigação de até 8 MtCO₂e em 2030);
 - Geração de energia elétrica com o uso de biometano recuperado em aterros sanitários: incremento anual a partir de 2.8% em 2021 até 20.9% em 2030, mantendo a tendência de crescimento até 2050;
 - Substituição de GNV por biometano a partir de 2.5% do total gerado em 2025 até 3.5% em 2030, chegando a 5,0% em 2050 (conforme a demanda nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, prevista no Programa Brasileiro de Biocombustíveis).
 - Compostagem: aumento até chegar a 2% em 2030 mantendo a tendência de crescimento até 2050;
- 3) Aumento na reciclagem de papel e papelão até chegar a 12% em 2030, mantendo a tendência de crescimento até 2050;

Os números apresentados na Tabela 14 traduzem o conjunto de premissas adotadas para construção do cenário B no Brasil.

Tabela 14 - Nível de atividade do tratamento de RSU no Brasil, no cenário B, de 2020 a 2050

Atividade	2020		2030		2040		2050		
	Mt	%	Mt	%	Mt	%	Mt	%	
Geração de RSU	85,0	100,0	99,7	100,0	111,4	100,0	132,4	100,0	
Coleta de RSU para aterramento	76,9	90,4	86,9	87,2	93,3	83,7	106,2	80,2	
Disposição final em	Lixões	11,3	14,6	10,9	12,5	10,4	11,1	2,4	2,2
	Aterros controlados	16,2	21,1	10,9	12,5	3,7	3,9	0	0
	Aterros sanitários	49,4	64,2	65,2	75,0	79,3	85,0	103,8	97,8
Não coletado (não categorizado)	1,4	1,6	1,1	1,1	1,0	0,9	1,0	0,8	
Compostagem aeróbia	0,3	0,3	2,0	2,0	4,1	3,7	7,1	5,4	
Reciclagem	6,5	7,7	9,7	9,7	13,0	11,7	18,1	13,7	

- **Cenário C - Brasil:**

O cenário C considera a mesma projeção dos níveis de atividade do Cenário B, como atendimento à população com serviço de coleta e tratamento do lixo, disposição em aterros sanitários com captura, destruição e aproveitamento do metano gerado, porém com medidas de mitigação mais ambiciosas a partir de 2020, de modo promover o alcance da meta de não ultrapassar o aumento da temperatura média global de 1,5 °C.

Além das medidas de adequação no tratamento, adotadas com base nas metas das políticas de saneamento e da NDC brasileira, foram introduzidas em maior escala outras tecnologias de tratamento térmico e biológico utilizadas em países mais desenvolvidos, tomando como base de comparação o incremento do PIB per capita do Brasil. Para viabilizar essa comparação foram consideradas as duas maiores regiões metropolitanas do país, São Paulo e Rio de Janeiro.

Para tal, foram pesquisadas as vidas úteis dos atuais aterros licenciados em operação nessas regiões metropolitanas (BOB AMBIENTAL, 2017; ESSENCIS, 2017; CICLUS AMBIENTAL, 2017; CETESB, 2017; *apud* ROVERE *et al*, 2017a) e estimada a capacidade de aterramento futura para a crescente geração de resíduos. Foi considerado como início das demandas por novas tecnologias os instantes em que as capacidades de aterramento nessas metrópoles fossem esgotadas, considerando o encerramento definitivo dos aterros sanitários nessas capitais.

Adicionalmente ao aumento da capacidade de coleta e queima e biometano para produção de energia em aterros, previstos nas medidas de mitigação do cenário B,

foram adicionados os seguintes tratamentos, também com objetivo de produzir eletricidade e biometano para aproveitamento:

- Ampliar para 10% do lixo coletado em 2050 o tratamento da parte orgânica em usinas de biodigestão com aproveitamento de biometano¹³;
- Ampliar para 8% do lixo coletado em 2050 o tratamento por incineração em usinas térmicas para geração de eletricidade¹⁴;
- Ampliar em 20% a captura de metano para aproveitamento energético em aterros sanitários até 2050;
- Aumentar para 45% a captura e destruição de todo metano produzido nos aterros sanitários até 2050
- Ampliar a compostagem aeróbia nas pequenas cidades para 15% até 2050.

Os números apresentados na Tabela 15 traduzem o conjunto de premissas adotadas para construção do cenário C no Brasil.

Tabela 15 - Nível de atividade do tratamento de RSU no Brasil, no cenário C, de 2020 a 2050

Atividade	2020		2030		2040		2050		
	Mt	%	Mt	%	Mt	%	Mt	%	
Geração de RSU	85,0	100,0	99,7	100,0	111,4	100,0	132,4	100,0	
Coleta de RSU para aterramento	75,5	88,8	79,2	79,4	74,6	67,0	81,3	61,4	
Disposição final em	Lixões	11,1	14,6	9,9	12,5	8,3	11,1	1,8	2,2
	Aterros controlados	16,0	21,1	9,9	12,5	2,9	3,9	0	0
	Aterros sanitários	48,5	64,2	59,4	75,0	63,4	85,0	79,5	97,8
Não coletado (não categorizado)	1,4	1,6	0,1	0,1	0	0	0	0	
Compostagem aeróbia	1,6	1,9	3,5	3,5	6,0	5,3	9,1	6,9	
Reciclagem	6,5	7,7	9,7	9,7	13,4	11,7	17,7	13,7	
Usinas de biodigestão	0	0	4,5	4,5	10,0	9,0	13,2	10,0	
Usinas térmicas	0	0	2,7	2,7	7,8	7,0	10,6	8,0	

5.2.3 Projeção da produção de resíduos sólidos no Brasil

Para a estimativa da produção de RSU, foi feita uma regressão com base em uma série histórica que correlaciona PIB, população e geração de resíduos¹⁵. A partir da função obtida e das projeções de crescimento econômico e populacional do cenário socioeconômico e da geração per capita, foi estimada a produção futura de resíduos.

¹³ Essa penetração pode ser ainda maior, pois a competitividade do energético é imediata, tanto para combustível veicular quanto para geração elétrica (EPE, 2014a, 2014b).

¹⁴ O sucesso dessa ação requer tarifa de R\$ 561/MWh (VRES – MME, 2018), que tem sido criticado por distribuidoras que têm se negado a realizar chamada pública

¹⁵ Assumiu-se que os RSI classe II compõem a massa de RSU com o mesmo destino e composição gravimétrica. Em relação à incineração, foram destinadas 122,3 mil toneladas de resíduos de serviços de saúde em 2017, correspondente a 47,6% dos RSS coletados (ABRELPE, 2019).

Em 2017, a geração per capita média de RSU no Brasil foi de 1,093 kg/dia (ABRELPE, 2018), totalizando uma geração para aquele ano de 80,6 milhões de toneladas, dos quais 91% coletados. A Tabela 16 apresenta evolução histórica recente do nível de atividade do subsetor de resíduos sólidos desde o ano de 2005 até 2017.

Tabela 16 - Nível de atividade do tratamento de RSU no Brasil, de 2005 a 2017

Resíduos Sólidos		2005	2010	2015	2016	2017	
Geração de Resíduos	Mt/ano	63,3	71,2	79,9	78,3	80,6	
Não categorizado	Mt/ano	6,4	3,3	1,8	1,2	1,5	
	(%)	10,0%	5,0%	2,0%	1,0%	2,0%	
Reciclagem	Mt/ano	3,4	4,1	5,3	5,4	5,7	
	(%)	5,4%	5,7%	6,6%	7,0%	7,1%	
Compostagem aeróbia	Mt/ano	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	
	(%)	1,0%	0,6%	0,4%	0,4%	0,4%	
Coletado	Mt/ano	52,9	63,4	72,5	71,3	73,1	
	(%)	83,5%	89,0%	90,8%	91,1%	90,7%	
Disposição Final em	Lixão	Mt/ano	14,1	11,5	12,5	12,4	11,5
		(%)	26,7%	18,1%	17,2%	17,4%	15,7%
	Aterro Controlado	Mt/ano	14,4	15,4	17,5	17,3	15,2
		(%)	27,2%	24,3%	24,1%	24,2%	20,7%
	Aterro Sanitário	Mt/ano	24,4	36,5	42,6	41,7	46,5
		(%)	46,1%	57,6%	58,7%	61,3%	63,6%

Fonte: IBGE (2018a), MCTIC (2016), ABRELPE (2018), SNIS (2019).

5.2.4 Evolução dos cenários de emissões no Brasil

As emissões nos três cenários para o Brasil em 2005 e 2010 seguem os valores declarados nas Comunicações Nacionais (MCTIC, 2016), portanto 34,8 MtCO₂e e 37,3 MtCO₂e, respectivamente, atualizados para o GWP-100 do AR-5 (IPCC, 2013).

No cenário A, as emissões praticamente dobram de 2010 a 2020, quando atingem 64,8 MtCO₂e, chegando em 2050 a 110,5 MtCO₂e, considerando a tendência sem medida adicional de mitigação no período. A soma de todas as emissões no período de 2020 a 2050 no cenário A foi de 2,7 bilhões tCO₂e.

No Cenário B, as emissões começam a cair a partir de 2018, ainda que pouco, com a ampliação dos serviços de disposição em aterros considerados sanitários com sistemas de coleta para queima em flares e utilização do biogás, chegando a 64,5 MtCO₂e em 2020 e 75,6 em 2050, uma redução significativa de mais de 30% em 2050. A soma de todas as emissões no período de 2020 a 2050 no cenário B foi de 2,0 bilhões tCO₂e, uma redução acumulada de 28% nos 30 anos.

No cenário C, com o aumento da destruição de metano em flares, as emissões começam a cair, chegando a 53,4 MtCO₂e em 2020, mas voltam a subir até 2035, acompanhando as estimativas de crescimento socioeconômico. A partir de 2036, com a amplitude da recuperação do metano nos aterros sanitários do país em até 45%, meta alcançada em 2042, as emissões retomam a tendência de queda, chegando em 2050 a 57,4 MtCO₂e, uma redução adicional de 24% em relação ao cenário B. A soma de todas as emissões no período de 2020 a 2050 no cenário C foi de 1,8 bilhões tCO₂e, uma redução acumulada de 64% nos 30 anos em relação ao cenário tendencial. A evolução das emissões brasileiras nos três cenários é consolidada na Tabela 17.

Tabela 17 - Emissões do tratamento de RSU no Brasil, por cenário e tratamento final (MtCO₂e)

Cenário	Tratamento	2005	2010	2017	2020	2030	2040	2050
A	Aterro	34,8	37,3	59,1	64,6	81,1	95,9	110,2
	Biológico				0,05	0,04	0,03	0,02
	Térmico				0,2	0,3	0,3	0,3
	Total				64,8	81,4	96,2	110,5
B	Aterro	34,8	37,3	59,4	64,3	59,6	66,7	73,9
	Biológico				0,06	0,4	0,8	1,4
	Térmico				0,2	0,3	0,3	0,3
	Total				64,6	60,3	67,9	75,6
C	Aterro	34,8	37,3	59,4	52,9	55,8	52,0	48,7
	Biológico				0,3	0,7	1,3	2,0
	Térmico				0,2	1,9	5,0	6,8
	Total				53,4	58,5	58,4	57,4

5.3 Cenários de emissões no Estado do Rio de Janeiro

Para a construção dos cenários do Estado do Rio de Janeiro, considerando a diversidade das diferentes regiões do Estado, os parâmetros adotados nas estimativas, como características dos resíduos e composição gravimétrica, carbono orgânico degradável (DOC) contido nos resíduos, fração de carbono fóssil, foram obtidos a partir dos últimos inventários de emissões (ROVERE *et al*, 2017b) e estudos de cenários de emissões do Estado do Rio de Janeiro (LOUREIRO *et al*, 2013; ROVERE *et al*, 2011c).

Alguns valores padronizados foram obtidos do IPCC (2006), por exemplo, para o fator de oxidação (OX), foi adotado 10% para os aterros sanitários e 0 (zero) para os lixões, com variações entre as duas condições. Considerou-se a variação do MCF no

Estado do Rio de Janeiro em função da evolução das condições de tratamento. As tabelas completas desses fatores encontram-se no Apêndice B

5.3.1 Cenário socioeconômico do Estado do Rio de Janeiro

A projeção da população do Estado do Rio de Janeiro foi obtida das estimativas de população residente no Brasil, Unidades da Federação e municípios (IBGE, 2019a) e as estimativas de crescimento do PIB a partir dos dados da CEPERJ (2019). Segundo a SEA-RJ (2013), “não há perspectiva de alteração da trajetória demográfica tendencial dos municípios fluminenses e, portanto, não seria essa a razão principal que poderia ampliar as exigências de esforços na gestão dos RSU”.

De 2002 a 2010 a média anual de crescimento do PIB do Estado foi de 2,86%, porém de 2011 a 2017 essa taxa recuou para 0,04%, praticamente estável. Isso se deve à recessão dos últimos três anos, com média negativa de 2015 a 2017 de -2,41%. De acordo com as perspectivas do PERS (SEA-RJ, 2013), o desempenho esperado do crescimento econômico brasileiro repercute na economia do Estado como um todo. Na agricultura o cenário prospectivo é de declínio generalizado das áreas plantadas e, na indústria de transformação, a perspectiva de crescimento até 2020 é de apenas 1,2% a.a.

Na linha dos cenários socioeconômicos brasileiros e considerando o ritmo de crescimento estadual dos últimos anos, projetou-se para o Estado do Rio de Janeiro uma média de crescimento zero até 2020. De 2021 a 2025 foi utilizada a taxa de 1,12% a.a (média estadual dos últimos dez anos). A partir de 2026 até 2050, adotaram-se as estimativas de crescimento de PIB do estudo dos Cenários Econômicos para o PNE 2050 (EPE, 2018d), sendo até 2040 o cenário inferior e a partir de 2041 até 2050 o cenário superior, portanto, de 2025 a 2030 com taxa de crescimento anual de 1,3%, de 2031 a 2040 com taxa de 2,0% e de 2041 a 2050 com taxa de 3,0%. A consolidação do cenário socioeconômico do Estado do Rio de Janeiro pode ser consultada no Apêndice C.

5.3.2 Premissas adotadas para a construção dos cenários

Para a construção dos cenários no Estado do Rio de Janeiro, fez-se necessário compreender o histórico do tratamento de resíduos em seus 92 municípios, haja vista as diferentes evoluções na forma de disposição final, sobretudo na última década, com a implementação da PNRS e do Programa Lixão Zero. Com isso, em 2015, dos 92 municípios do Estado, apenas 23 encaminharam seus resíduos para lixões e os

demais 69 já para aterros sanitários, com eficiência média de coleta de RSU acima de 90% (ROVERE *et al*, 2017b). Os percentuais de disposição final de RSU no Estado do Rio de Janeiro são mostrados no Apêndice B.

- Cenário A:

O cenário considerou manter-se a tendência do tratamento e disposição final dos resíduos sólidos a partir de 2018 na ausência de medida de mitigação, com base no último inventário de 2015 e nos dados coletados em 2017, ou seja, as emissões dos GEE aumentariam de acordo com o crescimento da população, do aumento do consumo, devido ao crescimento do PIB, conseqüentemente, da produção de resíduos, mantendo-se os níveis de atividade conforme mostra a Tabela 18.

Tabela 18 - Nível de atividade no Estado do Rio de Janeiro, no cenário A, de 2020 a 2050

Atividade	2020		2030		2040		2050	
	Mt	%	Mt	%	Mt	%	Mt	%
Geração de RSU	8,7	100,0	9,6	100,0	10,3	100,0	11,0	100,0
Coleta de RSU para aterramento	7,3	84,1	8,2	85,8	9,0	87,3	9,7	88,6
Lixões	0	0	0	0	0	0	0	0
Disposição								
Aterros controlados	0	0	0	0	0	0	0	0
Final em								
Aterros sanitários	7,3	100,0	8,2	100,0	9,0	100,0	9,7	100,0
Destruição de metano	1,9	22,8	1,9	23,0	2,1	23,3	2,3	23,5
Não coletado (não categorizado)	0,8	9,0	0,8	8,0	0,7	7,0	0,7	6,0
Incineração	0,06	0,7	0,05	0,5	0,05	0,5	0,04	0,4
Compostagem aeróbia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reciclagem	0,06	0,8	0,07	0,7	0,07	0,7	0,07	0,6

- Cenário B:

No cenário B foram incorporadas medidas de mitigação a partir de 2018, associadas às políticas nacional e estadual de resíduos sólidos (BRASIL, 2010a; RIO DE JANEIRO - ESTADO, 2003), como por exemplo, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos – PERS (SEA-RJ, 2013), o Programa Lixão Zero e o Programa Estadual Pacto pelo Saneamento (RIO DE JANEIRO - ESTADO, 2011), dentre outras políticas estaduais já concebidas e com previsão de implantação no horizonte do estudo e com base em informações recentes da Secretaria Estadual do Ambiente (SEA-RJ) e do Instituto Estadual do Ambiente (INEA-RJ). Dentre as metas previstas pelo PERS destacam-se para o gerenciamento de RSU:

- ✓ eficiência de coleta de lixo deve alcançar 100% até 2030;
- ✓ disposição final de RSU em aterros sanitários licenciados, com encerramento dos aterros controlados e lixões, gradativamente até atingir 100% em 2014;

- ✓ aproveitamento energético de metano a partir de 2013 para 10% até 2014, 30% até 2018, 70% até 2024 e 100% até 2033, dos resíduos depositados em aterros sanitários e lixões recuperados (potencial energético de 660 kWe);
- ✓ abrangência da coleta seletiva crescendo a partir de 2013 para 10% até 2014, 20% até 2018, 50% até 2024 e 100% até 2033, dos resíduos secos coletados;
- ✓ triagem e beneficiamento dos recicláveis secos¹⁶ da coleta seletiva a partir de 2013 para 10% até 2014, 40% até 2018, 50% até 2024 e 60% até 2033;
- ✓ Aproveitamento energético de rejeitos a partir de 2019 para 25% até 2024 e 50% até 2033;

Considerando o contraste entre o não cumprimento das metas citadas acima, tamanho grau de otimismo das mesmas, e a realidade do gerenciamento de RSU no Estado¹⁷, constatada no último inventário de emissões (ROVERE *et al*, 2017b), as metas do PERS foram assumidas para o cenário C mas ajustadas para o presente cenário da seguinte forma:

- ✓ eficiência de coleta de lixo deve alcançar 99% até 2050 (segundo o país);
- ✓ disposição final de RSU em aterros sanitários licenciados, com encerramento dos aterros controlados e lixões, gradativamente até atingir 100% em 2018 (meta atualizada do Programa Lixão Zero);
- ✓ coleta e destruição de metano gerado da decomposição dos resíduos depositados nos aterros sanitários e lixões recuperados a partir de 2018 (22,3% em 2017) para 30% até 2030, 40% até 2040 e 50% até 2050,;
- ✓ abrangência da coleta seletiva crescendo a partir de 2018 para 10% até 2030, 20% até 2040, e 30% até 2050, dos resíduos secos coletados (considerando 1,4% em 2012, segundo o PERS);
- ✓ triagem e beneficiamento dos recicláveis secos da coleta seletiva a partir de 2018 para 20% até 2030, 30% até 2040 e 40% até 2050;
- ✓ Aproveitamento energético em usina térmica no Caju a partir de 5,5%¹⁸ do lixo total gerado em 2020, caindo para 5,0% em 2030, 4,6% em 2040 e chegando em 2050 em 4,3%, em função do incremento anual na geração de resíduos.

¹⁶ Embora os processos para a separação de materiais que compõem a fração seca dos RSU atualmente sejam predominantemente manuais, no médio prazo a triagem deve ser automatizada de forma promover uma separação mais eficiente e com melhores resultados no processo.

¹⁷ Considerando a não existência de metas relativas a compostagem no PERS, não foram consideradas medidas para esse tratamento no cenário B, ficando a parcela orgânica do lixo a ser discutida no cenário C, mais incisivo.

¹⁸ Corresponde ao início da operação da Usina Térmica do Caju com capacidade licenciada para tratar 1.300 toneladas diárias de resíduo seco, que corresponde a 474,5 mil toneladas anuais.

Os números apresentados na Tabela 19 *Tabela 15* traduzem o conjunto de premissas adotadas para construção do cenário B no Estado do Rio de Janeiro. As tabelas completas com as respectivas evoluções podem ser consultadas no Apêndice B.

Tabela 19 - Nível de atividade no Estado do Rio de Janeiro, no cenário B, de 2020 a 2050

Atividade	2020		2030		2040		2050	
	Mt	%	Mt	%	Mt	%	Mt	%
Geração de RSU	8,7	100,0	9,6	100,0	10,3	100,0	11,0	100,0
Coleta de RSU para aterramento	7,3	84,8	8,4	87,7	9,2	88,7	9,7	88,6
Lixões	0	0	0	0	0	0	0	0
Disposição Aterros controlados	0	0	0	0	0	0	0	0
Final em Aterros sanitários	7,3	100,0	8,4	100,0	9,2	100,0	9,7	100,0
Destruição de metano	1,8	24,1	2,5	30,0	3,7	40,0	4,9	50,0
Não coletado (não categorizado)	0,7	8,3	0,6	5,8	0,4	3,4	0,1	1,0
Incineração	0,06	0,7	0,05	0,5	0,05	0,5	0,04	0,4
Usina Térmica “waste-to-energy”	0,5	5,5	0,5	5,0	0,5	4,6	0,5	4,3
Compostagem aeróbia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reciclagem	0,07	0,8	0,1	0,9	0,3	2,8	0,6	5,6

- Cenário C:

O cenário C potencializa as medidas de mitigação do cenário B, considerando não somente a ampliação das metas do PERS como ainda adicionando novas tecnologias para o tratamento do lixo, como usinas térmica “waste-to-energy” e de biodigestão anaeróbia, considerando ainda a meta estabelecidas na “Política Estadual sobre Mudança Global do Clima e Desenvolvimento Sustentável” (RIO DE JANEIRO - ESTADO, 2010), de redução de 65% da intensidade de emissão per capita em relação a 2005, chegando a 84 kgCO₂e/hab até 2030:

- ✓ eficiência de coleta de lixo deve alcançar 100% até 2040 (segundo o país);
- ✓ aproveitamento energético de metano a partir de 2018 (22,3% em 2017) para 30% até 2030, 50% até 2040 e 70% até 2050, dos resíduos depositados em aterros sanitários e lixões recuperados;
- ✓ abrangência da coleta seletiva crescendo a partir de 2018 para 20% até 2030, 30% até 2040, e 40% até 2050, dos resíduos secos coletados;
- ✓ triagem e beneficiamento dos recicláveis secos da coleta seletiva a partir de 2018 para 30% até 2030, 40% até 2040 e 50% até 2050;
- ✓ Aproveitamento energético em usina térmica, começando pela do Caju a partir de 2020, caindo para 4,7% até 2037 e voltando a subir a partir de 2038, de acordo com as estimativas do esgotamento da capacidade de aterramento versus demanda por tratamento dos componentes secos do RSU da região

metropolitana do Rio de Janeiro (Figura 13), chegando a 15,6% em 2040 e a 23,3% em 2050.

- ✓ Considerando que para a viabilidade de implementação de novas tecnologias de tratamento biológico, principalmente quanto à definição entre processos aeróbio ou anaeróbio, o critério para a escolha do processo mais adequado é a escala, portanto, analogamente ao tratamento térmico, adotou-se como demanda reprimida os componentes úmidos do RSU gerado na região metropolitana fluminense, portanto iniciando a operação da usina de biodigestão¹⁹ em 2038 com processamento de 12,7% do lixo do Estado, chegando em 2050 a processar 21,4%.

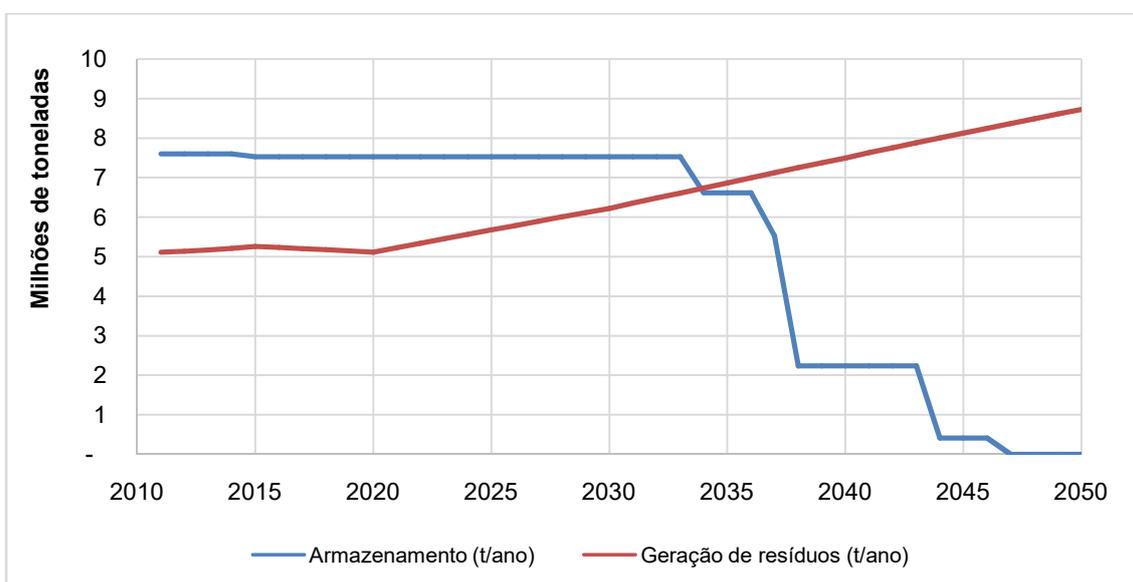


Figura 13 - Evolução da vida útil dos aterros sanitários licenciados na RMRJ versus demanda

Os números apresentados na Tabela 20 *Tabela 15* traduzem o conjunto de premissas adotadas para construção do cenário B no Estado do Rio de Janeiro. As tabelas completas com as respectivas evoluções podem ser consultadas no Apêndice B.

Tabela 20 - Nível de atividade no Estado do Rio de Janeiro, no cenário C, de 2020 a 2050

Atividade	2020		2030		2040		2050	
	Mt	%	Mt	%	Mt	%	Mt	%
Geração de RSU	8,7	100,0	9,6	100,0	10,3	100,0	11,0	100,0
Coleta de RSU para aterramento	7,3	84,7	8,4	87,6	6,8	65,6	5,0	45,6
Disposição final em Lixões	0	0	0	0	0	0	0	0
Aterros controlados	0	0	0	0	0	0	0	0

¹⁹ No presente estudo optou-se pelo tratamento biológico do tipo biodigestão anaeróbia, em detrimento da compostagem, tendo em vista que neste último os fatores de emissões de metano são de 4 a 5 vezes maiores que os do primeiro, além de ainda emitir óxido nítrico, o que não acontece na biodigestão anaeróbia.

Aterros sanitários	7,3	100,0	8,4	100,0	6,8	65,6	5,0	100,0
Recuperação de metano	1,8	24,1	2,5	30,0	3,4	50,0	3,5	70,0
Não coletado (não categorizado)	0,7	7,9	0,4	4,1	0,04	0,04	0	0
Incineração	0,06	0,7	0,05	0,5	0,05	0,5	0,04	0,4
Usina Térmica “waste-to-energy”	0,5	5,5	0,5	5,0	1,6	15,6	2,6	23,3
Compostagem aeróbia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Usina de biodigestão anaeróbia	0	0	0	0	1,3	12,4	2,3	21,4
Reciclagem	0,1	1,3	0,3	2,8	0,6	5,6	1,0	9,4

5.3.3 A produção de resíduos sólidos no Estado do Rio de Janeiro

Para a estimativa da produção de RSU, foi feita uma regressão com base nas séries históricas de PIB, população e geração de resíduos²⁰. A partir das funções obtidas e das projeções de crescimento econômico e populacional do cenário socioeconômico e da geração per capita, tomando-se inicialmente a média ponderada das taxas de produção per capita de lixo domiciliar e público dos 92 municípios fluminenses, fornecidas pelos inventários de 2005 e 2015, foi estimada a produção futura de resíduos, resultando em 2017 na razão de 1,256 kg/hab.dia, com eficiência de coleta de 91%, chegando em 2050 a razão de 1,303 kg/hab.dia com 99% do lixo coletado. As figuras com as funções de crescimento por PIB per capita e as tabelas completas com as respectivas evoluções desses níveis de atividade podem ser consultadas no Apêndice B. A Tabela 21 apresenta resumidamente o histórico recente do ano de 2005 até 2017.

Tabela 21 - Nível de atividade do tratamento de RSU no Estado do RJ de 2005 a 2017

Resíduos Sólidos		2005	2010	2015	2016	2017
Geração de Resíduos	Mt/ano	6,6	7,5	8,2	7,9	8,1
Não categorizado	Mt/ano	0,7	0,8	0,9	0,7	0,7
	(%)	11,0	10,4	10,4	9,0	9,0
Reciclagem	Mt/ano	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
	(%)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Compostagem aeróbia ²¹	Mt/ano	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	(%)	0,0	0,0	0,007	0,007	0,007
Incineração	Mt/ano	0,1	0,07	0,07	0,06	0,06
	(%)	1,5	0,9	0,9	0,7	0,7
Coletado para aterros	Mt/ano	5,7	6,6	7,2	7,0	7,3
	(%)	86,7	87,9	87,9	89,5	89,5

²⁰ Assumiu-se que os RSI classe II compõem a massa de RSU com o mesmo destino e composição gravimétrica. Em relação à incineração, foram destinadas 25,9 mil toneladas de resíduos de serviços de saúde, dentre outros em 2015, correspondente a 0,4% dos RSU coletados (ROVERE *et al*, 2017b).

²¹ De acordo com o último relatório do SNIS (2019), em 2017 somente havia unidades de compostagem em quatro municípios fluminenses, Angra dos Reis, Cantagalo, Rio de Janeiro e Santa Maria Madalena, sendo que a soma dos resíduos orgânicos encaminhados às unidades foi de 550 toneladas, ou 0,00055 Mt, irrelevante quando comparada à ordem de grandeza da massa de resíduos destinada aos aterros do Estado do Rio de Janeiro.

Disposição final em	Lixão	Mt/ano	1,2	1,0	0,3	0,2	0,1
		(%)	21,0	15,4	3,7	3,0	2,0
	Aterro Controlado	Mt/ano	4,0	4,8	0	0	0
		(%)	69,5	72,6	0	0	0
	Aterro Sanitário	Mt/ano	0,5	0,8	6,9	6,8	7,1
		(%)	9,5	12,0	96,3	97,0	98,0

Fonte: ROVERE *et al*, (2017b), IBGE (2018a, 2018b, 2019b), ABRELPE (2018), SNIS (2019).

5.3.4 Evolução dos cenários de emissões no Estado do Rio de Janeiro

As emissões nos três cenários para o Estado do RJ até 2017 são as mesmas e em 2005 e 2010 seguem os valores declarados nos inventários estaduais realizados por Rovere *et al* (2007, 2017b), portanto 5,2 MtCO₂e e 6,4 MtCO₂e, respectivamente, atualizados para o GWP-100 do AR-5 (IPCC, 2013).

No cenário A, as emissões mais que dobram até 2050, em relação a 2005, quando atingem 11,5 MtCO₂e, mantendo a tendência de aumento pela ausência de medida adicional de mitigação no período. A soma de todas as emissões no período de 2020 a 2050 no cenário A foi de 304 milhões tCO₂e.

No Cenário B²², as emissões começam a cair a partir de 2023, ainda que pouco, com a ampliação dos serviços de disposição em aterros sanitários com sistemas de coleta para destruição de metano em flares, chegando a 8,5 MtCO₂e em 2040 caindo para 7,7 MtCO₂e em 2050, uma redução significativa de mais de 33% em relação ao cenário A. A soma de todas as emissões no período de 2020 a 2050 no cenário B foi de 259 milhões tCO₂e, uma redução acumulada de 15% nos 30 anos.

O cenário C praticamente acompanha o cenário B até 2030. Com o ampliação do tratamento em usinas térmicas waste-to-energy em 2038, assim como do tratamento em usinas de biodigestão, mas principalmente com o aumento da coleta de biogás em aterros sanitários, começa a reduzir significativamente as emissões, chegando em 2040 aos mesmos 7,1 MtCO₂e de 2017, continuando a cair para 4,7 MtCO₂e em 2050, 15% menor em relação aos níveis de 2005, ou seja, uma redução de 42% em relação ao cenário B e 61% em relação ao cenário A em 2050. A soma de todas as emissões no período de 2010 a 2050 no cenário C foi de 228 MtCO₂e, o que representa uma redução acumulada de 25% em relação ao cenário tendencial.

²² Os resíduos reciclados não são considerados nos cálculos das emissões, pois o único componente reciclável que é contribuinte para a emissão de CH₄ é o papel, que mesmo considerando as emissões evitadas, seriam irrelevantes quando comparadas às emissões da decomposição orgânica nos aterros.

A evolução das emissões fluminenses nos três cenários é consolidada na Tabela 22 Tabela 17. A tabela completa, ano a ano, pode ser consultada no Apêndice C.

Tabela 22 - Emissões do tratamento de RSU no Estado do RJ, por cenário e tratamento final (MtCO_{2e})

Cenário	Tratamento	2005	2010	2017	2020	2030	2040	2050
A	Aterro				7,8	9,2	10,5	11,5
	Biológico				0,0	0,0	0,0	0,0
	Térmico				0,03	0,03	0,03	0,03
	Total				7,8	9,2	10,5	11,5
B	Aterro	5,2	6,4	7,1	7,7	8,4	8,2	7,4
	Biológico	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Térmico	0,03	0,03	0,03	0,3	0,3	0,3	0,3
	Total	5,2	6,4	7,1	8,0	8,7	8,5	7,7
C	Aterro				7,7	8,3	6,1	2,9
	Biológico				0,0	0,0	0,03	0,07
	Térmico				0,3	0,3	1,0	1,6
	Total				8,0	8,7	7,1	4,5

5.4 Cenários de emissões da Cidade do Rio de Janeiro

Para a construção dos cenários da cidade do Rio de Janeiro, os parâmetros adotados nas estimativas, como características dos resíduos e composição gravimétrica, carbono orgânico degradável (DOC) contido nos resíduos, fração de carbono fossil, foram obtidos a partir dos últimos inventários de emissões (ROVERE *et al*, 2011b; 2015a) e estudos de diagnósticos de resíduos e cenários de emissões da cidade do Rio de Janeiro (LOUREIRO *et al*, 2013; ROVERE *et al*, 2011b; 2015b).

Os fatores de correção do metano (MCF), utilizados na equação 4 (Apêndice A), variaram ao longo do período em função do histórico das condições de tratamento dos RSU da cidade do Rio de Janeiro. Como a massa total de lixo da cidade não era dividida igualmente entre os dois aterros existentes (Gramacho e Gericinó) antes da abertura do aterro de Seropédica²³, o fator OX adotado para a cidade foi calculado por médias ponderadas em função da massa de lixo destinada a cada aterro, variando entre os valores adotados pelo MCTIC (2016), ou seja, 10% em aterros sanitários e 0 (zero) para lixões. As evoluções desses fatores ano a ano estão disponíveis no Apêndice D.

²³ Segundo o IPCC (2006), ainda que os resíduos sejam dispostos fora da fonte, no caso em municípios vizinhos, a responsabilidade das emissões deve ser dada à fonte de geração do resíduo.

5.4.1 Cenário socioeconômico da Cidade do Rio de Janeiro

A projeção da população da cidade do Rio de Janeiro foi obtida das estimativas de população residente no Brasil, Unidades da Federação e municípios (IBGE, 2019a) e as estimativas de crescimento do PIB a partir dos dados da CEPERJ (2019). O último censo de 2010 contabilizou uma população de 6,3 milhões de habitantes e em 2018 já eram 6,7 milhões residindo no município do Rio de Janeiro. Considerando os indicadores demográficos, as taxas de incremento anual da população residente na cidade vêm caindo, portanto para a projeção da população no período de 2019 até 2050, foram utilizadas as taxas de crescimento anual do IBGE para o Estado do Rio de Janeiro, com tendência decrescente e passando a serem negativas a partir de 2042, quando a população passará a diminuir chegando em 2050 aos 7,1 milhões de residentes, tendo em vista a queda nos níveis de fecundidade, o aumento da expectativa de vida e a redução no saldo migratório.

Segundo dados da CEPERJ (2019), a partir de 2005 a diferença entre as taxas de crescimento dos PIBs da cidade e do Estado do Rio de Janeiro vem reduzindo ano a ano e a participação da capital no PIB estadual gira em torno dos 50%. Considerando o recente incremento no PIB do município do Rio de Janeiro acima do estadual, é razoável assumir num cenário conservador que a taxa de crescimento do PIB municipal será semelhante ao cenário superior do estudo dos Cenários Econômicos para o PNE 2050 (EPE, 2018d), portanto de 2,8% a.a até 2030, 3,5% a.a de 2031 a 2040 e 3,0% a.a. de 2041 a 2050, chegando a 730 bilhões de reais. Neste mesmo cenário o PIB industrial deverá crescer às razões de 2,5% a.a até 2030, 2,9% a.a de 2031 a 2040 e 2,4% a.a. de 2041 a 2050. A consolidação do cenário socioeconômico da cidade do Rio de Janeiro pode ser consultada no Apêndice D.

5.4.2 Premissas adotadas para a construção dos cenários

- Cenário A:

Considerou-se que nenhuma ação adicional de mitigação será adotada e que o atual quadro de tratamento dos resíduos continuará a seguir a tendência apresentada pelos dados mais recentes publicados no PMGIRS (SMAC, 2015) e no plano de ação municipal para redução das emissões (ROVERE *et al*, 2015a), ou seja, os resíduos coletados continuam a ser aterrados em condições semelhantes às de aterro sanitário como Seropédica e as emissões dos GEE variam de acordo com a geração de lixo, em consequência da evolução da população e do consumo conforme o PIB per capita. Consideraram-se ainda as informações sobre os níveis de coleta do metano no aterro

de gramacho, que mesmo encerrado segue produzindo biogás, ainda que cada vez menos (Figura 14), a compostagem na usina do Caju e o tratamento térmico na Usina Verde, na Ilha do Fundão.

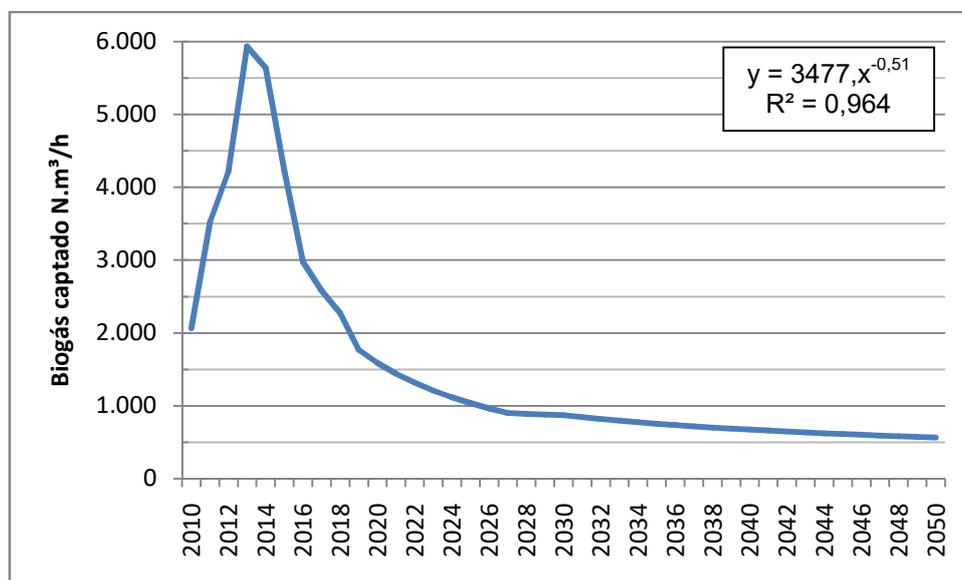


Figura 14 – Captura de biogás no aterro de Gramacho de 2010 a 2027 e projeção até 2050

Fonte: ROVERE *et al* (2016b).

Os níveis de atividade são mostrados na Tabela 23. *Tabela 15A*s tabelas completas com as respectivas evoluções podem ser consultadas no Apêndice D.

Tabela 23 - Nível de atividade na cidade do Rio de Janeiro, no cenário A, de 2020 a 2050

Atividade	2020		2030		2040		2050	
	Mt	%	Mt	%	Mt	%	Mt	%
Geração de RSU	3,7	100,0	3,9	100,0	4,0	100,0	4,1	100,0
Coleta de RSU para aterramento	3,6	96,6	3,8	96,2	3,9	95,9	3,9	95,6
Disposição final em								
Lixões	0	0	0	0	0	0	0	0
Aterros controlados	0	0	0	0	0	0	0	0
Aterros sanitários	3,6	100,0	3,8	100,0	3,9	100,0	3,9	100,0
Destruição de metano	0,7	19,9	0,7	19,9	0,7	19,9	0,7	19,9
Não coletado (não categorizado)	0,1	2,7	0,1	2,7	0,1	2,7	0,1	2,7
Usina térmica “waste-to-energy”	0,01	0,2	0,01	0,2	0,01	0,2	0,01	0,2
Compostagem aeróbia	0,0	0,02	0,0	0,02	0,0	0,02	0,0	0,02
Reciclagem	0,02	0,5	0,03	0,9	0,05	1,2	0,06	1,5

- Cenário B:

A trajetória de crescimento da produção de lixo continua idêntica ao cenário A, no entanto, a partir de 2018 se incorporam ações previstas no PMGIRS (SMAC, 2015) e nas políticas municipais de resíduos sólidos e de mudanças climáticas com previsão de implantação no horizonte do estudo.

Dentre as medidas previstas no PMGIRS, destacam-se as seguintes:

- ✓ Incrementar a coleta seletiva para 1.590 toneladas por mês até 2020;
- ✓ Implantação de uma planta piloto de compostagem de alto desempenho no Caju com meta de tratamento de 5.720 toneladas por mês até 2020;
- ✓ Implantação de uma planta industrial de biometanização de material orgânico com meta de tratamento de 26 mil toneladas de orgânicos por mês até 2020;
- ✓ Implantar uma unidade de triagem mecanizada de RSU no Caju, com capacidade para processar 2 mil t/dia de RSU e meta de tratamento de 16.640 t/mês até 2020.

Considerando o contraste entre o não cumprimento das metas citadas acima, tamanho grau de otimismo das mesmas, e o estado atual do gerenciamento de RSU na cidade²⁴, as metas foram ajustadas para o presente cenário com as seguintes medidas de mitigação:

- ✓ eficiência de coleta de lixo deve alcançar 99% até 2050;
- ✓ reduzir 15% o quantitativo de resíduos encaminhados a aterro sanitário até 2050, através da adoção de outros métodos de tratamento.
- ✓ incrementar a reciclagem para 1.590 toneladas por mês até 2020; mantendo o incremento até 2050;
- ✓ implantação de uma planta piloto de compostagem de alto desempenho no Caju com meta de tratamento de 5.720 toneladas por mês até 2030, mantendo o incremento até 2050;
- ✓ coleta e destruição do metano gerado da decomposição dos resíduos depositados no aterro sanitário de Seropédica a partir de 2018 (19,9% em 2017) para 30% até 2030, 40% até 2040 e 50% até 2050;
- ✓ aproveitamento do biogás de Gramacho a partir de 2018, passando de 65% a 80% do biogás captado a partir de 2018 até 2050, para geração de energia, em substituição ao uso de gás natural;
- ✓ aproveitamento energético em usina térmica no Caju a partir de 12,9% do lixo total gerado em 2020, caindo para 12,2% em 2030, 11,8% em 2040 e chegando em 2050 em 11,7%, em função do incremento anual na geração de resíduos.

²⁴ Considerando a não existência de metas relativas a compostagem no PERS, não foram consideradas medidas para esse tratamento no cenário B, ficando a parcela orgânica do lixo a ser discutida no cenário C, mais incisivo.

O tratamento térmico na Usina do Caju possui capacidade licenciada para tratar 1.300 toneladas diárias de resíduo seco, que corresponde a 474,5 mil toneladas anuais. No entanto tendo em vista as recentes dificuldades do município em arcar com o transporte e o tratamento de seus resíduos no aterro de Seropédica (RODRIGUES, 2019), é necessário se considerar a aplicabilidade energética da usina para justificar os recursos necessários de sua operação, até porque enquanto a incineração requer mais de 500 reais por MWh, o preço praticado recentemente nos leilões de energia tem sido menor que 100 reais. Ainda que se faça uma legislação específica ou uma chamada pública ou o repasse desse custo para tarifa dos consumidores, não seria o suficiente para tratar todo resíduo, dada a parcela orgânica, inadequada para incinerar em função da alta umidade.

Os números apresentados na Tabela 24 *Tabela 23* *Tabela 15* traduzem o conjunto de premissas adotadas para construção do cenário B na cidade do Rio de Janeiro. As tabelas completas com as respectivas evoluções podem ser consultadas no Apêndice D.

Tabela 24 - Nível de atividade na cidade do Rio de Janeiro, no cenário B, de 2020 a 2050

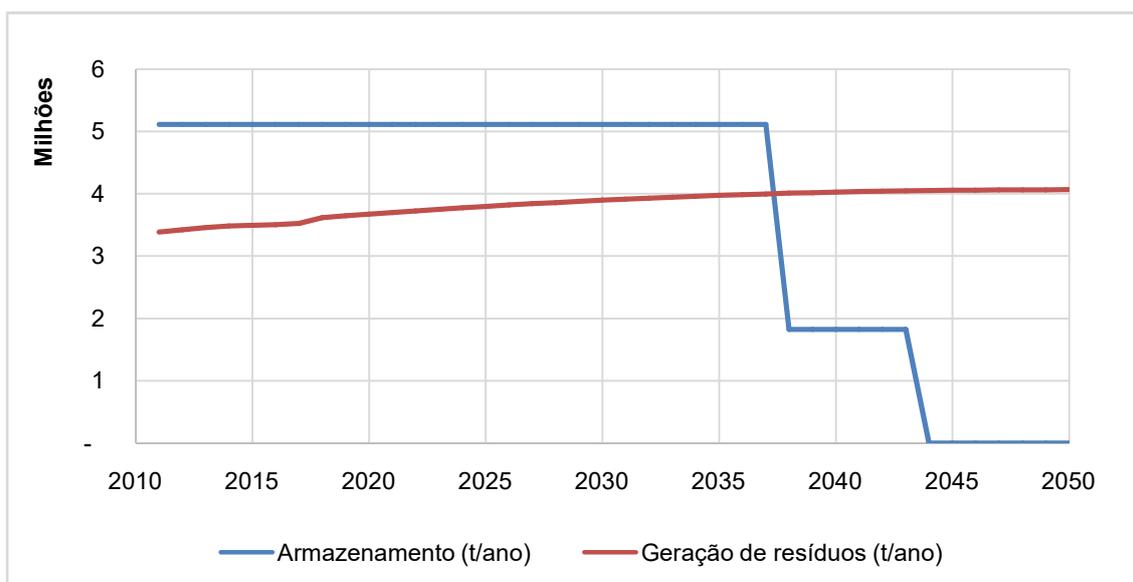
Atividade	2020		2030		2040		2050	
	Mt	%	Mt	%	Mt	%	Mt	%
Geração de RSU	3,7	100,0	3,9	100,0	4,0	100,0	4,1	100,0
Coleta de RSU para aterramento	3,1	84,0	3,2	83,0	3,3	81,8	3,3	80,3
Lixões	0	0	0	0	0	0	0	0
Disposição final em								
Aterros controlados	0	0	0	0	0	0	0	0
Aterros sanitários	3,0	100,0	3,2	100,0	3,3	100,0	3,3	100,0
Destruição de metano	0,6	22,2	0,6	30,0	0,6	40,0	0,6	50,0
Não coletado (não categorizado)	0,1	2,5	0,08	2,0	0,06	1,5	0,04	1,0
Usina Térmica “waste-to-energy”	0,5	12,9	0,5	12,2	0,5	11,8	0,5	11,7
Compostagem aeróbia	0,0	0,02	0,07	1,8	0,1	3,4	0,2	5,0
Reciclagem	0,02	0,5	0,04	1,0	0,06	1,5	0,08	2,0

- Cenário C:

O cenário C potencializa as medidas de mitigação do cenário B, considerando não somente a antecipação dos prazos de cumprimento das metas mas ainda a ampliação do PMGIRS, tendo em vista inclusive a meta estabelecida na “Política Municipal sobre Mudança do Clima e Desenvolvimento Sustentável” (RIO DE JANEIRO - CIDADE, 2011), de reduzir 20% das emissões de 2005 até 2020, através das seguintes medidas adicionais:

- ✓ eficiência de coleta de lixo deve alcançar 100% até 2040;

- ✓ reduzir 50% do quantitativo de resíduos encaminhados a aterro sanitário até 2040, através da adoção de outros métodos de tratamento.
- ✓ Implantar uma unidade de triagem mecanizada de RSU no Caju em 2030 para tratamento de 16.640 t/mês, com capacidade para processar 2 mil t/dia de RSU e até 2050.
- ✓ Incrementar a reciclagem para o dobro dos resíduos reciclados no cenário B até 2030 e conforme demanda seca oriunda da triagem mecanizada até 2050;
- ✓ Implantação de uma planta industrial de biometanização com processamento de 26 mil toneladas por mês, 8% dos RSU, a partir de 2030, considerando como teto a demanda orgânica oriunda da triagem mecanizada até 2050;
- ✓ aproveitamento do biogás coletado no aterro sanitário de Seropédica para geração de eletricidade a partir de 2030, considerando a recuperação do metano partindo de 19,9% em 2017, 30% até 2030, 50% até 2040 e 70% até 2050, com destruição do metano não aproveitado em flares;
- ✓ Aproveitamento energético do metano de Gramacho em substituição ao gás natural, passando de 65% do biogás captado em 2018 para 80% até 2050;
- ✓ Aproveitamento energético em usina térmica no Caju a partir de 12,9%²⁵ do lixo total gerado em 2020, caindo para 12,2% em 2030 e 11,9% em 2037 e voltando a subir a partir de 2038, de acordo com as estimativas do esgotamento da capacidade de aterramento versus demanda por tratamento dos RSU da cidade do Rio de Janeiro (Figura 15), chegando a 31,1% em 2040 e a 47,6% em 2050.



²⁵ Corresponde ao início da operação da Usina Térmica do Caju com capacidade licenciada para tratar 1.300 toneladas diárias de resíduo seco, que corresponde a 474,5 mil toneladas anuais.

Figura 15 - Evolução da vida útil dos aterros de Seropédica e Nova Iguaçu versus demanda da cidade do Rio de Janeiro

Os números apresentados na Tabela 25 *Tabela 23 Tabela 15* traduzem o conjunto de premissas adotadas para construção do cenário C na cidade do Rio de Janeiro. As tabelas completas com as respectivas evoluções podem ser consultadas no Apêndice D.

Tabela 25 - Nível de atividade na cidade do Rio de Janeiro, no cenário C, de 2020 a 2050

Atividade	2020		2030		2040		2050	
	Mt	%	Mt	%	Mt	%	Mt	%
Geração de RSU	3,7	100,0	3,9	100,0	4,0	100,0	4,1	100,0
Coleta de RSU para aterramento	3,1	83,7	2,9	74,8	2,0	48,7	1,2	30,3
Lixões	0	0	0	0	0	0	0	0
Disposição final em								
Aterros controlados	0	0	0	0	0	0	0	0
Aterros sanitários	3,1	100,0	2,9	100,0	2,0	100,0	1,2	100,0
Recuperação de metano	0,6	22,2	0,6	30,0	0,4	50,0	0,2	70,0
Não coletado (não categorizado)	0,1	2,4	0,05	1,2	0,03	0,7	0	0
Usina Térmica "waste-to-energy"	0,5	12,9	0,5	12,2	1,3	31,1	1,9	47,6
Compostagem aeróbia	0,0	0,02	0,07	1,8	0,1	3,4	0,2	5,0
Usina de biodigestão anaeróbia	0	0	0,3	8,0	0,4	10,1	0,4	10,4
Reciclagem	0,04	1,0	0,07	2,0	0,3	6,7	0,3	6,7

5.4.3 A produção de resíduos sólidos na Cidade do Rio de Janeiro

A projeção da produção de resíduos sólidos na cidade do Rio de Janeiro foi feita a partir dos dados do Diagnóstico Preliminar de RSU (ROVERE *et al*, 2015b) e do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS (SMAC, 2015), que forneceu a geração per capita de 1,430 kg de RSU no ano de 2014. A partir de então foram projetadas as taxas em função do incremento da geração per capita, alcançando em 2050 a razão de 1,474 kg/hab.dia.

Para as projeções dos percentuais da composição gravimétrica, usados no cálculo do teor de carbono dos componentes do lixo, e da produção dos resíduos industriais, partiu-se dos dados da série histórica da Comlurb (2009, 2011) e do estudo de cenários de emissões (ROVERE *et al*, 2011b). Uma vez que essa produção depende do volume da atividade econômica do setor, a projeção foi calculada em função do incremento no PIB industrial no período, partindo de 40,2 mil toneladas em 2005 e chegando em 2050 a 102,7 mil t. As estimativas dos percentuais gravimétricos foram calculadas em função do PIB per capita.

Em relação à coleta seletiva, partiu-se do montante de 12.560 t/ano em 2015, segundo o PMGIRS (SMAC, 2015), quase 0,4% do lixo produzido na cidade. A partir

desse percentual, calculou-se a tendência em valores absolutos. A Tabela 26 apresenta resumidamente o histórico recente do ano de 2005 até 2017. As tabelas completas com a evolução do cenário socioeconômico e da produção de resíduos da cidade do Rio de Janeiro são disponibilizadas no Apêndice D.

Tabela 26 - Nível de atividade do tratamento de RSU na cidade do Rio de Janeiro de 2005 a 2017

Resíduos Sólidos		2005	2010	2015	2016	2017
Geração de Resíduos	Mt/ano	3,2	3,4	3,5	3,5	3,5
Não categorizado	Mt/ano	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	(%)	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
Reciclagem	Mt/ano	0,0	0,0	0,01	0,01	0,01
	(%)	0,03	0,2	0,4	0,4	0,4
Compostagem aeróbia ²⁶	Mt/ano	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	(%)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Incineração	Mt/ano	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	(%)	0,0	0,01	0,21	0,21	0,21
Coletado para aterros	Mt/ano	3,1	3,3	3,4	3,4	3,4
	(%)	97,2	97,1	96,7	96,7	96,6
Lixão	Mt/ano	0	0	0	0	0
	(%)	0	0	0	0	0
Disposição final em Aterro Controlado	Mt/ano	3,1	2,8	0	0	0
	(%)	97,3	86,0	0	0	0
Disposição final em Aterro Sanitário	Mt/ano	0	0,4	3,3	3,3	3,3
	(%)	0	11,3	97,3	97,3	97,3

Fonte: IBGE (2019a); ROVERE *et al* (2011b; 2015a; 2015b); SMAC (2015), SNIS (2019).

5.4.4 Evolução dos cenários de emissões na Cidade do Rio de Janeiro

As emissões nos três cenários para a cidade do Rio de Janeiro em 2005 e 2010 seguem os valores atualizados a partir dos últimos inventários de emissões (ROVERE *et al*, 2015a), portanto 2,5 MtCO₂e e 2,8 MtCO₂e, respectivamente, segundo o GWP-100 do AR-5 (IPCC, 2013).

Os resultados mostram que no cenário tendencial A as emissões chegarão a 3,9 MtCO₂e em 2050, correspondente a 34% das emissões estaduais no mesmo cenário, considerando a ausência de medida adicional de mitigação no período. A soma de todas as emissões de 2020 a 2050 no cenário A foi de 116,5 MtCO₂e. As

²⁶ De acordo com o último relatório do SNIS (2019), em 2017 no município do Rio de Janeiro foram destinadas 550 toneladas de resíduos orgânicos para unidades de compostagem, que correspondem a 0,00055 Mt, irrelevante quando comparada à ordem de grandeza da massa de resíduos destinada aos aterros que servem à cidade.

emissões dos tratamentos biológico e térmico seguem irrelevantes quando comparadas às de aterramento.

No cenário B as emissões já começam a diminuir em 2018, mas de 2020 a 2021 passam um pouco do cenário A, com as trocas de tecnologias mas com pouca recuperação de metano em aterros ainda. A partir de 2022 a recuperação de metano para destruição em flares e utilização do biogás passa a comandar a redução, que chega em 2050 a 2,4 MtCO₂e, emissão 38% menor em relação ao cenário A. A soma de todas as emissões no período de 2020 a 2050 no cenário B foi de 92,6 MtCO₂e, uma redução acumulada de 20% nos 30 anos.

No cenário C, como esperado, as emissões já começam a cair em 2018 e numa velocidade maior que no cenário B, chegando em 2050 a 1,8 MtCO₂e, uma significativa redução de 54% em relação ao cenário A, 25% em relação ao cenário B no mesmo ano e 66% em relação à emissão de 2005. Neste cenário, com a redução da disposição de RSU em aterros, o maior contribuinte para a redução nas emissões é o desvio da massa de resíduos para as usinas de biodigestão e térmica, principalmente a partir de 2038 quando termina a vida útil do aterro de Seropédica. Ainda que se aumente a capacidade de recuperação de metano nos aterros sanitários, o volume de metano reduz em virtude desse deslocamento da massa de lixo para outras tecnológicas para tratamento. A soma de todas as emissões no período de 2020 a 2050 no cenário C foi de 84 MtCO₂e, uma redução acumulada de 28% nos 30 anos em relação ao cenário tendencial.

As emissões da compostagem são idênticas às do cenário B, pois o excedente de material orgânico passa a ser tratado na usina de biodigestão. O início da operação da triagem mecanizada potencializou o incremento na reciclagem. A evolução das emissões cariocas nos três cenários é consolidada na Tabela 27. A tabela completa, ano a ano, com todas as informações sobre as emissões de aterramento, e tratamentos térmicos e biológicos são mostradas no Apêndice D.

Tabela 27 - Emissões do tratamento de RSU na cidade do Rio de Janeiro, por cenário e tratamento final (10³ t)

Cenário	Tratamento	2005	2010	2017	2020	2030	2040	2050
A	Aterro				3,4	3,7	3,9	3,9
	Biológico				0,0	0,0	0,0	0,0
	Térmico	2,5	2,8	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	0,0	0,0	0,0	3,4	3,7	3,9	3,9
B	Aterro	2,5	2,8	3,2	3,3	2,9	2,5	2,1
	Biológico				0,0	0,01	0,03	0,04
	Térmico				0,3	0,3	0,3	0,3

	Total				3,5	3,2	2,8	2,4
C	Aterro				3,3	2,9	1,7	0,6
	Biológico				0,0	0,02	0,04	0,05
	Térmico				0,3	0,3	0,7	1,2
	Total				3,5	3,2	2,4	1,8

Com todos os cenários construídos é possível realizar as devidas comparações entre cenários e níveis geográficos, assim como analisar os respectivos potenciais de redução das emissões, de custos de abatimento, receitas e viabilidades, objetivos do estudo. O próximo capítulo vem consolidar os resultados encontrados.

Capítulo VI

RESULTADOS DOS CENÁRIOS DE MITIGAÇÃO

Este capítulo apresenta a consolidação dos cenários de emissões futuras dos gases causadores do efeito estufa oriundos do gerenciamento dos resíduos sólidos nos três níveis geográficos do estudo e promove as devidas comparações e análises dos resultados encontrados. Essa análise permitirá se verificar as respectivas responsabilidades em termos participação no total das emissões além de se observar quais as maiores oportunidades e benefícios das medidas de mitigação. A seguir, para cada área pesquisada, são mostrados os resultados consolidados das emissões, os potenciais de redução e os custos associados às medidas de mitigação, assim como seus respectivos ganhos ambientais e financeiros.

A seguir são apresentados os resultados consolidados, por cenário de mitigação e a evolução das emissões dos cenários de 2005 (ano base da NDC) até 2017 (último ano que se tem dados concretos) e de 2020 até 2050 (ciclo tecnológico abordado na pesquisa). Primeiramente, a Tabela 28 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta as emissões totais do estudo de cenários nas três áreas.

Tabela 28 - Resultados consolidados dos cenários de emissões (10^3 tCO₂e)

Nível	Cenário	2005	2010	2017	2020	2030	2040	2050	Varição 2050/2005
Brasil	A	34,8	37,3	59,4	64,8	81,4	96,2	110,5	3,18
	B				64,6	60,3	67,9	75,6	2,18
	C				53,4	58,5	58,4	57,4	1,65
Rio de Janeiro (Estado)	A	5,2	6,4	7,2	7,9	9,2	10,5	11,5	2,20
	B				8,0	8,7	8,5	7,7	1,47
	C				8,0	8,7	7,1	4,5	0,85
Rio de Janeiro (cidade)	A	2,5	2,8	3,2	3,4	3,7	3,9	3,9	1,56
	B				3,5	3,2	2,8	2,4	0,96
	C				3,5	3,2	2,4	1,8	0,71

6.1 Consolidação dos resultados no Brasil

A Figura 16 ilustra os resultados dos cenários de emissões brasileiras do tratamento de resíduos sólidos urbanos de 2005 a 2050.

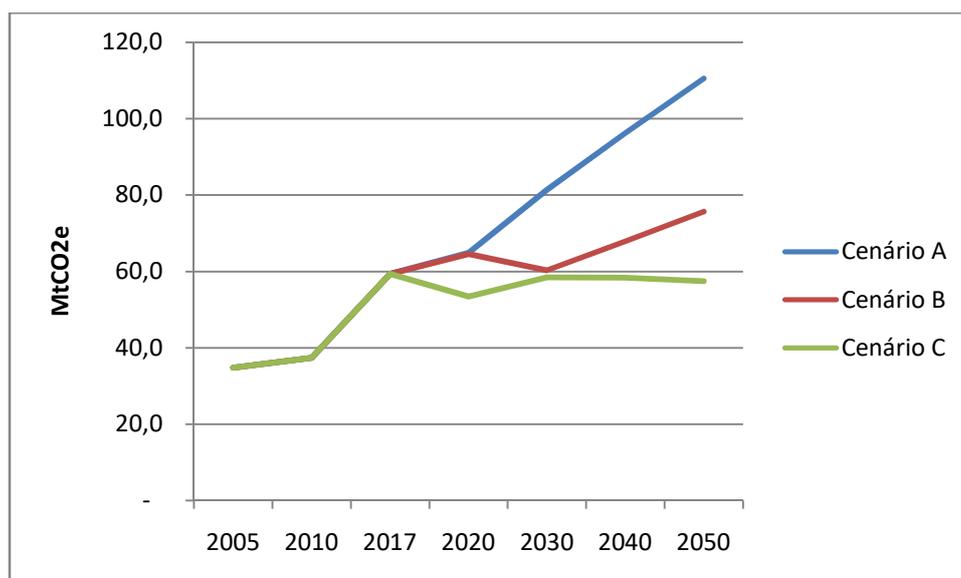


Figura 16 - Evolução das emissões brasileiras no tratamento de RSU de 2005 a 2050

6.1.1 Potenciais de redução das emissões no Brasil

A Tabela 29 apresenta a evolução dos potenciais de redução das emissões de GEE no tratamento de RSU no Brasil, de 2020 a 2050. Os resultados mostram que o maior potencial ocorre entre os cenários A e C, chegando a quase 50% em 2050, em função da recuperação e queima do metano produzido nos aterros sanitários.

Tabela 29 - Potenciais de redução das emissões de GEE entre os cenários no Brasil (MtCO₂e)

Cenário	2020	2030	2040	2050
B em relação ao A redução (%)	0,3 0,4%	21,1 25,9%	28,3 29,5%	34,9 31,6%
C em relação ao A redução (%)	11,4 17,6%	22,9 28,2%	37,9 39,3%	53,1 48,0%
C em relação ao B redução (%)	11,1 17,3%	1,8 3,0%	9,5 14,0%	18,2 24,1%

Entre os cenários A e B o as medidas de mitigação não produzem muito efeito até 2020, o que ocorre a partir de 2030 mantendo-se em torno dos 30% de redução ao longo do período, graças à ampliação do acesso da população aos serviços de saneamento, sobretudo ao tratamento de RSU em aterros com sistemas de coleta e destruição de metano. Entre os cenários A e C, o potencial de redução é ainda maior quando comparado ao anterior, tendo em vista a transferência de tecnologia de aterramento para outras formas de tratamento que emitem bem menos GEE, como usinas térmicas e de biodigestão, que ainda empregam o biometano produzido em substituição ao uso do gás natural, contribuindo com as emissões evitadas. A diferença entre os cenários B e C voltam a crescer a partir de 2030 justamente com o início do emprego dessas novas formas de tratamento de resíduos.

6.1.2 Evolução das intensidades de emissões no Brasil

Com o auxílio da Tabela 30, pode-se dizer com relação a intensidade de emissão por PIB que o esforço para reduzir as emissões no cenário B em relação ao A é de 32% e no cenário C em relação ao B é de 24%, ambos em 2050. Porém, mesmo no cenário tendencial, ainda que não sejam tomadas medidas adicionais, a intensidade por PIB reduziria ainda que com o aumento das emissões, em função da expectativa de crescimento do PIB brasileiro e consequentemente do PIB per capita. Os cenários B e C alcançariam já em 2030 intensidades de emissão por PIB inferiores a de 2005.

Tabela 30 – Evolução das intensidades de emissões de GEE entre os cenários no Brasil

Cenários		2005	2010	2017	2020	2030	2040	2050
População (milhões)		185,2	195,5	207,7	212,1	223,1	228,2	226,3
PIB (trilhões)		4,7	5,8	5,7	6,1	8,4	10,7	13,5
Emissões per capita (kgCO ₂ e/hab)	A				305,7	364,7	421,7	488,2
	B	187,8	191,0	285,9	304,4	270,1	297,4	334,1
	C				251,8	262,0	255,8	253,7
Emissões por PIB (kgCO ₂ e/10 ³ R\$)	A				10,57	9,68	8,99	8,19
	B	7,42	6,40	10,42	10,52	7,17	6,34	5,60
	C				8,70	6,95	5,45	4,25

Em relação à população, a intensidade das emissões per capita, partindo de 187 kgCO₂/hab em 2005, aumentaria em ambos os cenários. Isso se explica pela tendência de crescimento populacional cuja velocidade está diminuindo e passará a ser negativa após 2040, ou seja, ainda que com a redução das emissões, a diminuição da população não permite que a intensidade per capita alcance índices inferiores ao de 2005.

6.1.3 Potenciais receitas das medidas de mitigação no Brasil

Considerando a média entre a expectativa do mercado em relação ao preço futuro e o menor valor pago da redução certificada de carbono em 15 Euros²⁷ (ver seção 2.1.1) e os potenciais de redução dos cenários de mitigação, é possível se estimar os potenciais ganhos em termos de redução acumulada de emissões para cada cenário no Brasil de 2020 a 2050. A Tabela 31 apresenta essa estimativa.

Tabela 31 – Potenciais de receitas acumuladas de reduções certificadas de carbono no Brasil

²⁷ Foram consideradas as seguintes taxas de câmbio: 1 EUR = 1,139 USD; 1 EUR = 4,3542 BRL; 1 USD = 3,8228 BRL (BACEN, 2019a).

Cenário	Acumulado (MtCO ₂ e)	Redução (MtCO ₂ e)	\$EUR (bilhões)	\$USD (bilhões)	\$BRL (bilhões)
B em relação ao A	2.743,6	755,8	11.336,9	12.912,7	49.362,9
C em relação ao A	1.987,9	974,3	14.614,6	16.646,0	63.634,7
C em relação ao B	1.769,3	218,5	3.277,7	3.733,3	14.271,8

6.2 Consolidação dos resultados no Estado do RJ

Seguindo o mesmo modelo de apresentação, a seguir são mostrados os resultados consolidados por cenário e a evolução das emissões para o Estado do Rio de Janeiro. A Figura 17 ilustra esses resultados de 2005 a 2050.

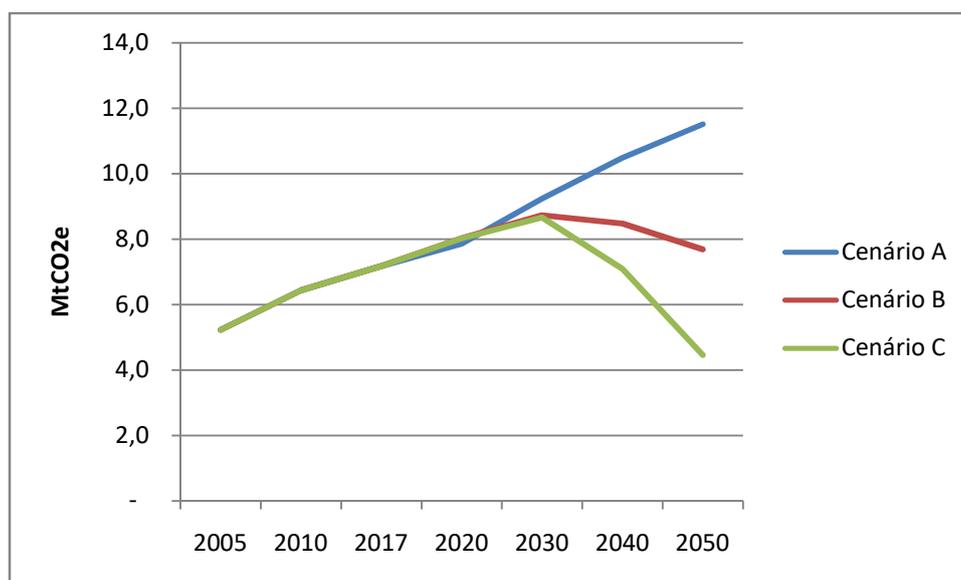


Figura 17 - Evolução das emissões fluminenses no tratamento de RSU de 2005 a 2050

6.2.1 Potenciais de redução das emissões no Estado do RJ

A Tabela 32 apresenta a evolução dos potenciais de redução das emissões de GEE no tratamento de RSU no Estado do Rio de Janeiro, de 2020 a 2050. Os resultados mostram que o maior potencial ocorre entre os cenários A e C, chegando a mais de 60% em 2050, principalmente em função da recuperação e queima do metano produzido nos aterros sanitários.

Tabela 32 - Potenciais de redução das emissões de GEE entre os cenários do Estado do RJ (MtCO₂e)

Cenário	2020	2030	2040	2050
B em relação ao A	-0,2	0,5	2,0	3,8
redução (%)	-2,0%	5,6%	19,2%	33,3%
C em relação ao A	-0,2	0,6	3,4	7,1
redução (%)	-1,9%	6,3%	32,3%	61,2%
C em relação ao B	6,0	0,1	1,4	3,2

redução (%)	0,1%	0,8%	16,3%	41,9%
-------------	------	------	-------	-------

Em ambos cenários de mitigação, as medidas não produzem efeito até 2020, resultando no aumento pequeno das emissões, tendo em vista o incremento do cenário socioeconômico e a ampliação dos serviços de saneamento, o que já ocorre a partir de 2030 e de forma crescente até 2050. O cenário C alcança um potencial de cerca do dobro do potencial do cenário B, graças à ampliação do tratamento de RSU em aterros com sistemas de coleta e destruição de metano, mas sobretudo graças à transferência de tecnologia de aterramento para outras formas de tratamento que emitem bem menos GEE, como usinas térmicas e de biodigestão, e contribuem com as emissões evitadas. A diferença entre os cenários B e C se torna visível a partir de 2038 justamente com o início do emprego dessas novas formas de tratamento.

6.2.2 Evolução das intensidades de emissões no Estado do RJ

Com o auxílio da Tabela 33, pode-se ver que a intensidade de emissão por PIB caiu de 2005 a 2017, mas voltaria a subir em 2020 caindo novamente a partir de 2040. O esforço para reduzir as emissões em 2050 no cenário B em relação ao A seria de 33% e no cenário C em relação ao B de 42%. Porém, mesmo no cenário tendencial, ainda que não sejam tomadas medidas adicionais de mitigação, a intensidade por PIB reduziria ainda que com o aumento das emissões, em função da expectativa de crescimento do PIB do Estado e consequentemente do PIB per capita. Os cenários B e C alcançariam em 2040 intensidades de emissão por PIB inferiores às de 2017.

Tabela 33 – Evolução das intensidades de emissão de GEE entre os cenários no Estado do RJ

Cenários		2005	2010	2017	2020	2030	2040	2050
População (milhões)		15,3	16,0	17,1	17,4	18,1	18,4	18,2
PIB (bilhões)		269,8	449,9	621,0	621,0	700,4	853,8	1.147,4
Emissões per capita (kgCO ₂ e/hab)	A				193,2	205,0	211,1	215,4
	B	164,5	177,19	185,61	203,7	175,5	154,5	132,9
	C				203,7	175,2	131,9	99,0
Emissões por PIB (kgCO ₂ e/10 ³ R\$)	A				12,67	13,19	12,28	10,03
	B	19,37	14,31	11,56	12,91	12,46	9,92	6,69
	C				12,90	12,36	8,30	3,89

Em relação à população, a intensidade das emissões per capita, partindo de 164 kgCO₂/hab em 2005, evolui crescentemente no cenário tendencial mas decresce nos cenários de mitigação a partir de 2030, mesmo com a diminuição da velocidade nas taxas de crescimento populacional. Porém, ainda que com essa redução populacional,

a redução nas emissões permite que a intensidade per capita alcance em 2040 índices inferiores ao de 2005.

6.2.3 Potenciais receitas das medidas de mitigação no Estado do RJ

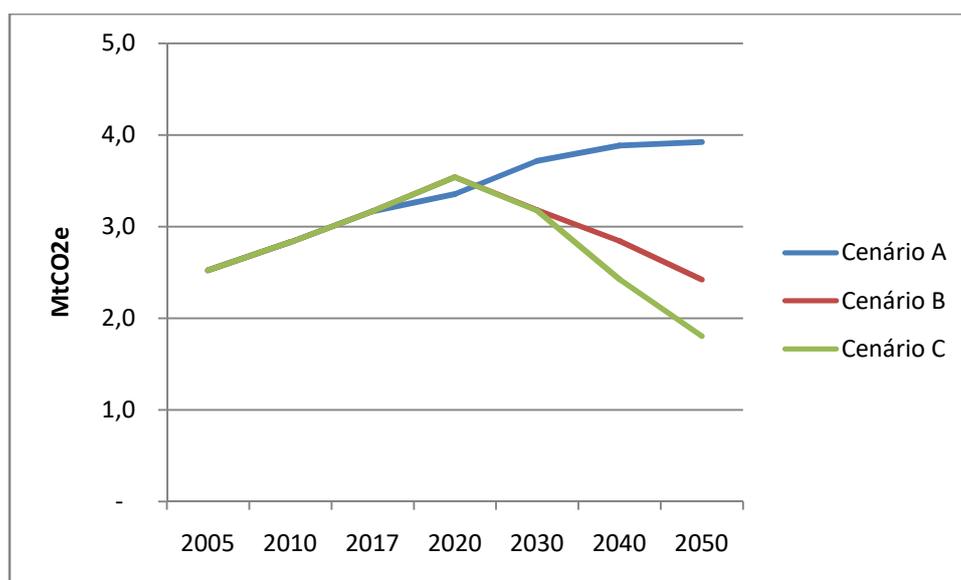
Analogamente, considerando a expectativa do mercado em relação ao preço da redução certificada de carbono em 15,00 Euros²⁸ (ver seção 2.1.1) e os potenciais de redução dos cenários de mitigação, é possível se estimar os potenciais ganhos em termos de redução acumulada de emissões para cada cenário no Estado do Rio de Janeiro de 2020 a 2050. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta essa estimativa.

Tabela 34 – Potenciais de receitas de reduções certificadas de carbono no Estado do RJ

Cenário	Acumulado (MtCO ₂ e)	Redução (MtCO ₂ e)	\$EUR (bilhões)	\$USD (bilhões)	\$BRL (bilhões)
B em relação ao A	303,8	44,6	669,2	762,3	2.914,0
C em relação ao A	259,2	76,2	1.142,3	1.301,0	4.973,7
C em relação ao B	227,7	31,5	473,0	538,8	2.059,7

6.3 Consolidação dos resultados na cidade do Rio de Janeiro

Analogamente, são apresentados os resultados consolidados por cenário e a evolução das emissões para o município do Rio de Janeiro. A Figura 18 ilustra esses resultados de 2005 a 2050.



²⁸ Foram consideradas as seguintes taxas de câmbio: 1 EUR = 1,139 USD; 1 EUR = 4,3542 BRL; 1 USD = 3,8228 BRL (BACEN, 2019a).

Figura 18 - Evolução das emissões cariocas no tratamento de RSU de 2005 a 2050

6.3.1 Potenciais de redução das emissões na cidade do Rio de Janeiro

A Tabela 35 apresenta a evolução dos potenciais de redução das emissões de GEE no tratamento de RSU na cidade do Rio de Janeiro, de 2020 a 2050. Como esperado, os resultados mostram que o maior potencial ocorre entre os cenários A e C, chegando a mais de 50% em 2050, principalmente em função da recuperação do metano produzido no aterro de Seropédica.

Tabela 35 - Potenciais de redução das emissões de GEE entre os cenários na cidade do Rio de Janeiro (MtCO_{2e})

Cenário	2020	2030	2040	2050
B em relação ao A	-0,2	0,5	1,0	1,5
redução (%)	-5,4%	14,4%	26,8%	38,3%
C em relação ao A	-0,2	0,5	1,5	2,1
redução (%)	-5,4%	14,6%	37,5%	54,0%
C em relação ao B	0,2	0,0	0,4	0,6
redução (%)	0,0%	0,2%	14,6%	25,5%

Em ambos cenários de mitigação, as medidas não produzem efeito até 2020, resultando também em pequeno aumento das emissões, tendo em vista o incremento do cenário socioeconômico e a ampliação dos serviços de saneamento, o que se percebe já a partir de 2030 e de forma crescente até 2050. O cenário C alcança um potencial de mais da metade das emissões do cenário A em 2050, graças principalmente à transferência de tecnologia de aterramento para outras formas de tratamento que emitem bem menos GEE, como as usinas térmicas e de biodigestão, facilitadas pelo início de operação da unidade de triagem mecanizada. A diferença entre os cenários B e C se torna visível a partir de 2040 justamente com o início do emprego dessas novas formas de tratamento.

6.3.2 Evolução das intensidades de emissões na cidade do Rio de Janeiro

Com o auxílio da Tabela 36, pode-se ver que a intensidade de emissão por PIB cairia sem esforço adicional no cenário tendencial. Isso se deve ao fato que as emissões do tratamento de resíduos na cidade do Rio já possuem uma tendência de pouca elevação em função do quadro avançado que se encontra no tratamento. O fato é que com a inclusão das medidas, essa intensidade cairia na ordem de 90% no cenário C em 2050 em relação a intensidade de 2005. O esforço para reduzir as emissões em 2050 no cenário B em relação ao A seria de 38% e no cenário C em relação ao B de 25%.

Tabela 36 – Evolução das intensidades de emissões de GEE entre os cenários na cidade do Rio de Janeiro

Cenários	2005	2010	2017	2020	2030	2040	2050
População (milhões)	6,1	6,3	6,5	6,8	7,1	7,2	7,1
PIB (bilhões)	117,8	160,7	268,6	291,9	384,7	542,6	729,2
Emissões per capita (kgCO ₂ e/hab)	A			495,6	526,0	541,6	552,5
	B	413,7	447,7	485,4	522,6	450,3	396,3
	C			522,5	449,4	338,3	253,9
Emissões por PIB (kgCO ₂ e/10 ³ R\$)	A			11,49	9,66	7,16	5,38
	B	21,41	17,61	11,78	12,12	8,27	5,24
	C			12,12	8,25	4,47	2,47

Em relação à intensidade de emissão per capita, partindo de 413 kgCO₂/hab em 2005, evolui crescentemente no cenário tendencial até 2050, mas decresce nos cenários de mitigação a partir de 2030, chegando já em 2040 a níveis menores que 2005. No cenário C essa intensidade em 2050 chega a metade em relação ao cenário A no mesmo ano. Mesmo com o recuo no crescimento populacional, a redução nas emissões permite que a intensidade per capita alcance índices inferiores até 2050.

6.3.3 Potenciais receitas das medidas de mitigação na cidade do Rio de Janeiro

Analogamente, considerando a expectativa do mercado em relação ao preço da redução certificada de carbono em 15,00 Euros²⁹ (ver seção 2.1.1) e os potenciais de redução dos cenários de mitigação, é possível se estimar os potenciais ganhos em termos de redução acumulada de emissões para cada cenário na cidade do Rio de Janeiro de 2020 a 2050. A Tabela 37 apresenta essa estimativa.

Tabela 37 – Potenciais de receitas de reduções certificadas de carbono na cidade do Rio de Janeiro

Cenário	Acumulado (MtCO₂e)	Redução (MtCO₂e)	\$EUR (bilhões)	\$USD (bilhões)	\$BRL (bilhões)
B em relação ao A	116,5	23,9	358,0	407,8	1.558,8
C em relação ao A	92,6	32,2	482,6	549,7	2.101,3
C em relação ao B	84,3	8,3	124,6	141,9	542,4

²⁹ Foram consideradas as seguintes taxas de câmbio: 1 EUR = 1,139 USD; 1 EUR = 4,3542 BRL; 1 USD = 3,8228 BRL (BACEN, 2019a).

Capítulo VII

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A presente pesquisa se propôs a mostrar que a implementação de ações previstas nas políticas públicas de mudanças climáticas e a ampliação da cobertura no tratamento dos resíduos sólidos urbanos pode promover um potencial de benefícios capazes de mitigar substancialmente as emissões dos gases de efeito estufa no tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Os benefícios ambientais e financeiros foram comprovados nos três níveis estudados, com os ganhos em créditos de carbono e conservação de energia, com substituição de combustíveis fósseis por biometano, comercialização de energia elétrica, receitas que poderão ser investidas por prefeituras e consórcios na melhoria dos serviços de coleta e tratamento, p. ex., centrais de triagem mecanizada e frota.

No caso do Brasil, foi possível migrar do aterramento para outras formas de tratamento de resíduos, a partir do encerramento dos lixões e das vidas úteis dos atuais aterros sanitários em operação e com o aumento da demanda nas grandes regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e de São Paulo.

O tratamento em aterro sanitário, por proporcionar investimentos distribuídos ao longo de toda vida útil, somado ao retorno da venda dos créditos de carbono e biometano, faz dele um método de tratamento mais atraente comparado aos outros tratamentos com altos gastos iniciais, devendo ser ainda largamente utilizado no Brasil como solução para o saneamento no curto prazo.

Os tratamentos adotados nas medidas de mitigação, sendo beneficiamento de biometano, térmicas “waste-to-energy” e biodigestão anaeróbia se mostraram plenamente viáveis como opção de substituição ao aterro sanitário, sendo neste o beneficiamento do metano a opção de melhor viabilidade econômica.

O nível de aplicabilidade para o Brasil, Estado e cidade do Rio de Janeiro variou de acordo com a associação entre as receitas da venda de eletricidade e biometano produzidos, dos créditos de carbono e dos co-produtos relacionados às reduções diretas e indiretas das emissões para cada medida de mitigação.

As medidas de mitigação relacionadas à geração de eletricidade (aterros com turbo-geradores, usinas térmicas) se mostram melhores opções aos grandes centros e aglomerados urbanos em função da escala, enquanto as relacionadas ao beneficiamento do metano (biodigestão anaeróbia e compostagem) são opções mais viáveis para as cidades com menos de 300 mil habitantes, considerando seu potencial de aproveitamento de biometano da ordem de duas vezes o de aterros sanitários.

Os métodos de tratamento biológicos se mostram oportunos para resolver o cumprimento da PNRS nos municípios pequenos não consorciados, que juntos ainda despejam mais da metade dos resíduos do país de forma inadequada e sem tratamento. Em função dessas regionalidades, a implantação de biodigestores deve ser considerada como alternativa capaz de viabilizar a implementação da meta de encerramento definitivo dos lixões no país.

Nos três casos estudados houve diminuição nas intensidades de emissões ao longo dos anos, tanto com relação ao crescimento do PIB como ao da população, sendo os melhores índices per capita em 2050 obtidos pelo Estado do RJ nos dois cenários de baixo carbono. O Brasil obteve em 2050 um índice considerado alto para uma média nacional, bem próximo ao da cidade do Rio de Janeiro.

Em razão do PIB, os melhores índices foram alcançados pela cidade do Rio de Janeiro e pelo Estado, ambos da ordem de 10% em relação aos índices em 2005. O Brasil alcançou um índice por PIB de pouco mais de 50% em relação a 2005. Considerando o atual cenário econômico nas três esferas estudadas, o presente estudo adotou estimativas de crescimento econômico menores para os próximos anos em comparação com anos mais adiante, considerando uma dificuldade inercial de retomada de crescimento. Dentre os estudos adotados como referência, o presente trabalho foi até mais pessimista quanto às taxas de crescimento da economia, buscando a construção de um cenário mais conservador, portanto com menor potencial de emissão de GEE.

Para a última década do período estudado, portanto de 2040 a 2050, foram adotadas as taxas mais otimistas para o crescimento do PIB, considerando o cenário propício à boa recuperação da economia do país. Ainda que possa parecer um critério otimista, no todo é ainda um cenário conservador, pois com baixas taxas de crescimento no início do período, menor será o PIB ao final.

Os resultados ainda mostraram que as metas de redução das emissões do Estado do RJ em relação ao PIB foram facilmente superadas no cenário tendencial, ou seja, sem

nenhum esforço adicional, ainda que notória a redução das emissões e os ganhos que o setor é capaz de proporcionar ao Estado.

Na Cidade do Rio de Janeiro, mesmo com os resíduos praticamente todos coletados e tratados em aterro sanitário, o setor ainda poderá reduzir emissões nas próximas décadas, com o encerramento dos antigos aterros controlados e coleta do biogás no aterro de Seropédica para beneficiamento. Porém será necessário um esforço adicional nos cenários de baixo carbono, sendo necessário migrar de tecnologia, imediatamente após sua vida útil.

Os cenários ainda mostraram que dados de 30 anos (Tier 2) foram suficientes para se estimar 98% das emissões durante o decaimento de primeira ordem do modelo do IPCC, não havendo risco de uma subestimação significativa das emissões por não se ter dados retrógrados de 50 anos, como sugere o modelo.

Foi possível confirmar a hipótese em relação aos benefícios ambientais e financeiros, com base nos resultados do estudo, ao se implementar as ações de ampliação do tratamento dos RSU contendo tecnologia de captura e beneficiamento de metano, como previsto nas políticas de mudanças climáticas e resíduos.

Portanto é possível afirmar que os aspectos negativos das mudanças climáticas podem proporcionar uma oportunidade para que países menos industrializados, como o Brasil, acelerem a expansão de sua infraestrutura de saneamento e tratamento de RSU e ainda reduzindo substancialmente as emissões dos gases de efeito estufa.

O objetivo central do presente estudo foi cumprido de forma satisfatória, tal como os objetivos meio, através da construção dos cenários, da quantificação das ações, das estimativas de redução das emissões, seus benefícios econômicos e ambientais.

Com os cenários construídos, foi possível analisar os potenciais de mitigação das emissões do tratamento de RSU no Brasil, no Estado e na cidade do Rio de Janeiro, face às ações e metas estabelecidas nas políticas públicas de mudanças do clima e resíduos, em especial a Política Nacional de Resíduos Sólidos e os Planos Nacional, Estadual e Municipal de Gerenciamento de RSU.

O levantamento das informações necessárias sobre população, economia, limpeza urbana, produção de resíduos, caracterização, formas de tratamento foi satisfatório, com dados atuais e robustos e fontes confiáveis. Com os dados dos cenários socioeconômicos foi possível comparar os resultados das intensidades de

emissões entre Brasil, Estado e Cidade do Rio de Janeiro, que mostrou comportamentos próximos ao longo dos anos.

As medidas de mitigação sugeridas nos cenários B e C dos três casos estudados se mostraram coerentes com a realidade atual assim como com as expectativas e limitações no setor de resíduos sólidos no país, ou seja, considerando o encerramento dos aterros sanitários nas próximas décadas, nas grandes aglomerações urbanas, e conseqüente substituição de tecnologia no decorrer do encerramento das suas vidas úteis.

O cálculo das emissões de GEE ao longo dos cenários tendenciais e de baixo carbono, nos três níveis de estudo, a partir de 2018 até 2050 possibilitou estimar os potenciais de redução dessas emissões para cada cenário proposto, assim como os respectivos benefícios ambientais e financeiros das ações de mitigação adotadas, como os potenciais de recuperação de metano e de receitas do mercado de carbono.

Recomendações sobre políticas públicas no setor e superação de barreiras para implementação das medidas de mitigação:

- Com relação às políticas voltadas ao setor, especificamente a PNRS, tendo em vista a existência de lixões em mais da metade dos municípios do país, sobretudo os menores e com menos recursos, sugere-se uma revisão abrangente que, dentre outras mudanças, indicam considerar ações mitigadoras relacionadas não somente do tratamento, mas à geração de resíduos, seja por internalização de custos ambientais, ainda não praticados, taxaço de carbono em produtos e serviços, mas sobretudo uma maior participação do poder público federal e dos Estados em apoio a esses municípios menores.
- A ausência de recursos para custear as mudanças previstas na lei é uma barreira difícil de superar em diversas regiões do país, principalmente nas pequenas e médias cidades. Por tal, é primordial o governo federal fornecer minimamente nos próximos anos instrumentos capazes de viabilizar a implementação da PNRS, que pode ser impulsionada com a criação de uma agência nacional de saneamento e com a utilização desses instrumentos de governança das políticas nacionais de resíduos para realizar um mapeamento sistêmico das barreiras e pontos de ação específicos para cada realidade distinta no país.
- A ampliação do tratamento de RSU em aterros sanitários somente deve ser estimulada com o beneficiamento do biometano, seja para geração de eletricidade ou

uso veicular, sendo necessário regulamentar o biometano como combustível pela ANP; elaborar guias para arranjos regulatórios e comerciais locais, por parcerias público-privadas ou consórcios e promover conhecimento e capacitação em níveis local e regional.

- Para superar as barreiras para ampliação do tratamento por biodigestão, os instrumentos devem: promover investimentos em projetos pilotos, utilizando a estrutura inicial dos próprios aterros; desenvolver uma plataforma para veículos a biometano, flex ou híbridos; definir metas de uso em níveis descentralizados com base no mapeamento sistêmico; criar estruturas de financiamento para triagem e separação dos RSU, da origem à instalação de centrais mecanizadas e usinas de biodigestão com beneficiamento do biometano.
- Para promover o tratamento térmico dos RSU com geração de eletricidade em usinas “waste-to-energy”, devem ser criadas estruturas de financiamento, através de fundos dedicados, bônus verdes, fundos climáticos e de desenvolvimento tecnológico ou mesmo linhas de crédito específicas; angariar recursos internacionais via Fundo Clima; e possibilitar um custo de geração da energia competitivo para comercialização.
- Essas ações de superação devem considerar a implantação o engajamento de organizações nacionais de pesquisa e desenvolvimento e a utilização da rede de pesquisa já estabelecida, além ainda de se buscar parcerias e acordos com agentes privados.
- Nos desdobramentos da Convenção do Clima, a partir de 2020 se espera que o novo acordo global para redução de emissões exigirá taxaço de carbono, dentre outras medidas econômicas. Portanto, é recomendável que sejam estabelecidas ações com metas específicas ao setor de resíduos e respectivos incentivos à adoção de práticas que almejem essas metas, inclusive isenções para importação de tecnologias mais avançadas e desonerações em equipamentos que exijam maiores investimentos iniciais.
- Tendo em vista a próxima reforma tributária, o governo brasileiro poderia incorporar, a exemplo do que já ocorre na Colômbia, um sistema de taxaço para empresas que emitem acima de um limite determinado, porém com a possibilidade de se pagar as multas com créditos de carbono, dessa forma incentivando o mercado de carbono no país e viabilizando a implementação de novos projetos.

- Com relação aos planos de gestão integrada apoiados pelo MMA e respectivas políticas de resíduos sólidos, Estado e Cidade do Rio de Janeiro precisam realizar maiores estudos a fim de estabelecer ações e metas de cumprimento mais realísticas, visto que enquanto algumas podem ser alcançadas sem maiores esforços, outras são inviáveis mesmo no longo prazo.
- A Política Estadual de Resíduos promoveu o encerramento dos lixões no Estado do Rio de Janeiro, em cumprimento à PNRS, ainda que com dificuldade nos municípios do norte e noroeste fluminense. As receitas obtidas nos cenários de baixo carbono devem ser direcionadas aos investimentos na gestão de resíduos nesses municípios, mais desprovidos de recursos.
- Analogamente, convém que o PMGIRS e a Política de Mudança do Clima do município do Rio de Janeiro sejam reavaliados e as metas ajustadas quanto aos prazos previstos até 2020, que certamente não devem ser cumpridos. A política deve prever novas metas de redução de emissões com prazos pós 2020, pois os resultados mostram que através com o cumprimento das metas do clima será possível alcançar os objetivos do plano de resíduos.
- Considerando que a cidade do Rio de Janeiro deve contar em breve com uma usina de biodigestão de modo otimizar a produção de metano e ampliar a vida útil do aterro de Seropédica, a prefeitura, poderia dar exemplo ao poder público com a utilização do biometano em sua própria frota.
- Para viabilizar a usina térmica no Caju, deveria ser desenvolvido um consorcio tecnológico para, paralelamente à incineração, biodigerir a fração orgânica do lixo com o esgoto que chega à ETE alegria, para o qual seria instalado um sistema de trituração do lixo orgânico, que disponibilizaria gás passível de uso veicular, cuja remuneração é maior que da eletricidade, potencializando incinerar ainda mais resíduos.
- Ainda que a limpeza pública e o tratamento e destinação final dos RSU sejam prerrogativas legais de prefeituras, é necessário engajamento e participação ativa dos governos federal e estaduais, a exemplo do que ocorre no Estado do Rio de Janeiro, onde sua política de resíduos praticamente erradicou os lixões de todo território estadual nos últimos anos e transformou o passivo ambiental em ativo energético, que pode servir de benchmarking para outros estados brasileiros.

Por fim, a partir das limitações encontradas no desenvolvimento do presente trabalho e potenciais impactos positivos indiretos não considerados ou de difícil

quantificação, resultantes das ações de mitigação, são sugeridos alguns estudos para continuidade da pesquisa e superação de possíveis incertezas:

- Sugere-se a realização de pesquisas de campo mais amplas, em aterros de diferentes localidades do Brasil, acerca do conteúdo orgânico do lixo. Como estudo de caso, a realização de ensaios mais aprofundados em diferentes células do aterro de Gramacho a fim de se verificar o porquê dos resultados obtidos da coleta de biogás estarem bem aquém do previsto nos modelos teóricos.
- As dificuldades para obtenção de dados em comunidades carentes tornou a premissa de descarte inadequado zero do lixo urbano questionável. Nesse sentido sugere-se estudo sobre o gerenciamento dos RSU no interior de favelas em diferentes regiões metropolitanas do país, a exemplo do estudo do Diagnóstico de Resíduos realizado para a cidade do Rio de Janeiro, de modo caracterizar e mapear as rotas de escoamento do lixo em comunidades.
- Num próximo estudo sobre cenários de baixo carbono, sugere-se avaliar a possibilidade de incluir como uma das medidas de mitigação o co-processamento de resíduos em cimenteiras.
- Considerando que não foram incluídos no presente estudo os custos dos serviços de coleta e despesas de consumo de energia no tratamento dos resíduos, sugere-se um estudo de balanço financeiro dos ganhos, ou seja, considerando os custos da produção da eletricidade, do beneficiamento do metano, considerando a elasticidade de preço, a divisão de mercado (“market share”) e outros co-produtos.
- De 2040 a 2050, há um desafio metodológico em relação à evolução dos bens de consumo, o que sugere se avaliar as tendências na evolução dos produtos e padrões de consumo, considerando também em cada cenário novas possibilidades tecnológicas para tratamento dos resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002a, 24 p.

_____. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004a, 71 p.

_____. **NBR 10006**: procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b, 3 p.

_____. **NBR 10007**: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c, 21 p.

AMADOR, Elmo da Silva. **Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos: homem e natureza**. Rio de Janeiro: E. S. Amador, 1997. 539 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo, SP: set. 2018, 73 p.

AUSTRALIA BUREAU OF STATISTICS. **Australian Historical Population Statistics**. Canberra, 2008. Disponível em: <<http://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/DetailsPage/3105.0.65.0012008?OpenDocument>>. Acesso em: 16 dez. 2012.

BANCO CENTRAL DO BRASIL - BACEN. **Cotação de moedas**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/cotacoesmoedas>>. Acesso em: 24 jun. 2019a.

_____. **Calculadora do cidadão. Correção de valores**. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAOPublico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores&aba=1>>. Acesso em: 24 jun. 2019b.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014. ISBN 978-85-60917-36-5.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 2 set. 1981.

_____. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 13 fev. 1998.

_____. Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009. Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 10 dez. 2009a.

_____. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 30 dez. 2009b.

_____. Portaria Interministerial MCTI/MMA nº 356, de 25 de setembro de 2009. Institui o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 28 set. 2009c. Seção I, p. 133.

_____. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 3 ago. 2010a.

_____. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 23 dez. 2010b.

CAMARANO, Ana Amélia, KANSO, Solange; BELTRÃO, Kaizô Iwakami; SUGAHARA, Sonoe. **Coleção Estudos Cariocas: Tendências Demográficas do Município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: IPP/PCRJ. n. 20040301, mar. 2004. ISSN 1984-7203.

CARVALHO, M. F. **Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos**. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

CARVALHO, Márcia da Silva; ROSA, Luiz Pinguelli; BUFONI, André Luiz; OLIVEIRA, Luciano Basto. Putting solid household waste to sustainable use: a case study in the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Waste Management & Research**, London, v. 30, n. 12, p. 1312-1319, 29 nov. 2012.

CENTRO ESTADUAL DE ESTATÍSTICAS, PESQUISAS E FORMAÇÃO DE SERVIDORES PÚBLICOS DO RIO DE JANEIRO. **PIB Estadual e Municipal 2002-2017**. Centro de Estatísticas, Estudos e Pesquisas - CEPERJ. Disponível em: <http://arquivos.proderj.rj.gov.br/sefaz_ceperj_imagens/Arquivos_Ceperj/ceep/dados-economicos/PIB-Estadual-Municipal/Tabelas/PIB_Estadual_2002_2016.xls>. Acesso em: 04 mar. 2019.

CHRISTENSEN, Thomas H.; KJELDSEN, Peter. Basic Biochemical Processes in Landfills. In: CHRISTENSEN, Thomas H.; COSSU, Raffaello; STEGMANN, Rainer. **Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact**. London: Academic Press Limited, 1989. p. 29-50. ISBN 0-2-174255.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – Relatório de 2018**. São Paulo: CETESB/SEMA, 2019.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA. **Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos domiciliares do município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Comlurb/PCRJ, 2009.

_____. **Meio Ambiente: série histórica**. Rio de Janeiro: Comlurb/PCRJ, 2011. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/comlurb>>. Acesso em: 16 mar. 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Nota Técnica DEA 16/14. [Tolmasquim, M. T.; Guerreiro, A.; Oliveira, R. G.; Oliveira, L. B.; Oliveira, L. G. S.; Osório, ALR; Andrade, GN]. Série Recursos Energéticos. Rio de Janeiro, RJ: EPE, out. 2014a.

_____. **Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Nota Técnica DEA 18/2014. Série Recursos Energéticos. [Tolmasquim, M. T.; Guerreiro, A.; Oliveira, R. G.; Oliveira, L. B.; Oliveira, L. G. S.]. Rio de Janeiro, RJ: EPE, out. 2014b.

_____. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018: Ano Base 2017**. Ministério das Minas e Energia - Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2018a. Out. 292 p.

_____. **Balço Energético Nacional 2018: Ano base 2017** / Ministério das Minas e Energia - Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2018b. 292 p.

_____. **Estudo sobre a economicidade do aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos em aterro para produção de biometano.** Nota Técnica DEA 019/2018. [Ferreira, T. V. B.; Soares, J. B.; Moro, D. S.; Andrade, G. N.; Oliveira, L. B.]. Rio de Janeiro, RJ: EPE, ago. 2018c. 20 p.

_____. **Cenários Econômicos para o PNE 2050. Relatório Parcial 1.** [MATSUMURA, E. H.; FERREIRA, T. V. B.; ANDRADE, G. N.; SOARES, J. B.; GOMES, A. M.; OLIVEIRA, I. A.; MELLO, J. M. S.; MODESTO, L. A.]. Ministério das Minas e Energia - Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, dez. 2018d.

ENGELHARDT, A. **Sugestões para o uso posterior do aterro metropolitano de Jardim Gramacho em Duque de Caxias.** Dissertação (Mestrado) - Landbau/Landespflege, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, 2005

ÉPOCA. **Brasil começará a produzir energia a partir de lixo e esgoto.** Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Brasil/noticia/2019/03/brasil-comecara-produzir-energia-partir-de-lixo-e-esgoto.html>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

EUROPEAN COMMISSION. **Sustainable development indicators - Theme 6: Climate Change and Energy.** Brussels: Eurostat, 2013. Disponível em: <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/sdi/indicators/theme6>>. Acesso em: 24 fev. 2013.

_____. **Municipal waste by waste management operations.** Brussels: Eurostat, 2019. Disponível em: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en>. Acesso em: 23 maio 2019.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2010 and inventory report 2012.** Brussels: EEA/European Commission/DG Climate Action, technical report n. 3, 2012. 1.068 p.

EUROPEAN INVESTMENT BANK. **Carbon Fund, Procurement Programmes.** Frankfurt, 2019. Disponível em: <<https://www.kfw-entwicklungsbank.de/Internationale-Finanzierung/KfW-Entwicklungsbank/>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

FARIA, Flávia dos Santos. 2002, **Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos Urbanos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2002. 355 p.

FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇA DO CLIMA. **Proposta Inicial de Implementação da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil (NDC)**. Brasília, DF: FBMC. Maio 2018. 60 p.

FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL – FMI. World Economic Outlook Database. International Monetary Fund. Disponível em: <<https://www.imf.org/en/Data>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GLAZE, William. H. Too little data, too many models. **Environmental Science & Technology**. Washington, DC: ACS Publications, v. 32, n. 9, p. 207A-207A, maio 1998.

GOUVELLO, Christophe de; SOARES FILHO, Britaldo S.; SCHAEFFER, Roberto; NASSAR, André; ALVES, Fuad Jorge; ALVES, João Wagner Silva. **Brazil Low-Carbon Country Case Study**. Washington, DC: The World Bank, Energy Sector Management Assistance Program, 2010. 280 p.

GUEDES, V. P. **Estudo do fluxo de gases através do solo de cobertura de aterro de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

HAMRICK, K.; GALLANT, M. **Voluntary Carbon Markets Insights: 2018 Outlook and First Quarter Trends**. Ecosystem Marketplace. Ago. 2018

INSTITUTO AKATU. **Consumo consciente para um futuro sustentável**. 2011. Disponível em: <<http://www.akatu.org.br/Publicacoes>>. Acesso em: 8 abr. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010. ISBN 978-85-240-4135-8. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 ago. 2010.

_____. Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação. **Rio de Janeiro - População**. 2018a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/panorama>>. Acesso em: 28 de ago. 2018.

_____. Contas Regionais do Brasil. **PIB a preços correntes**. 2018b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/pesquisa/10060/60147?tipo=grafico>>. Acesso em: 28 de ago. 2018.

_____. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2016**. Contas Nacionais, n. 65. Brasília, DF: IBGE, 2018c. 16 p. ISSN 1415-9813

_____. **Estimativas da População: 2018**. Estatísticas. Sociais. População. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 13 mar. 2019a.

_____. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**: Características gerais dos domicílios e dos moradores 2018. IBGE, 2019b. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101654_informativo.pdf>. Acesso em 01 abr. 2019b. ISBN 978-85-240-4491-5

INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS, **PIB Municipal: Conceituação, metodologia e análise para a Cidade do Rio de Janeiro**. Ed. Santiago, Gilda. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2008a.

_____. **Indústria na cidade do Rio de Janeiro: estrutura e conjuntura recente**. Ed. Medeiros Júnior, H. D.; Medina, M. A. H. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2008b.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Emissions Scenarios: Summary for Policymakers**. A Special Report of IPCC Working Group III. Geneva: IPCC, 2000. 20 p. ISBN: 92-9169-113-5.

_____. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme; Eggleston H.S.; Buendia L.; Miwa K.; Ngara T.; Tanabe K. (eds). Hayama, Japan: IGES, 2006. ISBN 4-88788-032-4.

_____. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007a.

_____. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. **Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M.

Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.

_____. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. **Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2014.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR LOCAL ENVIRONMENTAL INITIATIVES. **The carbon cities climate registry**. ICLEI, 2012 Disponível em: <[http://www.iclei.org/en/search/details.html?tx_ttnews\[tt_news\]=3133](http://www.iclei.org/en/search/details.html?tx_ttnews[tt_news]=3133)>. Acesso: 16 dez. 2012.

INVESTING. **Crédito Carbono Futuros - Dez 19 (CFI2Z9)**. Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions-streaming-chart>>. Acesso em 01 jun. 2019.

JUCÁ, J. F. T. Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 6., 2007, Recife. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2007.

KAIMOTO, L. S. A.; CEPOLLINA, M. Considerações sobre alguns condicionantes e critérios geotécnicos de projetos executivos de aterros sanitários. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 1996, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 1996. p. 51-54.

LINS, Marcos Estellita; OLIVEIRA, Luciano Basto; SILVA, Angela Cristina Moreira da; ROSA, Luiz Pinguelli; PEREIRA JÚNIOR, Amaro Olimpio. Performance assessment of Alternative Energy Resources in Brazilian power sector using Data Envelopment Analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Oxford, UK, v. 16, n. 1, p. 898-903, jan. 2012. ISSN 1364-0321.

LOUREIRO, Saulo Machado. **Índice de Qualidade no Sistema da Gestão Ambiental em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos – IQS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

LOUREIRO, Saulo Machado; ROVERE, Emilio Lèbre La; MAHLER, Cláudio Fernando. Potencial de Geração e de Emissões Evitadas de Gases de Efeito Estufa de Resíduos

Sólidos Urbanos na Cidade do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 12. 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, v. II, 2008. p. 765-781.

LOUREIRO, Saulo Machado; ROVERE, Emilio Lèbre La; MAHLER, Cláudio Fernando. Analysis of potential for reducing emissions of greenhouse gases in municipal solid waste in Brazil, in the State and City of Rio de Janeiro. **International Journal of Integrated Waste Management, Science & Technology**. Oxford, UK, v. 33, n. 5, p. 1302-1312, mar. 2013. ISSN 0956-053X.

LUA, D. US\$50 milhões jogados no lixo. Das quinze usinas de reciclagem construídas no Estado, onze não funcionam e viraram carcaças de cimento e metal. **Revista Jornal do Brasil**. Ed. Cidade. Rio de Janeiro, 1ª ed., p. 81, dez. 1999.

MAGRINI, Alessandra. Política e Gestão Ambiental: Conceitos e Instrumentos. **Revista Brasileira de Energia**. Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 135-147, jun. 2001.

MAHLER, Cláudio Fernando. F. Lixo: as alternativas para transformá-lo em fonte de renda e emprego. **Revista CREA-RJ**, n. 33, p. 10-13, jan./fev. 2001.

MAHLER, C. F.; ITURRI, E. A. Z. The Finite Element Method Applied to the Study of Solid Waste Landfills. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL GEOTECHNICS, 3., 1998, Lisbon, Portugal. **Proceedings...** Lisbon, 1998, p. 89-94.

MAHLER, Cláudio Fernando; SCHUELER, Adriana Soares; LOUREIRO, Saulo Machado; ROVERE, Emilio Lèbre La. Value Analysis and Fuzzy Logic Applied to the Study of Waste Energy Use. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY FROM BIOMASS AND WASTE, 3., 2010, Venice, Italy. **Proceedings...** Padova, nov. 2010.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. **Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, DF: MCTI, Relatórios técnicos de referência, 2004.

_____. **2º Inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa não controlados pelo protocolo de Montreal**. Ed. Alves, J. W. S.; Vieira, S. M. M. São Paulo: Cetesb, 2010.

_____. **3ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume III**. Secretaria de Políticas e Programas

de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação - MCTIC, 2016. 336 p. ISBN: 978-85-88063-19-8

_____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de gestão de resíduos. [organizador: Régis Rathmann]. In: **Opções de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em setores-chave do Brasil**. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017. 278 p. ISBN: 978-85-88063-37-2.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Decreto nº 5.025, de 30 de março de 2004. Regulamenta o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 31 mar. 2004. Seção 1, v. 141, n. 62, p. 1.

_____. **Plano Nacional de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia: Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, DF: MME: EPE, 12 v. 2007.

_____. Portaria nº 65, de 27 de fevereiro de 2018. Estabelece novos Valores Anuais de Referência Específicos - VRES, para os Sistemas de Geração Distribuída. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 28 fev. 2018, seção 1, v. 155, n. 40, p. 93.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução Conama nº 5, de 5 de agosto de 1993. Define normas mínimas para tratamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos e aeroportos, bem como a necessidade de estender tais exigências aos terminais ferroviários e rodoviários. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 31 ago. 1993. Seção 1, n. 166, p. 12996-12998.

_____. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima**. Ministério do Meio Ambiente. 2016. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL%20iNDC%20portugues%20FIN AL.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL%20iNDC%20portugues%20FINAL.pdf)>. Acesso em: 01 jan. 2018.

MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS AND MINISTRY OF SCIENCE, TECHNOLOGY, INNOVATIONS AND COMMUNICATIONS. **Brazil's third Biennial Update Report to the United Nations Framework Convention On Climate Change**. Brasília, DF: MRE e MCTIC, 2019. 88 p.

MONTEIRO, Alessandra Elias. **Índice de Qualidade em Aterros de Resíduos Sólidos Industriais – IQRI**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

OLIVEIRA, Luciano Basto; ROSA, Luiz Pinguelli. Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits. **Energy Policy**. Oxford, v. 31, n. 14, nov. 2003. p. 1481-1491.

OLIVEIRA, Luciano Basto. **Potencial de Aproveitamento Energético de Lixo e Biodiesel de Insumos Residuais no Brasil**. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A. Avaliação de parâmetros indicadores de poluição por efluente líquido em um aterro sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 9, n. 3 (jul./set.), p. 240-249, 2004.

OLIVEIRA, Fabrício Leal de; CAVALLIERI, Fernando. **Coleção Estudos Cariocas: Novas estimativas do IBGE para a população do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: IPP/PCRJ. n. 20081201, dez. 2008. ISSN 1984-7203.

OLIVEIRA, Luciano Basto; ARAUJO, Maria Silvia Muylaert de; ROSA, Luiz Pinguelli; BARATA, Martha; ROVERE, Emilio Lèbre La. Analysis of the sustainability of using wastes in the Brazilian power industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Oxford, v. 12, n. 3, apr. 2008. p. 883-890.

OLIVEIRA, Luciano Basto; HENRIQUES, Rachel Martins; PEREIRA JÚNIOR, Amaro Olimpio. Use of wastes as option for the mitigation of CO₂ emissions in the Brazilian power sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Oxford, v. 14, n. 9, dec. 2010. p. 3247-3251.

ORGANIZATION OF THE PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES – OPEC. Feature article: Crude and product price movements. **OPEC Monthly Oil Market Report**. Vienna, Austria, 102 p, 13 aug. 2018.

PIRES, Adriano Borges. **Análise da Viabilidade Econômica de um Sistema de Compostagem Acelerada para Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura/UPF, Passo Fundo, RS, 2011.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Emprego, desenvolvimento humano e trabalho decente: a experiência brasileira recente**. Brasília, DF: CEPAL/PNUD/OIT, 2008. 176 p.

_____. **Tabelas de ranking do IDH-M**, 2010. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/atlas/tabelas/index.php>>. Acesso em: 19 abr. 2010.

RIO DE JANEIRO (Cidade). Lei nº 5.248, de 27 de janeiro de 2011. Institui a Política Municipal sobre Mudança do Clima e Desenvolvimento Sustentável, dispõe sobre o estabelecimento de metas de redução de emissões antrópicas de gases de efeito estufa para o Município do Rio de Janeiro e dá outras providências. **Diário Oficial do Município**, Rio de Janeiro, 28 jan. 2011.

RIO DE JANEIRO (Estado). Lei nº 4191, de 30 de setembro de 2003. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado – P. II**, Rio de Janeiro, 2 out. 2003.

_____. Decreto nº 40.780, de 23 de maio de 2007. Institui o Fórum Rio de Mudanças Climáticas Globais. **Diário Oficial do Estado**, Rio de Janeiro, 23 maio 2007.

_____. Lei nº 5.690, de 14 de abril de 2010. Institui a Política Estadual sobre Mudança Global do Clima e Desenvolvimento Sustentável e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Rio de Janeiro, 4 maio 2010.

_____. Decreto nº 42.930, de 18 de abril de 2011. Cria o Programa Estadual Pacto pelo Saneamento. **Diário Oficial do Estado**, Rio de Janeiro, 19 abr. 2011.

RODRIGUES, Renan. Com dívida de R\$ 72 milhões, concessionária reduz transporte de lixo do Rio para aterro. **O Globo on line**. Rio de Janeiro, 01 abr. 2019. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/com-divida-de-72-milhoes-concessionaria-reduz-transporte-de-lixo-do-rio-para-aterro-23564988>>. Acesso em: 01 abr. 2019.

ROMER, D. **Advanced Macroeconomics**. New York: McGraw-Hill, 1996. p. 5-25. ISBN 0-07-053667-8.

ROVERE, Emilio Lèbre La; DUBEUX, Carolina Burle Schmidt; MATTOS, Laura Bedeschi Rego de; RIBEIRO, Leonardo da Silva; OLIVEIRA, Luciano Basto; AQUINO, Luiz Carlos Sérvulo; BUZZATTI, Marcelo Golin; RIBEIRO, Suzana Kahn. **Inventário de emissões de gases do efeito estufa da cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Fundação Coppetec, 2000. 104 p.

ROVERE, Emilio Lèbre La; DUBEUX, Carolina Burle Schmidt; COSTA, Ângela Oliveira; SIMÕES, André Felipe; PIMENTEIRA, Cícero Augusto; FRANGETTO, Flávia; MENDES, Francisco Eduardo; MONTEIRO, Joyce Maria Guimarães; SZWARCFITER, Lila; OLIVEIRA, Luciano Basto; BAPTISTA, Norma do Nascimento; RIBEIRO, Suzana Kahn. **Inventário de emissões de gases do efeito estufa do município de São Paulo - Relatório nº 3**. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/UFRJ, 2006a. 137 p.

ROVERE, Emilio Lèbre La; PEREIRA JÚNIOR, Amaro Olimpio; AVZARADEL, Ana Carolina; SIMÕES, André Felipe; DUBEUX, Carolina Burle Schmidt; MARIANO, Jacqueline Barbosa; SOARES, Jeferson Borghetti; COSTA, Ricardo Cunha da; WILLS, William. **Greenhouse Gas Mitigation in Brazil: Scenarios and Opportunities through 2025**. Washington, DC, USA: Center for Clean Air Office, nov. 2006c. 327 p.

ROVERE, Emilio Lèbre La; DUBEUX, Carolina Burle Schmidt; COSTA, Ângela Oliveira; OLIVEIRA, Luciano Basto; BUZZATTI, Marcelo Golin; PORTO, Paulina; ROSA, Tereza da Silva; WILLS, Willian; COSTA, Claudia do Valle; AQUINO, Luiz Carlos Sérvulo; REAL, Márcia Valle. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/LIMA, 2007. 304 p.

ROVERE, Emilio Lèbre La; D'AVIGNON, Alexandre Louis; DUBEUX, Carolina Burle Schmidt; COSTA, Claudia do Valle; BUZZATTI, Marcelo Golin; WILLS, Willian; PORTO, Paulina; MEDEIROS, Anamélia; RIBAS, Rodrigo; LOUREIRO, Saulo Machado; CARLONI, Flávia Beatriz. **Inventário de emissões de gases de efeito-estufa no Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/UFRJ, 2008. 252 p.

ROVERE, Emilio Lèbre La; DUBEUX, Carolina Burle Schmidt; PEREIRA JÚNIOR, Amaro Olimpio; MEDEIROS, Anamélia; CARLONI, Flávia Beatriz; TURANO, Patrícia; SOLARI, Renzo; WILLS, Willian; HASHIMURA, Luís; BURGI, Adriano Salvi; FIORINI, Ana Carolina. **Cenários de Evolução das Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/UFRJ, 2011a. 102 p.

ROVERE, E. L. L.; COSTA, C.; CARLONI, F.; BUZZATTI, M.; PORTO, P.; SOLARI, R.; LOUREIRO, S. M.; WILLS, W. **Inventário e cenário de emissões dos gases de efeito estufa da cidade do Rio de Janeiro 2005**. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/UFRJ, mar. 2011b.

ROVERE, E. L. L.; DUBEUX, C. B. S.; HASHIMURA, L.; BUZZATTI, M.; ARAGÃO, R.; PEREIRA, A. O.; CARLONI, F.; NINÔ, P.; SOLARI, R.; LOUREIRO, S. M.; WILLS, W. **Avaliação dos Impactos de Cenários das Políticas de Mitigação das Mudanças Climáticas no Setor de Petróleo e Gás no Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente – LIMA/PPE/COPPE/UFRJ, dez. 2011c. 467 p.

ROVERE, E. L. L.; CARLONI, F. B.; NADAUD, G.; MALAGUTI, G.; CARVALHO, P. T.; ARAGÃO, R.; SOLARI, R.; LOUREIRO, S. M.; BREDARIOL, T. **Inventário das emissões de gases de efeito estufa da cidade do Rio de Janeiro e atualização do plano de ação municipal para redução das emissões - 2012**. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/UFRJ, mar. 2015a. 234 p.

ROVERE, E. L. L.; OLIVEIRA, L. B.; LOUREIRO, S. M.; FERREIRA, A. R. L.; SILVA NETTO, A.; NITZSCHE, A. P. I. M. A.; COLLING, A. V.; DANTAS, B. F.; COHEN, C.; ALVES, I. R. F. S.; PEDROSO, L. R. M.; PEDREIRA, N. M. S.; REIS FILHO, N. R.; ARAGÃO, R.; MEIRA, T. B.; BARROSO, S. E. G.; FONSECA, Z. **Diagnóstico Preliminar de Resíduos Sólidos da Cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/UFRJ, nov. 2015b.

ROVERE, E. L. L.; WILLS, W.; PEREIRA JR, A. O.; DUBEUX, C. B. S.; CUNHA, S. H. F.; OLIVEIRA, B. C. P.; MOREIRA, M.M.R.; WATANABE, S.; LOUREIRO, S. M.; GROTTERRA, C.; HARFUCH, L.; WEISS, M.; SANTOS, L. A. S.; CARVALHO, P.T.; KISHINAMI, R.; ZVEIBIL, V.; SANTOS, L.; ELY, R. N.; MOREIRA, L. S. S.C.; KIMURA, W.; SANTOS, T.; TONI, A.; LEFREVRE, J.; BACHION, L. C.; LIMA, R.; ZAMBIANCO, W.; NASSAR, A.; WALTER, M. K. C; ZICARELLI, I.; e OLIVEIRA, L. D. B. **Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030**. In: Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2016a.

ROVERE, E. L. L.; LOUREIRO, S. M.; OLIVEIRA, L. B.; ROCHA, M. B. **Avaliação da Robustez da Projeção de Produção de Biogás no Aterro Sanitário Metropolitano de Jardim Gramacho**. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/UFRJ, nov. 2016b. 33 p.

ROVERE, E. L. L.; DUBEUX, C. B. S.; WILLS, W.; LEFÈVRE, J.; GROTTERRA, C.; WALTER, M. K. C.; MÉNDEZ, A. M. R.; ZICARELLI, I. F.; PEREIRA JUNIOR, A. O.; CUNHA, S. H. F.; CASTRO, G.; ABREU, M. W.; SANTOS, F. S. C. B.; LOUREIRO, S. M.; D'AGOSTO, M. A.; GONÇALVEZ, D. N. S.; OLIVEIRA, L. D. B.; GESTEIRA, C.; OBERLING, D. **Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050: Implicações**

Econômicas e Sociais. In: Projeto Projeto IES-Brasil 2050. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/UFRJ, 2017a.

ROVERE, E. L. L.; DUBEUX, C. B. S.; WILLS, W.; LOUREIRO, S. M.; SANTOS, M. M. O.; WALTER, M. K. C.; SILVA, G. L.; ZICARELLI, I. F.; PIMENTA, T.; WESTIN, T. C. G.; SOARES I. M. M.; OBERLING, D. **Atualização do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Rio de Janeiro para o ano de 2015.** Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/UFRJ, jun. 2017b.

ROVERE, E. L. L.; DUBEUX, C. B. S.; WILLS, W.; D'AGOSTO, M. A.; GONÇALVES, D. N. S.; GOES, G. V.; HEBEDA, O.; PEREIRA JUNIOR, A. O.; CASTRO, G.; HARGRAVES, F.; WALTER, M. K. C.; LOUREIRO, S. M.; PIMENTA, T.; GESTEIRA, C.; MENDES, I. **GHG emissions in Brazil up to 2030 under current mitigation policies.** In: ICAT Brazil Project, CBC - Centro Brasil no Clima. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/UFRJ, 2018.

RUSSIAN FEDERAL STATE STATISTICS SERVICE. Disponível em: <http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/en/figures/population>. Acesso em: 16 dez. 2012.

SANTOS, L. **Financiamento climático e precificação de carbono no Brasil: análises e perspectivas.** FGV Energia. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas. Out. 2018.

SARKIS, Nicolas. Cronologia da OPEP. **Le Monde Diplomatique:** Biblioteca Diplô. Ed. Brasileira, maio 2006.

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Matriz Energética do Estado do Rio de Janeiro 2008 - 2020.** Rio de Janeiro: Instituto de Energia/PUC-RJ, 2008. 125 p.

SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro: Relatório Síntese - 2013.** Rio de Janeiro: SEA-RJ, 2013. 140 p.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade do Rio de Janeiro - PMGIRS.** [Ferreira, C.F.; Machado Junior, N.; Sant'Anna, E.M.; Salim, J.C.; Jardim, P.R.N.; Penido, J.H.; Brito J.C.X.; Sena, R.; Wanderley, M.; Menhem, R.T.F.]. Rio de Janeiro, RJ: Coordenadoria de Resíduos Sólidos, SMAC, dez. 2015. 71 p.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p. S586m.

SILVEIRA, A. M. M. **Estudo do peso específico de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE/UFRJ, 2004, 112 p.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2017 (versão republicada)**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional - Secretaria Nacional de Saneamento, maio 2019. 194 p.

STATISTICS BUREAU OF JAPAN. Disponível em: <<http://www.stat.go.jp/english/data/kokusei/index.htm>>. Acesso em: 16 dez. 2012.

STATISTICS CANADA. Disponível em: <<http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/dp-pd/hlt-fst/pd-pl/index-eng.cfm>>. Acesso em: 16 dez. 2012.

STATISTICS NEW ZEALAND. Disponível em: <http://www.stats.govt.nz/browse_for_stats/population/estimates_and_projections/pop-indicators.aspx>. Acesso em: 16 dez. 2012.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **National Inventory Submissions 2012**. Disponível em: <http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/6598.php>. Acesso em: 16 dez. 2012.

_____. **National Inventory Submissions 2013**. Disponível em: <http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/7383.php>. Acesso em: 11 fev. 2013.

UNITED STATES CENSUS BUREAU. Disponível em: <<http://www.census.gov/popest>>. Acesso em: 16 dez. 2012.

US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **International Energy Statistics 2018**. Disponível em: <<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=5&pid=53&aid=1&cid=regions,&syid=2008&eyid=2012&unit=TBPD>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

VILLAÇA, Flávio. **Princípios para a redação de uma dissertação ou tese**. São Paulo: FAU/USP, dez. 2004.

WORLD BANK. **What a Waste: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Ed. Kaza, Silpa; Yao, Lisa; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, Frank. Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development. 2018. ISBN (electronic): 978-1-4648-1347-4

WTRG ECONOMICS. **Crude Oil Prices 2010 Dollars – 1947 to october 2011**. Disponível em: <http://www.wtrg.com/oil_graphs/oilprice1970.gif>. Acesso em: 28 abr. 2019.

YIN, Robert K. **Estudo de caso – planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICE A – Método de cálculo utilizado

A.1 Emissões do tratamento de resíduos por aterramento

Assumindo-se que o CO₂ emitido pela decomposição dos resíduos sólidos, por ser de origem biogênica, não causaria impacto no clima, pois se considera que o mesmo havia sido sequestrado para a produção da presente safra agrícola, apenas são contabilizadas as emissões do CH₄. Para se estimar essas emissões, usar-se-á a equação básica (Equação 1) para o decaimento de primeira ordem seguinte:

$$DDOCm = DDOCm(0) \times e^{-kt} \quad \text{(Equação 2)}$$

onde:

DDOC é o carbono orgânico degradável que se decompõe (em condições anaeróbias);

DDOCm é a massa de DDOC a qualquer tempo;

DDOCm(0) é a massa de DDOC no início da reação, quando $t = 0$ e, portanto, $e^{-kt} = 1$;

k é a constante de reação = $\ln(2) / t_{1/2} (y^{-1})$, sendo:

- $t_{1/2}$ = meia vida (y);
- y = years (em português, anos);
- t é o tempo em anos.

Da Equação 1 é possível perceber que ao final do ano 1 (indo do ponto 0 ao ponto 1 no eixo do tempo) a massa de DDOC deixada não decomposta nos aterros será:

$$DDOCm(1) = DDOCm(0) \times e^{-k} \quad \text{(Equação 3)}$$

e a massa de DDOC decomposta entre CH₄ e CO₂ será:

$$DDOCm_{decomp}(1) = DDOCm(0) \times (1 - e^{-k}) \quad \text{(Equação 4)}$$

onde:

DDOCm_{decomp}(1) é a massa total de DDOC decomposta no ano 1;

k é a razão da constante de reação.

Em uma reação de primeira ordem, o total do produto (aqui o DDOCm decomposto) é sempre proporcional à quantidade de reagente (aqui o DDOCm). Isto significa que independe de quando o DDOCm foi depositado e que quando o total de

DDOC_m acumulado no aterro mais o depósito do último ano são conhecidos, a produção de CH₄ poderá ser calculada como se cada ano fosse o ano um na série de tempo. Desta forma, todos os cálculos poderão ser feitos pelas Equações 2 e 3.

A premissa básica parte do princípio que a geração de CH₄ de toda massa de resíduo depositado a cada ano começará em 1º de janeiro do ano seguinte. Isto é o mesmo que uma média de seis meses de defasagem até que a geração substancial de CH₄ comece (o tempo que leva para a condição anaeróbia se tornar bem estabelecida), portanto, usar-se-á a Equação 4 para o cálculo da massa de DOC degradável (DDOC_m) de uma quantidade de lixo (W):

$$DDOC_{m_d}(T) = W(T) \times DOC \times DOC_f \times MCF \quad \text{(Equação 5)}$$

onde:

T é o ano do inventário;

DDOC_m(T) é a massa de DDOC depositada no ano T;

W(T) é o total do lixo depositado no ano T;

DOC é o carbono orgânico degradável (sob condições anaeróbias);

DOC_f é a fração de DOC que se decompõe sob condições anaeróbias;

MCF é o fator de correção de metano.

O DOC (Carbono Organicamente Degradável) refere-se ao teor de carbono de cada componente do lixo que degrada, como papéis e papelões, folhas, madeiras e matéria orgânica total. Devido à falta de um padrão nacional para o fator correspondente à participação percentual do peso úmido de cada componente do resíduo, são utilizados os valores padronizados pelo IPCC (2006), conforme a Equação 5 a seguir:

$$DOC = (0,40 \times \% \text{ papel/papelão}) + (0,24 \times \% \text{ têxteis}) + (0,15 \times \% \text{ restos alimentares}) + (0,43 \times \% \text{ madeiras}) + (0,20 \times \% \text{ folhas}) + (0,24 \times \% \text{ fraldas}) + (0,39 \times \% \text{ borracha/couro}) \quad \text{(Equação 6)}$$

O DOC_f (fração do DOC que realmente degrada) depende de muitos fatores, como temperatura, umidade, pH, composição gravimétrica, dentre outros. Devido ao processo de degradação anaeróbia ser incompleto, só se degrada uma parte do carbono potencialmente degradável. O valor sugerido pelo IPCC (2006) e adotado pelo MCTIC (2016) é de 50%, ou seja, considera-se que metade do carbono não seja

emitida ou parte do carbono organicamente degradável irá se degradar muito tardiamente.

O MCF (fator de correção do metano) varia em função das condições de anaerobiose de cada tipo de local de disposição. No caso de simples vazadouros, ou lixões, será adotado 0,4 para aqueles com células de até cinco metros e 0,8 para aqueles com células maiores que cinco metros, condição aproximada de aterro controlado. No caso de aterros sanitários, situação em que há uma disposição planejada de resíduos, este fator será 1,0, ou seja, considerar-se-á que 100% dos resíduos estarão dispostos em condições de anaerobiose. Onde não houver informações sobre as condições de aterramento, o IPCC (2006) recomenda que se adote para este fator 0,6.

O total de DDOCm depositada, remanescente, não decomposta, ao final da disposição no ano T será calculada pela Equação 6:

$$DDOCm_{rem}(T) = DDOCm_d(T) \times e^{-k(13-M)/12} \quad \text{(Equação 7)}$$

onde:

T é o ano do inventário;

$DDOCm_{rem}(T)$ é a massa de DDOC depositada no ano T do inventário, permanecendo não decomposta ao final do ano T;

$DDOCm_d(T)$ é a massa de DDOC depositada no ano T;

k é a razão da constante de reação;

M é o mês do início da reação (= tempo de atraso/defasagem + 7).

O total de DDOC depositado, decomposto durante a disposição no ano T será calculado pela Equação 7:

$$DDOCm_{dec}(T) = DDOCm_d(T) \times (1 - e^{-k(13-M)/12}) \quad \text{(Equação 8)}$$

onde:

T é o ano do inventário;

$DDOCm_{dec}(T)$ é a massa de DDOC depositada no ano T do inventário, decomposta durante o ano;

$DDOCm_d(T)$ é a massa de DDOC depositada no ano T;

k é a razão da constante de reação;

M é o mês do início da reação (= tempo de atraso/defasagem + 7).

A quantidade de DDOCm acumulada no aterro ao final do ano T será calculada pela Equação 8:

$$DDOCm_a(T) = DDOCm_{rem}(T) + DDOCm_a(T - 1) \times e^{-k} \quad \text{(Equação 9)}$$

onde:

T é o ano do inventário;

$DDOCm_a(T)$ é a massa total de DDOC deixada e não decomposta ao final do ano T;

$DDOCm_{rem}(T)$ é a massa de DDOC depositada no ano T do inventário, permanecendo não decomposta ao final do ano T;

$DDOCm_a(T-1)$ é a massa total de DDOC deixada não decomposta ao final do ano T-1;

k é a razão da constante de reação.

O total de DDOCm decomposta no ano T será calculado pela Equação 9:

$$DDOCm_{decomp}(T) = DDOCm_{dec}(T) + DDOCm_a(T - 1) \times e^{-k} \quad \text{(Equação 10)}$$

onde:

T é o ano do inventário;

$DDOCm_{decomp}(T)$ é a massa total de DDOC decomposta no ano T;

$DDOCm_{dec}(T)$ é a massa de DDOC depositada no ano T do inventário, decomposta durante o ano;

$DDOCm_a(T-1)$ é a massa total de DDOC deixada não decomposta ao final do ano T-1;

k é a razão da constante de reação.

Ressalta-se que somente a geração de CH_4 é calculada a partir destas equações, tendo em vista que o CO_2 gerado, por ter origem biogênica, não é impactante no clima, conforme descrito no início desta seção. Dessa forma, o total de CH_4 gerado do DOC decomposto será calculado pela Equação 10 seguinte:

$$CH_4_{gerado}(T) = DDOCm_{decomp}(T) \times F \times 16/12 \quad \text{(Equação 11)}$$

onde:

T é o ano do inventário;

$CH_4_{gerado}(T)$ é o CH_4 gerado no ano T;

$DDOCm_{decomp}(T)$ é a massa total de DDOC decomposta no ano T;

F é a fração de CH₄ por volume no gás gerado no aterro;
16/12 é a razão de peso molecular do CH₄/C;

A fração de carbono emitida como metano (F) adotada pelo MCTIC (2010) é de 50%, significando que os outros 50% da composição do biogás gerado não é metano. Portanto, o total de CH₄ emitido será dado pela Equação 11 a seguir:

$$CH_{4emitido}(T) = [\sum_x CH_{4gerado}(x,T) - R(T)] \times [1 - OX(T)] \quad \text{(Equação 12)}$$

onde:

T é o ano do inventário;

CH_{4emitido}(T) é o CH₄ emitido no ano T;

x é a fração de material/categoria de lixo;

CH_{4 gerado}(x,T) é o CH₄ gerado pela fração de lixo x no ano T;

R(T) é o CH₄ recuperado no ano T;

OX(T) é o fator de oxidação no ano T (fração).

O metano recuperado (R) refere-se à parcela recuperada do biogás para queima em flares ou aproveitada para fins energéticos, o que reduz ainda mais diminuindo as emissões líquidas. Ao ser queimado, o CH₄ se transforma em CO₂, que por ser de origem renovável, como é o caso do lixo, não aumentará a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

O fator de oxidação (OX) relaciona-se à fração dos resíduos e dos gases que sofre queima espontânea nos locais de disposição, portanto não gerando metano. Será utilizado o valor padronizado pelo IPCC (2006) para esta variável conforme a condição anaeróbia da massa de resíduo aterrada, ou seja, 0% para lixões, 5% para aterros controlados e 10% em aterros sanitários.

A.2 Emissões do tratamento biológico de resíduos

Para se estimar as emissões de CH₄ e de N₂O pelo tratamento biológico (compostagem, biodigestores), serão utilizadas as Equações 12 e 13 a seguir:

$$Emissões\ de\ CH_4 = \sum (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R \quad \text{(Equação 13)}$$

onde:

Emissões de CH₄ são as emissões totais de CH₄ no ano do inventário (10³ tCH₄);

M_i é a massa de resíduos orgânicos tratados por tratamento biológico do tipo i (10³ t);

EF_i é o fator de emissão para o tratamento i ($= 4 \text{ gCH}_4/\text{kg}$ de resíduo tratado);
 i = compostagem ou digestão anaeróbia;
 R é o total de CH_4 recuperado no ano do inventário (10^3 tCH_4); e

$$\text{Emissões de N}_2\text{O} = \sum (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} \quad \text{(Equação 14)}$$

onde:

Emissões de N_2O são as emissões totais de N_2O no ano do inventário ($10^3 \text{ tN}_2\text{O}$);
 M_i é a massa de resíduos orgânicos tratados por tratamento biológico do tipo i (10^3 t);
 EF_i é o fator de emissão para o tratamento i ($= 0,3 \text{ gN}_2\text{O}/\text{kg}$ de resíduo tratado);
 i = compostagem.

A.3 Emissões do tratamento térmico de resíduos

Tanto a incineração controlada (quando há uma usina para tal fim específico) quanto à incineração (ou queima) a céu aberto de resíduos emitem CO_2 , CH_4 e N_2O , sendo que as emissões de CO_2 são as mais relevantes neste processo. Ressalte-se, entretanto, que somente as emissões de CO_2 de produtos não biogênicos devem ser contabilizadas, que é o caso das emissões de plásticos, borrachas convencionais, solventes, restos de petróleo e derivados. No caso de papéis, restos alimentares e resíduos de madeira de manejo florestal, estas emissões não resultam em aumento de CO_2 na atmosfera, pois são cíclicas e de origem biogênica como já descrito.

As emissões de metano, por sua vez, são relevantes e ocorrem em incinerações a céu aberto, devido à queima incompleta pela ausência de sistemas de controle. As emissões de N_2O foram consideradas apenas nos casos onde a temperatura de queima for baixa (entre 500 e 950°C).

Para se estimar as emissões de CO_2 , CH_4 e N_2O da incineração, foram utilizadas as Equações 14, 15 e 16, que se expressam da seguinte forma:

$$\text{Emissões de CO}_2 = \sum (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times 44/12 \quad \text{(Equação 15)}$$

onde:

Emissões de CO_2 são as emissões de CO_2 no ano do inventário (10^3 t/ano);
 SW_i é o total de resíduos do tipo i (em peso seco) incinerado (10^3 t/ano);
 dm_i é a fração (conteúdo) de matéria seca no resíduo (em peso seco) incinerado;
 CF_i é a fração de carbono na matéria seca (conteúdo total de carbono);
 FCF_i é a fração de carbono fóssil no total de carbono;

OF_i é o fator de oxidação (fração);
 44/12 é o fator de conversão de C para CO₂;
 i = tipo de resíduo incinerado;

$$\text{Emissões de CH}_4 = \sum (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \quad \text{(Equação 16)}$$

onde:

Emissões de CH₄ são as emissões no ano do inventário (10³ t/ano);
 IW_i é a quantidade de resíduo sólido incinerado do tipo i (10³ t/ano);
 EF_i é o fator de emissão de CH₄ (kgCH₄/10³ t de resíduo);
 10⁻⁶ é o fator de conversão de kg para 10³ t;
 i = categoria ou tipo de resíduo; e

$$\text{Emissões de N}_2\text{O} = \sum (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \quad \text{(Equação 17)}$$

onde:

Emissões de N₂O são as emissões no ano do inventário (10³ t/ano);
 IW_i é a quantidade de resíduo incinerado do tipo i (10³ t/ano);
 EF_i é o fator de emissão de N₂O (kgN₂O/10³ t de resíduo) para resíduo do tipo i;
 10⁻⁶ é o fator de conversão de kg para 10³ t;
 i = categoria ou tipo de resíduo incinerado.

A.4 Custos de abatimento das medidas de mitigação

Com a utilização das equações 17 e 18 será possível realizar as análises custo-benefício, uma vez que se escolhem as opções tecnológicas que produzem resultados de menores custos para as medidas de mitigação por tonelada de CO₂ equivalente reduzido, em R\$/tCO₂. A partir de então, poderão ser comparados os volumes totais de emissões evitadas por cada medida de mitigação, em função do seu custo marginal.

$$AC^{\text{atividade}} = (ANC^{\text{abatimento}} - ANC^{\text{base}}) / (AE^{\text{base}} - AE^{\text{abatimento}}) \quad \text{(Equação 18)}$$

onde:

AC^{atividade} é o custo de abatimento de uma atividade/tecnologia de redução das emissões dos GEE;
 ANC^{abatimento} é o custo líquido anual da tecnologia de redução (valores de 2019);
 ANC^{base} é o custo líquido anual da tecnologia de linha de base (valores de 2019);
 AE^{abatimento} é a emissão anual de GEE com a tecnologia de redução;

AE^{base} é a emissão anual de GEE com a tecnologia de linha de base;

e

$$ANC = \{ INV \cdot r \cdot (1 + r)^t / [(1 + r)^t - 1] + AOMC + AFC - AREV \} / (1 + r)^{n-2009}$$

(Equação 19)

onde:

INV é o custo total do investimento ou capital da tecnologia de redução ou de linha de base;

AOMC é o custo anual de operação e manutenção da tecnologia de redução ou de linha de base;

AFC é o custo anual do combustível da tecnologia de redução ou de linha de base;

AREV é a receita anual gerada pela tecnologia de redução ou de linha de base;

r é a taxa de desconto;

t é a vida útil da tecnologia;

n é o ano de instalação da tecnologia.

Para as estimativas de preços de combustível e eletricidade a serem utilizados no estudo, foram consideradas:

- análise de sensibilidade dos custos de abatimento, considerando taxas de desconto de 4% e 12%;
- taxa interna de retorno (IRR) para cada alternativa;
- considerando que os investidores privados são mais interessados na sua taxa de retorno esperado sobre o investimento ao invés de taxas de desconto sociais e de mercado, foram calculados também os custos de abatimento com base na IRR de referência do setor;
- o nível de preço do carbono ou quaisquer outros incentivos necessários para tornar os projetos viáveis, considerando a taxa de desconto de referência;
- a intensidade do investimento considerando a soma do fluxo de investimentos nominais no projeto entre 2020 e 2050; e
- a intensidade do investimento adicional considerando a soma do fluxo de investimentos nominais no projeto menos a soma do fluxo de investimentos nominais na alternativa de linha de base entre 2020 e 2050.

Desse modo, o custo de abatimento calculado poderá ser diferente para anos diferentes, porque os fluxos dos custos e dos lucros variam ao longo dos anos. O custo anual médio de abatimento de uma tecnologia durante o período de estudo será

derivado da média ponderada dos custos anuais de abatimento com a respectiva redução de GEE. A Equação 19 abaixo expressa o método de cálculo:

$$AAAC^{atividade} = (\sum_y AC_y^{atividade} \times MIT_y^{atividade}) / \sum_y MIT_y^{atividade} \quad \text{(Equação 20)}$$

onde:

$AAAC^{atividade}$ é a média anual do custo de abatimento de uma atividade/tecnologia de redução das emissões dos GEE durante o período de 2020 a 2050;

$AC_y^{atividade}$ é o custo de abatimento de uma atividade/tecnologia de redução das emissões dos GEE no ano y;

$MIT_y^{atividade}$ é a redução das emissões dos GEE de uma atividade/tecnologia no ano y.

APÊNDICE B – Dados e resultados – Brasil

Tabela B.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação no cenário A – Brasil

RESÍDUOS SÓLIDOS		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Geração de Resíduos	t/ano	57.619.265	58.633.965	59.524.200	60.641.100	62.354.775	63.336.260	62.447.303	61.558.345	61.925.170	66.695.720	71.207.850	72.457.610	73.386.170
Não categorizado	t/ano	11.866.735	10.315.908	8.883.528	8.031.140	7.080.847	6.379.128	5.371.080	4.257.248	2.973.168	3.542.073	3.339.611	2.742.991	2.370.521
	(%)	20,6%	17,6%	14,9%	13,2%	11,4%	10,1%	8,6%	6,9%	4,8%	5,3%	4,7%	3,8%	3,2%
Reciclagem	t/ano	2.612.000	2.777.000	3.017.000	3.005.000	3.360.200	3.436.832	3.613.717	3.644.550	3.939.750	3.912.300	4.091.610	4.350.710	4.469.917
	(%)	4,5%	4,7%	5,1%	5,0%	5,4%	5,4%	5,8%	5,9%	6,4%	5,9%	5,7%	6,0%	6,1%
Compostagem	t/ano	2.323.043	1.272.795	977.118	810.003	700.328	621.835	562.375	515.484	554.618	445.687	418.834	395.734	375.612
	(%)	4,0%	2,2%	1,6%	1,3%	1,1%	1,0%	0,9%	0,8%	0,9%	0,7%	0,6%	0,5%	0,5%
Coletado	t/ano	40.817.487	44.268.262	46.646.554	48.794.957	51.213.400	52.898.465	52.900.131	53.141.063	54.457.635	58.795.660	63.357.795	64.968.175	66.170.120
	(%)	70,8%	75,5%	78,4%	80,5%	82,1%	83,5%	84,7%	86,3%	87,9%	88,2%	89,0%	89,7%	90,2%
Lixão	t/ano	13.909.773	14.362.908	14.409.391	14.350.834	14.340.423	14.102.547	13.427.259	13.442.447	13.728.380	11.351.865	11.473.045	11.547.870	11.788.040
	(%)	34%	32%	31%	29%	28%	27%	25%	25%	25%	19%	18%	18%	18%
Disposição Aterro Controlado	t/ano	10.622.808	11.724.009	12.515.313	13.206.908	13.927.306	14.397.888	14.356.148	12.531.498	10.905.105	14.037.535	15.414.315	15.706.680	16.016.565
	(%)	26,0%	26,5%	26,8%	27,1%	27,2%	27,2%	27,1%	23,6%	20,0%	23,9%	24,3%	24,2%	24,2%
Aterro Sanitário	t/ano	16.284.906	18.181.345	19.721.849	21.237.214	22.945.671	24.398.030	25.116.723	27.167.118	29.824.150	33.406.260	36.470.435	37.717.275	38.365.515
	(%)	39,9%	41,1%	42,3%	43,5%	44,8%	46,1%	47,5%	51,1%	54,8%	56,8%	57,6%	58,1%	58,0%

Tabela B.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação no cenário A – Brasil (continuação)

RESÍDUOS SÓLIDOS		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Geração de Resíduos	t/ano	76.387.200	78.583.405	79.889.010	78.257.825	80.638.374	82.101.445	83.564.516	85.027.587	86.490.659	87.953.730	89.416.801	90.879.872	92.342.943
Não categorizado	t/ano (%)	2.066.614 2,7%	1.152.286 1,5%	1.752.581 2,2%	1.154.446 1,5%	1.494.682 1,9%	1.439.373 1,8%	1.391.863 1,7%	1.350.630 1,6%	1.314.526 1,5%	1.282.673 1,5%	1.254.383 1,4%	1.229.113 1,4%	1.206.424 1,3%
Reciclagem	t/ano (%)	4.897.757 6,4%	5.828.922 7,4%	5.264.626 6,6%	5.448.060 7,0%	5.701.133 7,1%	5.911.304 7,2%	6.125.279 7,3%	6.343.058 7,5%	6.564.641 7,6%	6.790.028 7,7%	7.019.219 7,9%	7.252.214 8,0%	7.489.013 8,1%
Compostagem	t/ano (%)	357.894 0,5%	342.152 0,4%	328.053 0,4%	315.339 0,4%	303.803 0,4%	293.280 0,4%	283.634 0,3%	274.753 0,3%	266.545 0,3%	258.931 0,3%	251.844 0,3%	245.230 0,3%	239.038 0,3%
Coletado	t/ano (%)	69.064.935 90,4%	71.260.045 90,7%	72.543.750 90,8%	71.339.980 91,2%	73.138.755 90,7%	74.457.488 90,7%	75.763.740 90,7%	77.059.146 90,6%	78.344.946 90,6%	79.622.098 90,5%	80.891.354 90,5%	82.153.316 90,4%	83.408.469 90,3%
Lixão	t/ano (%)	12.025.290 17%	12.404.890 17%	12.474.605 17%	12.391.020 17%	11.458.909 16%	11.425.431 15%	11.405.583 15%	11.396.937 14,8%	11.397.608 15%	11.406.108 14%	11.421.243 14%	11.442.041 14%	11.467.707 14%
Disposição Aterro Controlado	t/ano (%)	16.804.965 24,3%	17.254.280 24,2%	17.498.830 24%	17.269.975 24,2%	15.166.129 20,7%	15.055.085 20%	14.947.455 20%	14.842.658 19,3%	14.740.176 19%	14.639.552 18%	14.540.381 18%	14.442.314 18%	14.345.044 17,2%
Aterro Sanitário	t/ano (%)	40.234.680 58,3%	41.600.875 58,4%	42.570.315 59%	41.678.985 61,3%	46.513.718 63,6%	47.976.971 64,4%	49.410.702 65,2%	50.819.551 65,9%	52.207.162 66,6%	53.576.438 67,3%	54.929.730 68%	56.268.960 68%	57.595.717 69%

Tabela B.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação no cenário A – Brasil (continuação)

RESÍDUOS SÓLIDOS		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Geração de Resíduos	t/ano	93.806.015	95.269.086	96.732.157	98.195.228	99.658.299	101.121.371	102.584.442	104.047.513	105.510.584	106.973.655	108.436.727	109.899.798
Não categorizado	t/ano	1.185.960	1.167.428	1.150.585	1.135.228	1.121.184	1.108.306	1.096.471	1.085.569	1.075.507	1.066.205	1.057.590	1.049.600
	(%)	1,3%	1,2%	1,2%	1,2%	1,1%	1,1%	1,1%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
Reciclagem	t/ano	7.729.616	7.974.022	8.222.233	8.474.248	8.730.067	8.989.690	9.253.117	9.520.347	9.791.382	10.066.221	10.344.864	10.627.310
	(%)	8,2%	8,4%	8,5%	8,6%	8,8%	8,9%	9,0%	9,2%	9,3%	9,4%	9,5%	9,7%
Compostagem	t/ano	233.228	227.763	222.611	217.744	213.139	132.051	128.281	124.593	120.988	117.464	114.022	110.660
	(%)	0,2%	0,2%	0,2%	0,22%	0,21%	0,13%	0,13%	0,12%	0,11%	0,11%	0,11%	0,10%
Coletado	t/ano	84.657.211	85.899.872	87.136.727	88.368.008	89.593.910	90.891.324	92.106.574	93.317.003	94.522.707	95.723.766	96.920.251	98.112.227
	(%)	90,2%	90,2%	90,1%	90,0%	89,9%	89,9%	89,8%	89,7%	89,6%	89,5%	89,4%	89,3%
Lixão	t/ano	11.497.577	11.531.098	11.567.800	11.607.285	11.649.212	11.703.165	11.748.990	11.796.506	11.845.514	11.895.842	11.947.337	11.999.862
	(%)	14%	13%	13%	13%	13,0%	12,9%	12,8%	12,6%	12,5%	12,4%	12,3%	12,2%
Disposição Aterro Controlado	t/ano	14.248.304	14.151.860	14.055.510	13.959.076	13.862.403	13.776.985	13.679.153	13.580.751	13.481.685	13.381.870	13.281.237	13.179.722
	(%)	17%	16%	16%	16%	15,5%	15,2%	14,9%	14,6%	14,3%	14,0%	13,7%	13,4%
Aterro Sanitário	t/ano	58.911.330	60.216.914	61.513.417	62.801.646	64.082.295	65.411.174	66.678.430	67.939.746	69.195.508	70.446.053	71.691.678	72.932.644
	(%)	70%	70%	71%	71%	71,5%	72,0%	72,4%	72,8%	73,2%	73,6%	74,0%	74,3%

Tabela B.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação no cenário A – Brasil (continuação)

RESÍDUOS SÓLIDOS		2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Geração de Resíduos	t/ano	111.362.869	111.376.134	111.389.400	115.752.083	117.215.154	118.678.225	120.141.296	122.008.500	123.067.439	124.530.510	125.993.581	127.456.652	132.407.200
Não categorizado	t/ano	1.042.180	1.021.978	1.002.757	1.022.878	1.017.299	1.012.093	1.007.231	1.006.021	998.443	994.472	990.757	987.282	1.010.649
	(%)	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%
Reciclagem	t/ano	10.913.561	11.059.650	11.205.774	11.795.137	12.096.604	12.401.875	12.710.949	13.067.110	13.340.510	13.660.997	13.985.287	14.313.382	15.041.458
	(%)	9,8%	9,9%	10,1%	10,2%	10,3%	10,5%	10,6%	10,7%	10,8%	11,0%	11,1%	11,2%	11,4%
Compostagem	t/ano	107.379	102.838	98.489	98.006	95.037	92.143	89.324	86.865	83.904	81.301	78.769	76.305	75.907
	(%)	0,10%	0,09%	0,09%	0,08%	0,08%	0,08%	0,07%	0,07%	0,07%	0,07%	0,06%	0,06%	0,06%
Coletado	t/ano	99.299.749	99.191.668	99.082.380	102.836.061	104.006.214	105.172.115	106.333.792	107.848.503	108.644.581	109.793.740	110.938.767	112.079.684	116.279.186
	(%)	89,2%	89,1%	89,0%	88,8%	88,7%	88,6%	88,5%	88,4%	88,3%	88,2%	88,1%	87,9%	87,8%
Lixão	t/ano	12.053.297	11.951.954	11.853.907	12.218.045	12.274.153	12.330.734	12.387.725	12.486.428	12.502.714	12.560.611	12.618.720	12.677.000	13.079.928
	(%)	12,1%	12,0%	12,0%	11,9%	11,8%	11,7%	11,6%	11,6%	11,5%	11,4%	11,4%	11,3%	11,2%
Disposição Aterro Controlado	t/ano	13.077.270	12.807.122	12.542.868	12.763.854	12.657.244	12.549.517	12.440.652	12.371.609	12.219.437	12.107.059	11.993.488	11.878.716	12.080.938
	(%)	13,2%	12,9%	12,7%	12,4%	12,2%	11,9%	11,7%	11,5%	11,2%	11,0%	10,8%	10,6%	10,4%
Aterro Sanitário	t/ano	74.169.182	74.432.593	74.685.606	77.854.162	79.074.817	80.291.863	81.505.415	82.990.466	83.922.431	85.126.069	86.326.559	87.523.968	91.118.321
	(%)	74,7%	75,0%	75,4%	75,7%	76,0%	76,3%	76,7%	77,0%	77,2%	77,5%	77,8%	78,1%	78,4%

Tabela B.2 - Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação no cenário B – Brasil

RESÍDUOS SÓLIDOS	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Geração de Resíduos	t/ano 57.619.265	58.633.965	59.524.200	60.641.100	62.354.775	63.336.260	62.447.303	61.558.345	61.925.170	66.695.720	71.207.850	72.457.610	73.386.170	76.387.200
Não categorizado	t/ano 11.866.735	10.315.908	8.883.528	8.031.140	7.080.847	6.379.128	5.371.080	4.257.248	2.973.168	3.542.073	3.339.611	2.742.991	2.370.521	2.066.614
	(%) 20,6%	17,6%	14,9%	13,2%	11,4%	10,1%	8,6%	6,9%	4,8%	5,3%	4,7%	3,79%	3,23%	2,71%
Reciclagem	t/ano 2.612.000	2.777.000	3.017.000	3.005.000	3.360.200	3.436.832	3.613.717	3.644.550	3.939.750	3.912.300	4.091.610	4.350.710	4.469.917	4.897.757
	(%) 4,5%	4,7%	5,1%	5,0%	5,4%	5,4%	5,8%	5,9%	6,4%	5,9%	5,7%	6,0%	6,1%	6,4%
Compostagem	t/ano 2.323.043	1.272.795	977.118	810.003	700.328	621.835	562.375	515.484	554.618	445.687	418.834	395.734	375.612	357.894
	(%) 4,0%	2,2%	1,6%	1,3%	1,1%	1,0%	0,9%	0,8%	0,9%	0,7%	0,6%	0,5%	0,5%	0,5%
Coletado	t/ano 40.817.487	44.268.262	46.646.554	48.794.957	51.213.400	52.898.465	52.900.131	53.141.063	54.457.635	58.795.660	63.357.795	64.968.175	66.170.120	69.064.935
	(%) 70,8%	75,5%	78,4%	80,5%	82,1%	83,5%	84,7%	86,3%	87,9%	88,2%	89,0%	89,7%	90,2%	90,4%
Lixão	t/ano 13.909.773	14.362.908	14.409.391	14.350.834	14.340.423	14.102.547	13.427.259	13.442.447	13.728.380	11.351.865	11.473.045	11.547.870	11.788.040	12.025.290
	(%) 34,1%	32,4%	30,9%	29,4%	28,0%	26,7%	25,4%	25,3%	25,2%	19,3%	18,1%	17,8%	17,8%	17,4%
Disposição Aterro Controlado	t/ano 10.622.808	11.724.009	12.515.313	13.206.908	13.927.306	14.397.888	14.356.148	12.531.498	10.905.105	14.037.535	15.414.315	15.706.680	16.016.565	16.804.965
	(%) 26,0%	26,5%	26,8%	27,1%	27,2%	27,2%	27,1%	23,6%	20,0%	23,9%	24,3%	24,2%	24,2%	24,3%
Aterro Sanitário	t/ano 16.284.906	18.181.345	19.721.849	21.237.214	22.945.671	24.398.030	25.116.723	27.167.118	29.824.150	33.406.260	36.470.435	37.717.275	38.365.515	40.234.680
	(%) 39,9%	41,1%	42,3%	43,5%	44,8%	46,1%	47,5%	51,1%	54,8%	56,8%	57,6%	58,1%	58,0%	58,3%

Tabela B.2 - Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação no cenário B – Brasil (continuação)

RESÍDUOS SÓLIDOS		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Geração de Resíduos	t/ano	78.583.405	79.889.010	78.257.825	80.638.374	82.101.445	83.564.516	85.027.587	86.490.659	87.953.730	89.416.801	90.879.872	92.342.943	93.806.015	95.269.086
Não categorizado	t/ano	1.152.286	1.752.581	1.154.446	1.494.682	1.439.373	1.391.863	1.350.630	1.314.526	1.282.673	1.254.383	1.229.113	1.206.424	1.185.960	1.167.428
	(%)	1,47%	2,19%	1,48%	1,9%	1,8%	1,7%	1,6%	1,5%	1,5%	1,4%	1,4%	1,3%	1,3%	1,2%
Reciclagem	t/ano	5.828.922	5.264.626	5.448.060	5.725.325	5.993.405	6.267.339	6.547.124	6.832.762	7.124.252	7.421.594	7.724.789	8.033.836	8.348.735	8.669.487
	(%)	7,4%	6,6%	7,0%	7,1%	7,3%	7,5%	7,7%	7,9%	8,1%	8,3%	8,5%	8,7%	8,9%	9,1%
Compostagem	t/ano	342.152	328.053	315.339	303.803	293.280	283.634	274.753	424.514	579.182	738.756	903.237	1.072.625	1.246.920	1.426.121
	(%)	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,3%	0,3%	0,5%	0,7%	0,8%	1,0%	1,2%	1,3%	1,5%
Coletado	t/ano	71.260.045	72.543.750	71.339.980	73.114.564	74.375.387	75.621.680	76.855.080	77.918.856	78.967.623	80.002.067	81.022.733	82.030.058	83.024.400	84.006.050
	(%)	90,7%	90,8%	91,2%	90,7%	90,6%	90,5%	90,4%	90,1%	89,8%	89,5%	89,2%	88,8%	88,5%	88,2%
Lixão	t/ano	12.404.890	12.474.605	12.391.020	11.412.027	11.349.962	11.298.032	11.254.482	11.195.225	11.142.051	11.094.004	11.050.296	11.010.275	10.973.394	10.939.192
	(%)	17,4%	17,2%	17,4%	15,6%	15,3%	14,9%	14,6%	14,4%	14,1%	13,9%	13,6%	13,4%	13,2%	13,0%
Disposição	t/ano	17.254.280	17.498.830	17.269.975	16.670.751	16.571.263	16.425.156	16.234.566	15.968.690	15.662.284	15.316.402	14.931.855	14.509.267	14.049.119	13.551.772
	(%)	24,2%	24,1%	24,2%	22,8%	22,3%	21,7%	21,1%	20,5%	19,8%	19,1%	18,4%	17,7%	16,9%	16,1%
Aterro Sanitário	t/ano	41.600.875	42.570.315	41.678.985	45.031.785	46.454.162	47.898.492	49.366.032	50.754.942	52.163.287	53.591.661	55.040.582	56.510.516	58.001.887	59.515.086
	(%)	58,4%	58,7%	58,4%	61,6%	62,5%	63,3%	64,2%	65,1%	66,1%	67,0%	67,9%	68,9%	69,9%	70,8%

Tabela B.2 - Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação no cenário B – Brasil (continuação)

RESÍDUOS SÓLIDOS		2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Geração de Resíduos	t/ano	96.732.157	98.195.228	99.658.299	101.121.371	102.584.442	104.047.513	105.510.584	106.973.655	108.436.727	109.899.798	111.362.869	111.376.134	111.389.400
Não categorizado	t/ano	1.150.585	1.135.228	1.121.184	1.108.306	1.096.471	1.085.569	1.075.507	1.066.205	1.057.590	1.049.600	1.042.180	1.021.978	1.002.757
	(%)	1,2%	1,2%	1,1%	1,1%	1,1%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	0,9%	0,9%	0,9%
Reciclagem	t/ano	8.996.091	9.328.547	9.666.855	10.011.016	10.361.029	10.716.894	11.078.611	11.446.181	11.819.603	12.198.878	12.584.004	12.808.255	13.032.560
	(%)	9,3%	9,5%	9,7%	9,9%	10,1%	10,3%	10,5%	10,7%	10,9%	11,1%	11,3%	11,5%	11,7%
Compostagem	t/ano	1.610.229	1.799.244	1.993.166	2.191.994	2.395.729	2.604.371	2.817.920	3.036.375	3.259.737	3.488.006	3.721.182	3.908.388	4.095.639
	(%)	1,7%	1,8%	2,0%	2,2%	2,3%	2,5%	2,7%	2,8%	3,0%	3,2%	3,3%	3,5%	3,7%
Coletado	t/ano	84.975.252	85.932.209	86.877.095	87.810.054	88.731.213	89.640.679	90.538.546	91.424.894	92.299.796	93.163.314	94.015.503	93.637.513	93.258.444
	(%)	87,8%	87,5%	87,2%	86,8%	86,5%	86,2%	85,8%	85,5%	85,1%	84,8%	84,4%	84,1%	83,7%
Lixão	t/ano	10.907.279	10.877.319	10.849.025	10.822.147	10.796.471	10.771.809	10.747.995	10.724.887	10.702.356	10.680.290	10.658.591	10.500.482	10.346.612
	(%)	12,8%	12,7%	12,5%	12,3%	12,2%	12,0%	11,9%	11,7%	11,6%	11,5%	11,3%	11,2%	11,1%
Disposição Aterro Controlado	t/ano	13.017.493	12.446.473	10.870.249	11.194.673	10.513.999	9.796.816	9.043.087	8.252.750	7.425.721	6.561.895	5.661.151	4.662.660	3.653.257
	(%)	15,3%	14,5%	12,5%	12,7%	11,8%	10,9%	10,0%	9,0%	8,0%	7,0%	6,0%	5,0%	3,9%
Aterro Sanitário	t/ano	61.050.480	62.608.417	65.157.821	65.793.234	67.420.743	69.072.055	70.747.463	72.447.257	74.171.719	75.921.129	77.695.761	78.474.371	79.258.576
	(%)	71,8%	72,9%	75,0%	74,9%	76,0%	77,1%	78,1%	79,2%	80,4%	81,5%	82,6%	83,8%	85,0%

Tabela B.2 - Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação no cenário B – Brasil (continuação)

RESÍDUOS SÓLIDOS		2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Geração de Resíduos	t/ano	115.752.083	117.215.154	118.678.225	120.141.296	122.008.500	123.067.439	124.530.510	125.993.581	127.456.652	132.407.200
Não categorizado	t/ano	1.022.878	1.017.299	1.012.093	1.007.231	1.006.021	998.443	994.472	990.757	987.282	1.010.649
	(%)	0,9%	0,9%	0,9%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%
Reciclagem	t/ano	13.774.498	14.183.034	14.597.422	15.017.662	15.495.080	15.875.700	16.313.497	16.757.146	17.206.648	18.139.786
	(%)	11,9%	12,1%	12,3%	12,5%	12,7%	12,9%	13,1%	13,3%	13,5%	13,7%
Compostagem	t/ano	4.450.149	4.702.952	4.960.661	5.223.277	5.509.048	5.763.230	6.040.566	6.322.809	6.609.959	7.088.726
	(%)	3,8%	4,0%	4,2%	4,3%	4,5%	4,7%	4,9%	5,0%	5,2%	5,4%
Coletado	t/ano	96.504.558	97.311.869	98.108.049	98.893.125	99.998.351	100.430.066	101.181.975	101.922.868	102.652.763	106.168.039
	(%)	83,4%	83,0%	82,7%	82,3%	82,0%	81,6%	81,3%	80,9%	80,5%	80,2%
Lixão	t/ano	10.594.857	10.573.834	10.552.824	10.004.807	8.849.427	7.597.024	6.335.301	5.034.707	3.695.006	2.378.611
	(%)	11,0%	10,9%	10,8%	10,1%	8,8%	7,6%	6,3%	4,9%	3,6%	2,2%
Disposição Aterro Controlado	t/ano	2.735.997	1.686.109	598.514	-	-	-	-	-	-	-
	(%)	2,8%	1,7%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Aterro Sanitário	t/ano	83.173.704	85.051.927	86.956.711	88.888.318	91.148.925	92.833.042	94.846.674	96.888.161	98.957.758	103.789.428
	(%)	86,2%	87,4%	88,6%	89,9%	91,2%	92,4%	93,7%	95,1%	96,4%	97,8%

Tabela B.3 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação no cenário C – Brasil

RESÍDUOS SÓLIDOS	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Geração de Resíduos	t/ano 57.619.265	58.633.965	59.524.200	60.641.100	62.354.775	63.336.260	62.447.303	61.558.345	61.925.170	66.695.720	71.207.850	72.457.610	73.386.170	76.387.200
Não categorizado	t/ano 11.866.735 (%) 20,6%	10.315.908 17,6%	8.883.528 14,9%	8.031.140 13,2%	7.080.847 11,4%	6.379.128 10,1%	5.371.080 8,6%	4.257.248 6,9%	2.973.168 4,8%	3.542.073 5,3%	3.339.611 4,7%	2.697.122 3,72%	2.177.950 2,97%	1.728.224 2,26%
Reciclagem	t/ano 2.612.000 (%) 4,5%	2.777.000 4,7%	3.017.000 5,1%	3.005.000 5,0%	3.360.200 5,4%	3.436.832 5,4%	3.613.717 5,8%	3.644.550 5,9%	3.939.750 6,4%	3.912.300 5,9%	4.091.610 5,7%	4.350.710 6,0%	4.469.917 6,1%	4.897.757 6,4%
Compostagem	t/ano 2.323.043 (%) 4,0%	1.272.795 2,2%	977.118 1,6%	810.003 1,3%	700.328 1,1%	621.835 1,0%	562.375 0,9%	515.484 0,8%	554.618 0,9%	445.687 0,7%	418.834 0,6%	441.603 0,6%	568.183 0,8%	696.284 0,9%
Coletado para aterros	t/ano 40.817.487 (%) 70,8%	44.268.262 75,5%	46.646.554 78,4%	48.794.957 80,5%	51.213.400 82,1%	52.898.465 83,5%	52.900.131 84,7%	53.141.063 86,3%	54.457.635 87,9%	58.795.660 88,2%	63.357.795 89,0%	64.968.175 89,7%	66.170.120 90,2%	69.064.935 90,4%
Lixão	t/ano 13.909.773 (%) 34,1%	14.362.908 32,4%	14.409.391 30,9%	14.350.834 29,4%	14.340.423 28,0%	14.102.547 26,7%	13.427.259 25,4%	13.442.447 25,3%	13.728.380 25,2%	11.351.865 19,3%	11.473.045 18,1%	11.547.870 17,8%	11.788.040 17,8%	12.025.290 17,4%
Disposição Aterro Controlado	t/ano 10.622.808 (%) 26,0%	11.724.009 26,5%	12.515.313 26,8%	13.206.908 27,1%	13.927.306 27,2%	14.397.888 27,2%	14.356.148 27,1%	12.531.498 23,6%	10.905.105 20,0%	14.037.535 23,9%	15.414.315 24,3%	15.706.680 24,2%	16.016.565 24,2%	16.804.965 24,3%
Aterro Sanitário	t/ano 16.284.906 (%) 39,9%	18.181.345 41,1%	19.721.849 42,3%	21.237.214 43,5%	22.945.671 44,8%	24.398.030 46,1%	25.116.723 47,5%	27.167.118 51,1%	29.824.150 54,8%	33.406.260 56,8%	36.470.435 57,6%	37.717.275 58,1%	38.365.515 58,0%	40.234.680 58,3%
Usina de Biodigestão	t/ano (%)													
Usina Térmica de Lixo	t/ano (%)													

Tabela B.3 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação no cenário C – Brasil (continuação)

RESÍDUOS SÓLIDOS		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Geração de Resíduos	t/ano	78.583.405	79.889.010	78.257.825	80.638.374	82.101.445	83.564.516	85.027.587	86.490.659	87.953.730	89.416.801	90.879.872	92.342.943	93.806.015	95.269.086
Não categorizado	t/ano (%)	649.740 0,83%	1.077.535 1,35%	343.565 0,44%	1.494.682 1,9%	1.439.373 1,8%	1.391.863 1,7%	1.350.630 1,6%	1.248.973 1,4%	1.143.090 1,3%	1.032.982 1,2%	918.649 1,0%	800.090 0,9%	677.305 0,7%	550.295 0,6%
Reciclagem	t/ano (%)	5.828.922 7,4%	5.264.626 6,6%	5.448.060 7,0%	5.725.325 7,1%	5.993.405 7,3%	6.267.339 7,5%	6.547.124 7,7%	6.832.762 7,9%	7.124.252 8,1%	7.421.594 8,3%	7.724.789 8,5%	8.033.836 8,7%	8.348.735 8,9%	8.669.487 9,1%
Compostagem	t/ano (%)	844.698 1,1%	1.003.099 1,3%	1.126.220 1,4%	1.244.782 1,5%	1.364.227 1,7%	1.481.730 1,8%	1.597.130 1,9%	1.758.641 2,0%	1.925.341 2,2%	2.097.201 2,3%	2.276.725 2,5%	2.461.660 2,7%	2.651.838 2,8%	2.847.183 3,0%
Coletado para aterros	t/ano (%)	71.260.045 90,7%	72.543.750 90,8%	71.339.980 91,2%	72.173.585 89,5%	73.304.440 89,3%	74.423.584 89,1%	75.532.703 88,8%	75.923.761 87,8%	76.283.424 86,7%	76.611.720 85,7%	76.906.145 84,6%	77.146.712 83,5%	77.625.447 82,8%	78.057.590 81,9%
Lixão	t/ano (%)	12.404.890 17,4%	12.474.605 17,2%	12.391.020 17,4%	11.265.156 15,6%	11.186.531 15,3%	11.119.034 14,9%	11.060.836 14,6%	10.908.574 14,4%	10.763.320 14,1%	10.623.860 13,9%	10.488.855 13,6%	10.354.820 13,4%	10.259.810 13,2%	10.164.589 13,0%
Disposição Aterro Controlado	t/ano (%)	17.254.280 24,2%	17.498.830 24,1%	17.269.975 24,2%	16.456.200 22,8%	16.332.650 22,3%	16.164.928 21,7%	15.955.233 21,1%	15.559.815 20,5%	15.129.906 19,8%	14.667.320 19,1%	14.173.200 18,4%	13.645.513 17,7%	13.135.526 16,9%	12.592.172 16,1%
Aterro Sanitário	t/ano (%)	41.600.875 58,4%	42.570.315 58,7%	41.678.985 58,4%	44.452.230 61,6%	45.785.259 62,5%	47.139.623 63,3%	48.516.635 64,2%	49.455.373 65,1%	50.390.198 66,1%	51.320.541 67,0%	52.244.091 67,9%	53.146.378 68,9%	54.230.111 69,9%	55.300.828 70,8%
Usina de Biodigestão	t/ano (%)								432.453 0,5%	879.537 1,0%	1.341.252 1,5%	1.817.597 2,0%	2.340.388 2,5%	2.720.374 2,9%	3.143.880 3,3%
Usina Térmica de Lixo	t/ano (%)								294.068 0,3%	598.085 0,7%	912.051 1,0%	1.235.966 1,4%	1.560.258 1,7%	1.782.314 1,9%	2.000.651 2,1%

Tabela B.3 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação no cenário C – Brasil (continuação)

RESÍDUOS SÓLIDOS	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Geração de Resíduos	t/ano 96.732.157	98.195.228	99.658.299	101.121.371	102.584.442	104.047.513	105.510.584	106.973.655	108.436.727	109.899.798	111.362.869	111.376.134	111.389.400
Não categorizado	t/ano 419.060 (%) 0,4%	283.599 0,3%	143.912 0,1%	- 0,0%	- 0,0%								
Reciclagem	t/ano 8.996.091 (%) 9,3%	9.328.547 9,5%	9.666.855 9,7%	10.011.016 9,9%	10.361.029 10,1%	10.716.894 10,3%	11.078.611 10,5%	11.446.181 10,7%	11.819.603 10,9%	12.198.878 11,1%	12.584.004 11,3%	12.808.255 11,5%	13.032.560 11,7%
Compostagem	t/ano 3.044.119 (%) 3,1%	3.245.569 3,3%	3.447.528 3,5%	3.670.691 3,6%	3.903.674 3,8%	4.137.922 4,0%	4.382.062 4,2%	4.631.566 4,3%	4.890.213 4,5%	5.148.340 4,7%	5.404.813 4,9%	5.676.983 5,1%	5.953.352 5,3%
Coletado para aterros	t/ano 78.468.958 (%) 81,1%	78.856.629 80,3%	79.167.653 79,4%	79.874.338 79,0%	80.378.235 78,4%	80.867.407 77,7%	81.333.227 77,1%	81.826.231 76,5%	80.594.644 74,3%	79.687.555 72,5%	78.734.132 70,7%	76.645.416 68,8%	74.581.184 67,0%
Lixão	t/ano 10.072.142 (%) 12,8%	9.981.690 12,7%	9.886.286 12,5%	9.844.110 12,3%	9.780.113 12,2%	9.717.555 12,0%	9.655.215 11,9%	9.598.885 11,7%	9.345.119 11,6%	9.135.422 11,5%	8.926.133 11,3%	8.594.994 11,2%	8.274.453 11,1%
Disposição Aterro Controlado	t/ano 12.020.783 (%) 15,3%	11.421.642 14,5%	9.905.627 12,5%	10.182.969 12,7%	9.524.232 11,8%	8.837.986 10,9%	8.123.650 10,0%	7.386.297 9,0%	6.484.016 8,0%	5.612.739 7,0%	4.740.982 6,0%	3.816.542 5,0%	2.921.604 3,9%
Aterro Sanitário	t/ano 56.376.033 (%) 71,8%	57.453.296 72,9%	59.375.740 75,0%	59.847.259 74,9%	61.073.890 76,0%	62.311.866 77,1%	63.554.362 78,1%	64.841.048 79,2%	64.765.509 80,4%	64.939.394 81,5%	65.067.017 82,6%	64.233.881 83,8%	63.385.128 85,0%
Usina de Biodigestão	t/ano 3.579.090 (%) 3,7%	4.026.004 4,1%	4.520.220 4,5%	4.793.153 4,7%	5.108.705 5,0%	5.431.280 5,2%	5.760.878 5,5%	6.046.452 5,7%	7.156.824 6,6%	7.912.785 7,2%	8.686.304 7,8%	9.355.595 8,4%	10.025.046 9,0%
Usina Térmica de Lixo	t/ano 2.224.840 (%) 2,3%	2.454.881 2,5%	2.712.132 2,7%	2.772.172 2,7%	2.832.798 2,8%	2.894.010 2,8%	2.955.806 2,8%	3.023.226 2,8%	3.975.443 3,7%	4.952.240 4,5%	5.953.616 5,3%	6.889.884 6,2%	7.797.258 7,0%

Tabela B.3 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação no cenário C – Brasil (continuação)

RESÍDUOS SÓLIDOS		2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	
Geração de Resíduos	t/ano	115.752.083	117.215.154	118.678.225	120.141.296	122.008.500	123.067.439	124.530.510	125.993.581	127.456.652	132.407.200	
Não categorizado	t/ano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	(%)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
Reciclagem	t/ano	13.774.498	14.183.034	14.597.422	15.017.662	15.495.080	15.875.700	16.313.497	16.757.146	17.206.648	18.139.786	
	(%)	11,9%	12,1%	12,3%	12,5%	12,7%	12,9%	13,1%	13,3%	13,5%	13,7%	
Compostagem	t/ano	6.239.911	6.530.383	6.824.485	7.124.189	7.427.404	7.741.134	8.057.609	8.394.781	8.726.035	9.110.518	
	(%)	5,4%	5,6%	5,8%	5,9%	6,1%	6,3%	6,5%	6,7%	6,8%	6,9%	
Coletado para aterros	t/ano	76.754.332	76.809.591	76.843.664	76.854.577	77.124.487	77.298.466	77.743.912	78.162.809	78.581.772	81.323.600	
	(%)	66,3%	65,5%	64,7%	64,0%	63,2%	62,8%	62,4%	62,0%	61,7%	61,4%	
Disposição	Lixão	t/ano	8.426.557	8.346.072	8.265.557	7.775.214	6.825.187	5.847.236	4.867.775	3.861.026	2.828.566	1.821.991
		(%)	11,0%	10,9%	10,8%	10,1%	8,8%	7,6%	6,3%	4,9%	3,6%	2,2%
	Aterro Controlado	t/ano	2.176.059	1.330.869	468.790	-	-	-	-	-	-	-
	(%)	2,8%	1,7%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
	Aterro Sanitário	t/ano	66.151.716	67.132.650	68.109.317	69.079.363	70.299.299	71.451.229	72.876.137	74.301.783	75.753.206	79.501.609
	(%)	86,2%	87,4%	88,6%	89,9%	91,2%	92,4%	93,7%	95,1%	96,4%	97,8%	
Usina de Biodigestão	t/ano	10.649.192	11.018.224	11.393.110	11.773.847	12.200.850	12.306.744	12.453.051	12.599.358	12.745.665	13.240.720	
	(%)	9,2%	9,4%	9,6%	9,8%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	
Usina Térmica de Lixo	t/ano	8.334.150	8.673.921	9.019.545	9.371.021	9.760.680	9.845.395	9.962.441	10.079.486	10.196.532	10.592.576	
	(%)	7,2%	7,4%	7,6%	7,8%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	

Tabela B.4 – Resultados das emissões no cenário A – Brasil

Ano	% Cidades > 1M	Lixão	Aterro Controlado	Aterro Controlado OX=5%	Aterro Sanitário	Aterro Sanitário OX=10%	Aterro Sanitário com queima	Recuperação	Não Categorizado	Total	Total-OX	Total-OX-R (GgCO2e)
2000	36,9%	-	-	-	-		-	0%		-	-	-
2001	37,0%	1.504	2.297	2.255	4.402	4.239	4.239	0%	1.925	10.127	9.922	9.922
2002	37,0%	2.609	4.149	4.072	8.006	7.710	7.710	0%	3.025	17.789	17.416	17.416
2003	37,0%	3.402	5.637	5.533	10.987	10.580	10.580	0%	3.579	23.605	23.095	23.095
2004	37,0%	3.970	6.861	6.734	13.546	13.044	13.044	0%	3.852	28.229	27.600	27.600
2005	37,0%	4.390	7.914	7.767	15.877	15.289	15.289	0%	3.912	32.093	31.359	31.359
2006	37,2%	4.684	8.797	8.633	17.991	17.321	17.321	0%	3.863	35.334	34.502	34.502
2007	37,4%	4.842	9.454	9.277	19.762	19.023	19.023	0%	3.686	37.744	36.829	36.829
2008	37,6%	4.979	9.569	9.389	21.660	20.846	20.846	0%	3.399	39.608	38.613	38.613
2009	37,8%	5.130	9.346	9.169	23.814	22.913	22.913	0%	3.005	41.294	40.217	40.217
2010	38,0%	5.001	9.911	9.722	26.400	25.397	25.397	0%	2.831	44.143	42.951	42.951
2011	38,3%	4.944	10.643	10.439	29.157	28.039	28.039	0%	2.685	47.428	46.107	46.107
2012	38,6%	4.930	11.259	11.041	31.549	30.330	30.330	0%	2.490	50.228	48.791	48.791
2013	39,0%	4.962	11.798	11.569	33.533	32.226	32.226	0%	2.297	52.590	51.054	51.054
2014	38,9%	5.024	12.388	12.147	35.564	34.179	34.179	0%	2.114	55.090	53.463	53.463
2015	38,9%	5.121	12.940	12.688	37.494	36.034	36.034	0%	1.838	57.393	55.681	55.681
2016	38,9%	5.209	13.421	13.160	39.247	37.719	37.719	0%	1.740	59.617	57.829	57.829
2017	38,9%	5.273	13.751	13.483	40.374	38.803	38.803	0%	1.572	60.969	59.131	59.131
2018	38,9%	5.228	13.567	13.303	42.608	40.950	40.950	0%	1.505	62.909	60.987	60.987
2019	38,9%	5.204	13.453	13.191	44.703	42.964	42.964	0%	1.445	64.805	62.805	62.805
2020	38,9%	5.194	13.383	13.123	46.696	44.881	44.881	0%	1.391	66.664	64.588	64.588
2021	38,9%	5.193	13.340	13.081	48.613	46.723	46.723	0%	1.342	68.489	66.340	66.340
2022	38,9%	5.200	13.314	13.055	50.472	48.510	48.510	0%	1.298	70.284	68.063	68.063

Ano	% Cidades > 1M	Lixão	Aterro Controlado	Aterro Controlado OX=5%	Aterro Sanitário	Aterro Sanitário OX=10%	Aterro Sanitário com queima	Recuperação	Não Categorizado	Total	Total-OX	Total-OX-R (GgCO2e)
2023	38,9%	5.212	13.297	13.039	52.285	50.253	50.253	0%	1.257	72.051	69.761	69.761
2024	38,9%	5.228	13.284	13.026	54.062	51.962	51.962	0%	1.220	73.794	71.436	71.436
2025	38,8%	5.247	13.272	13.014	55.810	53.642	53.642	0%	1.185	75.514	73.088	73.088
2026	38,8%	5.268	13.259	13.001	57.532	55.298	55.298	0%	1.154	77.213	74.721	74.721
2027	38,8%	5.290	13.243	12.986	59.234	56.934	56.934	0%	1.124	78.892	76.335	76.335
2028	38,8%	5.314	13.224	12.968	60.917	58.552	58.552	0%	1.097	80.553	77.931	77.931
2029	38,8%	5.339	13.202	12.946	62.584	60.155	60.155	0%	1.072	82.197	79.511	79.511
2030	38,8%	5.364	13.176	12.920	64.236	61.743	61.743	0%	1.048	83.824	81.076	81.076
2031	38,8%	5.390	13.146	12.921	65.875	63.319	63.319	0%	1.026	85.467	82.655	82.655
2032	38,8%	5.417	13.115	12.891	67.517	64.897	64.897	0%	1.005	87.085	84.211	84.211
2033	38,8%	5.445	13.078	12.860	69.143	66.460	66.460	0%	986	88.688	85.751	85.751
2034	38,8%	5.472	13.038	12.825	70.755	68.011	68.011	0%	968	90.273	87.275	87.275
2035	38,8%	5.500	12.993	12.785	72.355	69.549	69.549	0%	951	91.844	88.785	88.785
2036	38,8%	5.528	12.944	12.741	73.945	71.078	71.078	0%	935	93.401	90.281	90.281
2037	38,8%	5.555	12.892	12.693	75.525	72.596	72.596	0%	920	94.945	91.766	91.766
2038	38,8%	5.584	12.837	12.642	77.096	74.106	74.106	0%	906	96.478	93.238	93.238
2039	38,8%	5.612	12.777	12.588	78.658	75.608	75.608	0%	893	97.999	94.701	94.701
2040	38,8%	5.623	12.679	12.530	79.951	76.851	76.851	0%	878	99.230	95.882	95.882
2041	38,8%	5.623	12.554	12.433	81.050	77.908	77.908	0%	863	100.216	96.827	96.827
2042	38,8%	5.665	12.514	12.311	82.799	79.589	79.589	0%	854	101.872	98.418	98.418
2043	38,8%	5.703	12.462	12.271	84.474	81.198	81.198	0%	844	103.535	100.017	100.017
2044	38,8%	5.737	12.402	12.221	86.098	82.759	82.759	0%	835	105.133	101.552	101.552
2045	38,8%	5.770	12.334	12.161	87.684	84.284	84.284	0%	827	106.683	103.042	103.042
2046	38,8%	5.806	12.270	12.095	89.319	85.855	85.855	0%	819	108.278	104.576	104.576

Ano	% Cidades > 1M	Lixão	Aterro Controlado	Aterro Controlado OX=5%	Aterro Sanitário	Aterro Sanitário OX=10%	Aterro Sanitário com queima	Recuperação	Não Categorizado	Total	Total-OX	Total-OX-R (GgCO2e)
2047	38,8%	5.836	12.191	12.032	90.837	87.315	87.315	0%	811	109.754	105.994	105.994
2048	38,8%	5.865	12.108	11.954	92.347	88.766	88.766	0%	803	111.206	107.389	107.389
2049	38,8%	5.894	12.023	11.873	93.851	90.211	90.211	0%	796	112.650	108.775	108.775
2050	38,8%	5.924	11.936	11.790	95.348	91.650	91.650	0%	789	114.084	110.153	110.153

Tabela B.5 – Resultados das emissões no cenário B – Brasil

Ano	% Cidades > 1M	%Capitais e RM	% Cidades > 500 mil	Lixão	Aterro Controlado	Aterro Controlado OX=5%	Aterro Sanitário	Aterro Sanitário OX=10%	Recuperação	Queima em Flare	Aterro Sanitário OX = 10% com queima total	Não Categorizado	Total	Total - OX	Total - OX - Aterro com flare	Total - OX - Aterro com energia	Total - OX - R
2018	38,9%	40,7%	2,4%	5.223	13.893	13.610	42.207	40.491			40.491	1.505	62.829	60.829			60.829
2019	38,9%	40,7%	2,4%	5.192	14.009	13.725	44.010	42.221			42.221	1.445	64.657	62.583			62.583
2020	38,9%	40,7%	2,6%	5.174	14.096	13.809	45.798	43.936		24,7%	33.084	1.391	66.458	64.310	53.458	64.310	53.458
2021	38,9%	40,6%	2,6%	5.164	14.148	13.861	47.581	45.648	2,1%	30,8%	30.632	1.342	68.236	66.014	51.937	65.076	50.999
2022	38,9%	40,6%	2,6%	5.157	14.158	13.870	49.341	47.336	4,1%	26,7%	32.738	1.298	69.954	67.661	55.010	65.715	53.064
2023	38,9%	40,6%	2,6%	5.153	14.127	13.840	51.089	49.013	6,2%	24,7%	33.899	1.257	71.626	69.263	57.171	66.241	54.148
2024	38,9%	40,6%	2,9%	5.151	14.055	13.769	52.834	50.688	8,2%	22,6%	35.057	1.220	73.259	70.828	59.369	66.655	55.197
2025	38,8%	40,6%	2,9%	5.149	13.944	13.661	54.583	52.366	10,3%	20,5%	36.217	1.185	74.861	72.361	61.604	66.969	56.212
2026	38,8%	40,6%	2,9%	5.148	13.794	13.514	56.339	54.052	12,4%	18,5%	37.383	1.154	76.434	73.867	63.880	67.186	57.199
2027	38,8%	40,6%	2,9%	5.148	13.606	13.330	58.106	55.748	14,4%	16,4%	38.556	1.124	77.984	75.349	66.200	67.307	58.158
2028	38,8%	40,6%	2,9%	5.147	13.380	13.109	59.887	57.457	16,5%	14,3%	39.738	1.097	79.512	76.810	68.565	67.336	59.091
2029	38,8%	40,6%	2,9%	5.146	13.118	12.852	61.684	59.181	18,6%	12,3%	40.931	1.072	81.020	78.251	70.980	67.271	60.000
2030	38,8%	40,6%	2,9%	5.145	12.818	12.558	63.498	60.922	20,6%	10,2%	42.135	1.048	82.510	79.674	73.446	67.114	60.886
2031	38,8%	40,6%	2,9%	5.144	12.273	12.024	65.592	62.931	22,7%	8,2%	43.524	1.026	84.035	81.126	75.991	66.854	61.719
2032	38,8%	40,6%	2,9%	5.143	11.963	11.720	67.366	64.634	24,7%	6,1%	44.702	1.005	85.477	82.502	78.562	66.511	62.570
2033	38,8%	40,6%	2,9%	5.141	11.597	11.361	69.186	66.380	26,8%	4,0%	45.909	986	86.910	83.869	81.191	66.076	63.398
2034	38,8%	40,6%	2,9%	5.139	11.181	10.954	71.044	68.163	28,9%	2,0%	47.143	968	88.332	85.224	83.880	65.548	64.204
2035	38,8%	40,5%	2,9%	5.137	10.720	10.502	72.935	69.978	30,9%	0,1%	48.273	951	89.743	86.568	86.506	64.926	64.863
2036	38,8%	40,5%	2,9%	5.135	10.217	10.009	74.857	71.822	30,8%	0,0%	49.673	935	91.143	87.901	87.901	65.753	65.753
2037	38,8%	40,5%	2,9%	5.132	9.673	9.477	76.807	73.694	30,8%	0,0%	50.968	920	92.533	89.223	89.223	66.497	66.497
2038	38,8%	40,5%	2,9%	5.128	9.092	8.907	78.785	75.592	30,8%	0,0%	52.281	906	93.912	90.534	90.534	67.223	67.223
2039	38,8%	40,5%	2,9%	5.125	8.472	8.300	80.791	77.516	30,8%	0,0%	53.611	893	95.280	91.834	91.834	67.929	67.929
2040	38,8%	40,5%	2,9%	5.106	7.802	7.644	82.547	79.201	30,8%	0,0%	54.777	878	96.333	92.829	92.829	68.405	68.405

Ano	% Cidades > 1M	%Capitais e RM	% Cidades > 500 mil	Lixão	Aterro Controlado	Aterro Controlado OX=5%	Aterro Sanitário	Aterro Sanitário OX=10%	Recuperação	Queima em Flare	Aterro Sanitário OX = 10% com queima total	Não Categorizado	Total	Total - OX	Total - OX - Aterro com flare	Total - OX - Aterro com energia	Total - OX - R
2041	38,8%	40,5%	2,9%	5.077	7.092	6.948	84.131	80.720	30,8%	0,0%	55.828	863	97.162	93.608	93.608	68.716	68.716
2042	38,8%	40,5%	2,9%	5.084	6.370	6.241	86.439	82.935	30,8%	0,0%	57.359	854	98.746	95.113	95.113	69.538	69.538
2043	38,8%	40,5%	2,9%	5.087	5.609	5.495	88.703	85.107	30,8%	0,0%	58.861	844	100.243	96.533	96.533	70.288	70.288
2044	38,8%	40,5%	2,9%	5.087	4.809	4.712	90.947	87.260	30,8%	0,0%	60.351	835	101.679	97.895	97.895	70.985	70.985
2045	38,8%	40,5%	2,9%	5.028	4.086	4.003	93.188	89.410	30,8%	0,0%	61.837	827	103.129	99.268	99.268	71.696	71.696
2046	38,8%	40,5%	2,9%	4.862	3.543	3.471	95.516	91.644	30,8%	0,0%	63.383	819	104.741	100.797	100.797	72.535	72.535
2047	38,8%	40,5%	2,9%	4.610	3.124	3.061	97.754	93.791	30,8%	0,0%	64.867	811	106.299	102.273	102.273	73.350	73.350
2048	38,8%	40,5%	2,9%	4.295	2.793	2.736	100.018	95.964	30,8%	0,0%	66.370	803	107.910	103.799	103.799	74.205	74.205
2049	38,8%	40,5%	2,9%	3.931	2.524	2.473	102.311	98.163	30,8%	0,0%	67.891	796	109.562	105.362	105.362	75.091	75.091
2050	38,8%	40,6%	2,9%	3.524	2.299	2.253	104.634	100.391	30,8%	0,0%	69.432	789	111.247	106.957	106.957	75.998	75.998

Tabela B.5 – Resultados das emissões no cenário B – Brasil (continuação)

Ano	Biometano Energia MtCO2e	Biometano Veicular MtCH4	Biometano Energia MtCH4	Biometano Energia M.m³CH4	Energia (%)	Flare (%)	Subst GN Térmicas MtCO2e	Evitada Térmicas ktCO2e	Subst GN Veículos MtCO2e	Evitada GNV MtCO2e
2018	-	-	-	-						
2019	-	-	-	-						
2020	10.852	-	387,6	540,6		queima			-	
2021	938	-	33,5	46,7	1,4%	21,3%	938,5	32,6		-
2022	1.946	-	69,5	96,9	2,9%	18,7%	1.946,1	67,5		-
2023	3.022	-	107,9	150,5	4,4%	17,5%	3.022,3	104,8		-
2024	4.173	-	149,0	207,8	5,9%	16,2%	4.172,5	144,7		-
2025	5.392	63,6	129,0	179,9	5,0%	14,9%	3.611,3	125,3	1.780,6	174,9
2026	6.681	72,9	165,7	231,1	6,3%	13,5%	4.639,6	160,9	2.041,8	200,5
2027	8.042	81,1	206,1	287,4	7,7%	12,1%	5.770,5	200,2	2.271,3	223,1
2028	9.474	88,2	250,2	348,9	9,1%	10,7%	7.005,0	243,0	2.469,1	242,5
2029	10.980	94,1	298,0	415,6	10,7%	9,3%	8.344,3	289,5	2.635,4	258,8
2030	12.560	98,9	349,6	487,6	12,3%	7,8%	9.789,7	339,6	2.769,9	272,0
2031	14.272	102,9	406,8	567,3	14,0%	6,3%	11.389,9	395,1	2.882,2	283,1
2032	15.991	106,9	464,2	647,4	15,8%	4,8%	12.997,4	450,9	2.993,9	294,0
2033	17.792	111,0	524,5	731,5	17,5%	3,2%	14.684,9	509,4	3.107,4	305,2
2034	19.676	115,1	587,6	819,5	19,3%	1,6%	16.453,3	570,7	3.222,5	316,5
2035	21.643	119,3	653,7	911,7	21,1%	0,1%	18.303,2	634,9	3.339,3	328,0
2036	22.149	123,5	667,5	931,0	21,3%	0,0%	18.691,0	648,4	3.457,7	339,6
2037	22.726	127,8	683,9	953,8	21,5%	0,0%	19.148,2	664,2	3.577,6	351,4
2038	23.311	132,1	700,4	976,9	21,7%	0,0%	19.612,0	680,3	3.699,1	363,3
2039	23.905	136,5	717,2	1.000,3	21,9%	0,0%	20.082,3	696,6	3.822,2	375,4
2040	24.424	140,5	731,8	1.020,6	22,1%	0,0%	20.489,8	710,8	3.934,3	386,4

Ano	Biometano Energia MtCO2e	Biometano Veicular MtCH4	Biometano Energia MtCH4	Biometano Energia M.m³CH4	Energia (%)	Flare (%)	Subst GN Térmicas MtCO2e	Evitada Térmicas ktCO2e	Subst GN Veículos MtCO2e	Evitada GNV MtCO2e
2041	24.893	144,2	744,8	1.038,8	22,3%	0,0%	20.854,0	723,4	4.038,7	396,7
2042	25.576	149,1	764,3	1.065,9	22,5%	0,0%	21.399,5	742,3	4.176,1	410,1
2043	26.245	154,0	783,3	1.092,5	22,7%	0,0%	21.933,5	760,8	4.311,9	423,5
2044	26.909	158,8	802,2	1.118,9	22,9%	0,0%	22.462,2	779,2	4.447,3	436,8
2045	27.572	163,8	821,0	1.145,0	23,2%	0,0%	22.987,1	797,4	4.585,3	450,3
2046	28.262	169,0	840,3	1.172,0	23,3%	0,0%	23.528,8	816,2	4.732,7	464,8
2047	28.923	174,3	858,7	1.197,6	23,5%	0,0%	24.043,5	834,0	4.879,9	479,3
2048	29.593	179,7	877,2	1.223,4	23,7%	0,0%	24.561,7	852,0	5.031,8	494,2
2049	30.272	185,3	895,9	1.249,4	23,8%	0,0%	25.084,0	870,1	5.187,9	509,5
2050	30.959	191,0	914,7	1.275,7	23,9%	0,0%	25.610,9	888,4	5.347,8	525,2

Tabela B.6 – Resultados das emissões no cenário C – Brasil

Ano	% Cidades > 1M	%Capitais e RM	% Cidades > 500 mil	Lixão	Aterro Controlado	Aterro Controlado OX=5%	Aterro Sanitário	Aterro Sanitário OX=10%	Recuperação	Queima em Flare	Aterro SanitárioOX = 10% com queima	Não Categorizado	Total	Total - OX	Total - OX - Aterro com flare	Total - OX - Aterro com energia	Total - OX - R
2018	38,9%	40,7%	2,4%	5.208	13.846	13.565	42.051	40.340		8,2%	37.039	1.306	62.410	60.419	57.117		57.117
2019	38,9%	40,7%	2,4%	5.163	13.925	13.642	43.719	41.942		16,4%	35.078	1.300	64.108	62.048	55.184		55.184
2020	38,9%	40,7%	2,6%	5.134	13.980	13.696	45.387	43.542		24,7%	32.798	1.284	65.785	63.655	52.911	63.655	52.911
2021	38,9%	40,6%	2,6%	5.115	14.006	13.721	47.060	45.148	2,1%	30,8%	30.297	1.260	67.441	65.243	51.321	64.315	50.393
2022	38,9%	40,6%	2,6%	5.091	13.968	13.684	48.618	46.642	4,1%	28,8%	31.300	1.223	68.900	66.640	53.215	64.723	51.298
2023	38,9%	40,6%	2,6%	5.065	13.875	13.593	50.093	48.058	6,2%	26,7%	32.249	1.175	70.208	67.891	55.047	64.928	52.083
2024	38,9%	40,6%	2,9%	5.037	13.734	13.455	51.507	49.415	8,2%	24,7%	33.160	1.120	71.398	69.027	56.840	64.959	52.772
2025	38,8%	40,6%	2,9%	5.007	13.549	13.274	52.875	50.728	10,3%	22,6%	34.041	1.059	72.489	70.067	58.604	64.844	53.381
2026	38,8%	40,6%	2,9%	4.975	13.323	13.052	54.203	52.002	12,4%	20,7%	34.824	992	73.493	71.022	60.272	64.593	53.844
2027	38,8%	40,6%	2,9%	4.945	13.068	12.803	55.549	53.294	14,4%	18,5%	35.764	922	74.484	71.964	62.122	64.276	54.434
2028	38,8%	40,6%	2,9%	4.917	12.784	12.524	56.903	54.594	16,5%	16,4%	36.636	847	75.451	72.882	63.926	63.880	54.924
2029	38,8%	40,6%	2,9%	4.889	12.468	12.215	58.261	55.897	18,6%	14,3%	37.510	770	76.388	73.771	65.755	63.401	55.384
2030	38,8%	40,6%	2,9%	4.861	12.123	11.877	59.621	57.202	20,6%	12,3%	38.386	689	77.295	74.630	67.606	62.837	55.814
2031	38,8%	40,6%	2,9%	4.833	11.555	11.321	61.210	58.727	22,7%	10,3%	39.343	605	78.203	75.486	69.420	62.167	56.102
2032	38,8%	40,6%	2,9%	4.810	11.216	10.989	62.566	60.028	24,7%	8,2%	40.282	518	79.110	76.344	71.451	61.493	56.599
2033	38,8%	40,6%	2,9%	4.787	10.832	10.612	63.962	61.368	26,8%	6,1%	41.182	452	80.033	77.219	73.482	60.770	57.033
2034	38,8%	40,6%	2,9%	4.765	10.407	10.196	65.390	62.738	28,9%	4,0%	42.101	401	80.961	78.099	75.572	59.989	57.462
2035	38,8%	40,5%	2,9%	4.742	9.945	9.743	66.839	64.129	30,9%	2,0%	43.034	360	81.886	78.974	77.713	59.141	57.880
2036	38,8%	40,5%	2,9%	4.721	9.450	9.259	68.314	65.545	33,0%	0,0%	43.922	326	82.812	79.851	79.851	58.228	58.228
2037	38,8%	40,5%	2,9%	4.678	8.895	8.715	69.441	66.626	35,1%	0,0%	43.273	298	83.311	80.316	80.316	56.963	56.963
2038	38,8%	40,5%	2,9%	4.625	8.301	8.132	70.388	67.535	37,1%	0,0%	42.472	273	83.588	80.566	80.566	55.503	55.503
2039	38,8%	40,5%	2,9%	4.565	7.677	7.521	71.196	68.310	39,2%	0,0%	41.551	252	83.690	80.648	80.648	53.889	53.889
2040	38,8%	40,5%	2,9%	4.486	7.018	6.876	71.641	68.737	41,2%	0,0%	40.394	233	83.378	80.332	80.332	51.989	51.989

Ano	% Cidades > 1M	%Capitais e RM	% Cidades > 500 mil	Lixão	Aterro Controlado	Aterro Controlado OX=5%	Aterro Sanitário	Aterro Sanitário OX=10%	Recuperação	Queima em Flare	Aterro Sanitário OX = 10% com queima	Não Categorizado	Total	Total - OX	Total - OX - Aterro com flare	Total - OX - Aterro com energia	Total - OX - R
2041	38,8%	40,5%	2,9%	4.394	6.338	6.210	71.824	68.913	43,3%	0,0%	39.076	216	82.773	79.733	79.733	49.897	49.897
2042	38,8%	40,5%	2,9%	4.345	5.674	5.559	72.793	69.842	45,0%	0,0%	38.413	201	83.013	79.947	79.947	48.518	48.518
2043	38,8%	40,5%	2,9%	4.299	4.997	4.896	73.823	70.830	45,0%	0,0%	38.956	187	83.306	80.211	80.211	48.338	48.338
2044	38,8%	40,5%	2,9%	4.256	4.304	4.217	74.894	71.858	45,0%	0,0%	39.522	174	83.628	80.504	80.504	48.168	48.168
2045	38,8%	40,5%	2,9%	4.170	3.684	3.610	75.991	72.910	45,0%	0,0%	40.101	162	84.007	80.852	80.852	48.042	48.042
2046	38,8%	40,5%	2,9%	4.005	3.215	3.150	77.174	74.045	45,0%	0,0%	40.725	151	84.544	81.350	81.350	48.030	48.030
2047	38,8%	40,5%	2,9%	3.780	2.849	2.792	78.398	75.220	45,0%	0,0%	41.371	140	85.168	81.932	81.932	48.083	48.083
2048	38,8%	40,5%	2,9%	3.512	2.558	2.506	79.726	76.494	45,0%	0,0%	42.072	131	85.926	82.642	82.642	48.220	48.220
2049	38,8%	40,5%	2,9%	3.210	2.318	2.271	81.127	77.838	45,0%	0,0%	42.811	122	86.778	83.441	83.441	48.414	48.414
2050	38,8%	40,6%	2,9%	2.880	2.117	2.074	82.589	79.240	45,0%	0,0%	43.582	114	87.700	84.308	84.308	48.650	48.650

Tabela B.6 – Resultados das emissões no cenário C – Brasil (continuação)

Ano	Biometano Energia MtCO2e	Biometano Veicular MtCH4	Biometano Energia MtCH4	Biometano Energia M.m³CH4	Energia (%)	Flare (%)	Subst GN Térmicas MtCO2e	Evitada Térmicas ktCO2e	Subst GN Veículos MtCO2e	Evitada GNV MtCO2e
2018	3.302	-	117,9	164,5						
2019	6.864	-	245,1	341,9						
2020	10.745	-	383,7	535,2		queima			-	
2021	928	-	33,1	46,2	1,4%	21,3%	928,2	32,2		-
2022	1.918	-	68,5	95,5	2,9%	20,1%	1.917,6	66,5		-
2023	2.963	-	105,8	147,6	4,4%	18,9%	2.963,4	102,8		-
2024	4.068	-	145,3	202,6	5,9%	17,7%	4.067,7	141,1		-
2025	5.223	63,6	123,0	171,5	4,9%	16,4%	3.442,6	119,4	1.780,6	174,9
2026	6.428	72,9	156,7	218,5	6,2%	15,1%	4.386,3	152,2	2.041,8	200,5
2027	7.688	81,1	193,5	269,8	7,5%	13,7%	5.416,6	187,9	2.271,3	223,1
2028	9.002	88,2	233,3	325,4	9,0%	12,3%	6.532,9	226,6	2.469,1	242,5
2029	10.370	94,1	276,3	385,3	10,5%	10,9%	7.735,0	268,3	2.635,4	258,8
2030	11.793	98,9	322,2	449,4	12,1%	9,4%	9.022,9	313,0	2.769,9	272,0
2031	13.319	101,8	373,9	521,4	13,9%	8,0%	10.468,3	363,1	2.850,3	279,9
2032	14.852	104,7	425,7	593,7	15,6%	6,4%	11.919,9	413,5	2.931,9	288,0
2033	16.449	107,7	479,8	669,1	17,4%	4,8%	13.433,8	466,0	3.015,2	296,1
2034	18.110	110,7	536,1	747,7	19,2%	3,2%	15.010,0	520,7	3.099,9	304,5
2035	19.834	113,8	594,6	829,2	21,1%	1,6%	16.648,0	577,5	3.185,5	312,9
2036	21.623	116,9	655,4	914,1	23,0%	0,0%	18.350,5	636,6	3.272,3	321,4
2037	23.353	119,4	714,6	996,7	24,9%	0,0%	20.009,6	694,1	3.343,1	328,3
2038	25.064	121,6	773,5	1.078,8	26,9%	0,0%	21.658,2	751,3	3.405,5	334,5
2039	26.759	123,6	832,1	1.160,5	28,9%	0,0%	23.298,4	808,2	3.460,9	339,9
2040	28.344	125,0	887,3	1.237,5	30,9%	0,0%	24.844,5	861,8	3.499,1	343,7

Ano	Biometano Energia MtCO2e	Biometano Veicular MtCH4	Biometano Energia MtCH4	Biometano Energia M.m³CH4	Energia (%)	Flare (%)	Subst GN Térmicas MtCO2e	Evitada Térmicas ktCO2e	Subst GN Veículos MtCO2e	Evitada GNV MtCO2e
2041	29.836	125,9	939,7	1.310,6	33,0%	0,0%	26.311,9	912,7	3.524,3	346,1
2042	31.429	128,0	994,4	1.386,9	34,8%	0,0%	27.843,5	965,9	3.585,3	352,1
2043	31.873	130,3	1.008,0	1.405,9	35,2%	0,0%	28.224,6	979,1	3.648,8	358,4
2044	32.336	132,6	1.022,2	1.425,7	35,6%	0,0%	28.621,9	992,9	3.714,0	364,8
2045	32.810	135,1	1.036,7	1.445,9	35,9%	0,0%	29.027,5	1.006,9	3.782,1	371,5
2046	33.320	137,8	1.052,2	1.467,5	36,2%	0,0%	29.462,5	1.022,0	3.857,9	378,9
2047	33.849	140,7	1.068,2	1.489,9	36,5%	0,0%	29.910,7	1.037,6	3.938,2	386,8
2048	34.422	143,8	1.085,6	1.514,1	36,8%	0,0%	30.396,5	1.054,4	4.025,6	395,4
2049	35.027	147,1	1.103,9	1.539,6	37,0%	0,0%	30.908,8	1.072,2	4.118,3	404,5
2050	35.658	150,5	1.122,9	1.566,2	37,3%	0,0%	31.442,6	1.090,7	4.215,4	414,0

Tabela B.7 – Emissões líquidas e emissões evitadas por medida de mitigação por cenário – Brasil

Cenário A	Unidade	Custo		Emissões Totais (1000 tCO2e)										
		R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO2e	60,00	50,00	64.588	66.340	68.063	69.761	71.436	73.088	74.721	76.335	77.931	79.511	81.076
Evitadas (aterro com queima)	%													
	10 ³ tCO2e													
Evitadas (aterro com energia)	%													
	10 ³ tCO2e													
Evitadas (térmica)	%													
	10 ³ tCO2e													
Evitadas (biodigestão)	%													
	10 ³ tCO2e													
Evitadas (compostagem)	%			0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
	10 ³ tCO2e			293	293	291	290	288	285	283	281	278	276	273
Evitadas (reciclagem)	%			7,5%	7,6%	7,7%	7,9%	8,0%	8,1%	8,2%	8,4%	8,5%	8,6%	8,8%
	10 ³ tCO2e			2.127	2.244	2.363	2.483	2.605	2.729	2.855	2.982	3.111	3.242	3.375
Aterro com queima	10 ³ tCO2e													
Aterro com energia	10 ³ tCO2e													
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO2e													
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO2e													
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO2e	23,30		53	51	50	48	47	46	45	44	43	42	41
Reciclagem	10 ³ tCO2e	226,20												
Cenário B	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO2e	60,00	50,00	64.310	66.014	67.661	69.263	70.828	72.361	73.867	75.349	76.810	78.251	79.674
Evitadas (aterro com queima)	%			24,7%	30,8%	28,8%	26,7%	24,7%	22,6%	20,5%	18,5%	16,4%	14,3%	12,3%
	10 ³ tCO2e			10.852	15.015	13.625	13.100	12.501	11.833	11.098	10.296	9.426	8.487	7.480
Evitadas (aterro com energia)	%			0%	2,1%	4,1%	6,2%	8,2%	10,3%	12,4%	14,4%	16,5%	18,6%	20,6%

	10 ³ tCO ₂ e			-	938	1.946	3.022	4.173	5.392	6.681	8.042	9.474	10.980	12.560
Evitadas (térmica)	%													
	10 ³ tCO ₂ e													
Evitadas (biodigestão)	%													
	10 ³ tCO ₂ e													
Evitadas (compostagem)	%			0,3%	0,5%	0,7%	0,8%	1,0%	1,2%	1,3%	1,5%	1,7%	1,8%	2,0%
	10 ³ tCO ₂ e			427	417	447	507	590	691	807	936	1.075	1.225	1.384
Evitadas (reciclagem)	%			7,7%	7,9%	8,1%	8,3%	8,5%	8,7%	8,9%	9,1%	9,3%	9,5%	9,7%
	10 ³ tCO ₂ e			2.136	2.261	2.389	2.521	2.656	2.795	2.938	3.084	3.234	3.388	3.545
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e	127,00	93,00	53.458	50.999	54.037	56.163	58.327	60.528	62.769	65.053	67.384	69.763	72.193
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e	273,00		64.310	65.076	65.715	66.241	66.655	66.969	67.186	67.307	67.336	67.271	67.114
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e													
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e													
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	53	81	111	141	173	205	239	273	308	345	382
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-											
Cenário C	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	63.655	65.243	66.640	67.891	69.027	70.067	71.022	71.964	72.882	73.771	74.630
Evitadas (aterro com queima)	%			24,7%	30,8%	28,8%	26,7%	24,7%	22,6%	20,7%	18,5%	16,4%	14,3%	12,3%
	10 ³ tCO ₂ e			10.745	13.923	13.425	12.845	12.187	11.463	10.750	9.843	8.956	8.016	7.023
Evitadas (aterro com energia)	%			0%	2,1%	4,1%	6,2%	8,2%	10,3%	12,4%	14,4%	16,5%	18,6%	20,6%
	10 ³ tCO ₂ e			-	928	1.918	2.963	4.068	5.223	6.428	7.688	9.002	10.370	11.793
Evitadas (térmica)	%			0%	0,3%	0,7%	1,0%	1,4%	1,7%	1,9%	2,1%	2,3%	2,5%	2,7%
	10 ³ tCO ₂ e			-	-	74	204	376	583	815	1.041	1.263	1.486	1.712
Evitadas (biodigestão)	%			0%	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	2,5%	2,9%	3,3%	3,7%	4,1%	4,5%
	10 ³ tCO ₂ e			-	-	109	300	553	857	1.210	1.564	1.933	2.317	2.718
Evitadas (compostagem)	%			1,9%	2,0%	2,2%	2,3%	2,5%	2,7%	2,8%	3,0%	3,1%	3,3%	3,5%
	10 ³ tCO ₂ e			1.226	1.338	1.464	1.602	1.749	1.906	2.073	2.247	2.430	2.620	2.816

Evitadas (reciclagem)	%			7,7%	7,9%	8,1%	8,3%	8,5%	8,7%	8,9%	9,1%	9,3%	9,5%	9,7%
	10 ³ tCO2e			2.136	2.261	2.389	2.521	2.656	2.795	2.938	3.084	3.234	3.388	3.545
Aterro com queima	10 ³ tCO2e	127,00	93,00	52.911	51.321	53.215	55.047	56.840	58.604	60.272	62.122	63.926	65.755	67.606
Aterro com energia	10 ³ tCO2e	273,00	-	63.655	64.315	64.723	64.928	64.959	64.844	64.593	64.276	63.880	63.401	62.837
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO2e	263,00		-	179	364	555	752	949	1.084	1.217	1.354	1.494	1.650
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO2e	56,00		-	8	16	25	34	44	51	59	67	75	84
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO2e	23,30	-	306	337	369	402	436	471	508	545	583	622	660
Reciclagem	10 ³ tCO2e	226,20	-											

Tabela B.7 – Emissões líquidas e emissões evitadas por medida de mitigação por cenário – Brasil (continuação)

Cenário A	Unidade	Custo		Emissões Totais (1000 tCO2e)									
		R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO2e	60,00	50,00	82.655	84.211	85.751	87.275	88.785	90.281	91.766	93.238	94.701	95.882
Evitadas (aterro com queima)	%												
	10 ³ tCO2e												
Evitadas (aterro com energia)	%												
	10 ³ tCO2e												
Evitadas (térmica)	%												
	10 ³ tCO2e												
Evitadas (biodigestão)	%												
	10 ³ tCO2e												
Evitadas (compostagem)	%			0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
	10 ³ tCO2e			270	267	263	259	254	249	244	239	233	227
Evitadas (reciclagem)	%			8,9%	9,0%	9,2%	9,3%	9,4%	9,5%	9,7%	9,8%	9,9%	10,1%
	10 ³ tCO2e			3.510	3.647	3.786	3.927	4.070	4.215	4.362	4.512	4.663	4.812
Aterro com queima	10 ³ tCO2e												
Aterro com energia	10 ³ tCO2e												

Térmica waste-to-energy	10³ tCO2e												
Biodigestão anaeróbia	10³ tCO2e												
Compostagem aeróbia	10³ tCO2e	23,30		40	38	37	36	34	33	32	30	29	28
Reciclagem	10³ tCO2e	226,20											
Cenário B	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aterro sem queima (total)	10³ tCO2e	60,00	50,00	81.126	82.502	83.869	85.224	86.568	87.901	89.223	90.534	91.834	92.829
Evitadas (aterro com queima)	%			10,2%	8,2%	6,1%	4,0%	2,0%	0%	0%	0%	0%	0%
	10³ tCO2e			6.429	5.269	4.043	2.746	1.376	-	-	-	-	-
Evitadas (aterro com energia)	%			22,7%	24,7%	26,8%	28,9%	30,9%	32,9%	32,9%	32,9%	32,9%	32,9%
	10³ tCO2e			14.272	15.991	17.792	19.676	21.643	23.625	24.241	24.865	25.498	26.052
Evitadas (térmica)	%												
	10³ tCO2e												
Evitadas (biodigestão)	%												
	10³ tCO2e												
Evitadas (compostagem)	%			2,2%	2,3%	2,5%	2,7%	2,8%	3,0%	3,2%	3,3%	3,5%	3,7%
	10³ tCO2e			1.552	1.728	1.913	2.105	2.305	2.513	2.728	2.950	3.180	3.405
Evitadas (reciclagem)	%			9,9%	10,1%	10,3%	10,5%	10,7%	10,9%	11,1%	11,3%	11,5%	11,7%
	10³ tCO2e			3.706	3.871	4.039	4.211	4.387	4.567	4.750	4.937	5.128	5.316
Aterro com queima	10³ tCO2e	127,00	93,00	74.697	77.233	79.826	82.478	85.192	87.901	89.223	90.534	91.834	92.829
Aterro com energia	10³ tCO2e	273,00		66.854	66.511	66.076	65.548	64.926	64.276	64.982	65.668	66.336	66.777
Térmica waste-to-energy	10³ tCO2e												
Biodigestão anaeróbia	10³ tCO2e												
Compostagem aeróbia	10³ tCO2e	23,30	-	420	459	499	540	581	624	668	713	748	784
Reciclagem	10³ tCO2e	226,20	-										
Cenário C	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aterro sem queima (total)	10³ tCO2e	60,00	50,00	75.486	76.344	77.219	78.099	78.974	79.851	80.316	80.566	80.648	80.332
Evitadas (aterro com queima)	%			10,3%	8,2%	6,1%	4,0%	2,0%	0%	0%	0%	0%	0%

	10 ³ tCO ₂ e			6.065	4.894	3.738	2.527	1.261	-	-	-	-	-
Evitadas (aterro com energia)	%			22,7%	24,7%	26,8%	28,9%	30,9%	33,0%	35,1%	37,1%	39,2%	41,2%
	10 ³ tCO ₂ e			13.319	14.852	16.449	18.110	19.834	21.623	23.353	25.064	26.759	28.344
Evitadas (térmica)	%			2,7%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	3,7%	4,5%	5,3%	6,2%	7,0%
	10 ³ tCO ₂ e			1.949	2.144	2.310	2.457	2.590	2.716	3.058	3.562	4.189	4.889
Evitadas (biodigestão)	%			4,7%	5,0%	5,2%	5,5%	5,7%	6,6%	7,2%	7,8%	8,4%	9,0%
	10 ³ tCO ₂ e			3.144	3.535	3.914	4.287	4.659	5.021	5.584	6.202	6.866	7.540
Evitadas (compostagem)	%			3,6%	3,8%	4,0%	4,2%	4,3%	4,5%	4,7%	4,9%	5,1%	5,3%
	10 ³ tCO ₂ e			3.018	3.230	3.452	3.683	3.923	4.171	4.429	4.694	4.964	5.243
Evitadas (reciclagem)	%			9,9%	10,1%	10,3%	10,5%	10,7%	10,9%	11,1%	11,3%	11,5%	11,7%
	10 ³ tCO ₂ e			3.706	3.871	4.039	4.211	4.387	4.567	4.750	4.937	5.128	5.316
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e	127,00	93,00	69.420	71.451	73.482	75.572	77.713	79.851	80.316	80.566	80.648	80.332
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e	273,00	-	62.167	61.493	60.770	59.989	59.141	58.228	56.963	55.503	53.889	51.989
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e	263,00		1.687	1.724	1.761	1.799	1.840	2.419	3.013	3.623	4.192	4.744
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e	56,00		89	95	101	107	113	133	147	162	174	187
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	703	748	792	839	887	936	986	1.035	1.087	1.140
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-										

Tabela B.7 – Emissões líquidas e emissões evitadas por medida de mitigação por cenário – Brasil (continuação)

Cenário A	Unidade	Custo		Emissões Totais (1000 tCO2e)									
		R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO2e	60,00	50,00	96.827	98.418	100.017	101.552	103.042	104.576	105.994	107.389	108.775	110.153
Evitadas (aterro com queima)	%												
	10 ³ tCO2e												
Evitadas (aterro com energia)	%												
	10 ³ tCO2e												
Evitadas (térmica)	%												
	10 ³ tCO2e												
Evitadas (biodigestão)	%												
	10 ³ tCO2e												
Evitadas (compostagem)	%			0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
	10 ³ tCO2e			221	215	209	202	195	189	182	175	168	161
Evitadas (reciclagem)	%			10,2%	10,3%	10,5%	10,6%	10,7%	10,8%	11,0%	11,1%	11,2%	11,4%
	10 ³ tCO2e			4.957	5.116	5.278	5.441	5.607	5.777	5.948	6.120	6.295	6.473
Aterro com queima	10 ³ tCO2e												
Aterro com energia	10 ³ tCO2e												
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO2e												
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO2e												
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO2e	23,30		26	25	24	22	21	20	18	17	16	15
Reciclagem	10 ³ tCO2e	226,20											
Cenário B	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO2e	60,00	50,00	93.608	95.113	96.533	97.895	99.268	100.797	102.273	103.799	105.362	106.957
Evitadas (aterro com queima)	%			0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	10 ³ tCO2e			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Evitadas (aterro com energia)	%			32,9%	32,9%	32,9%	32,9%	32,9%	32,9%	32,9%	32,9%	32,9%	32,9%

	10 ³ tCO ₂ e			26.552	27.281	27.995	28.703	29.411	30.146	30.852	31.566	32.290	33.023
Evitadas (térmica)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (biodigestão)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (compostagem)	%			3,8%	4,0%	4,2%	4,3%	4,5%	4,7%	4,9%	5,0%	5,2%	5,4%
	10 ³ tCO ₂ e			3.626	3.888	4.153	4.424	4.700	4.986	5.273	5.567	5.867	6.175
Evitadas (reciclagem)	%			11,9%	12,1%	12,3%	12,5%	12,7%	12,9%	13,1%	13,3%	13,5%	13,7%
	10 ³ tCO ₂ e			5.501	5.704	5.911	6.122	6.336	6.556	6.778	7.003	7.232	7.465
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e	127,00	93,00	93.608	95.113	96.533	97.895	99.268	100.797	102.273	103.799	105.362	106.957
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e	273,00		67.056	67.833	68.538	69.191	69.857	70.651	71.421	72.232	73.072	73.934
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e												
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e												
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	852	901	950	1.000	1.055	1.104	1.157	1.211	1.266	1.357
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-										
Cenário C	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	79.733	79.947	80.211	80.504	80.852	81.350	81.932	82.642	83.441	84.308
Evitadas (aterro com queima)	%			0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	10 ³ tCO ₂ e			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Evitadas (aterro com energia)	%			43,3%	45,0%	45,0%	45,0%	45,0%	45,0%	45,0%	45,0%	45,0%	45,0%
	10 ³ tCO ₂ e			29.836	31.429	31.873	32.336	32.810	33.320	33.849	34.422	35.027	35.658
Evitadas (térmica)	%			7,2%	7,4%	7,6%	7,8%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%
	10 ³ tCO ₂ e			5.639	6.335	6.947	7.504	8.025	8.533	8.954	9.324	9.656	9.961
Evitadas (biodigestão)	%			9,2%	9,4%	9,6%	9,8%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%
	10 ³ tCO ₂ e			8.223	8.905	9.523	10.100	10.651	11.196	11.656	12.066	12.441	12.789
Evitadas (compostagem)	%			5,4%	5,6%	5,8%	5,9%	6,1%	6,3%	6,5%	6,7%	6,8%	6,9%
	10 ³ tCO ₂ e			5.530	5.826	6.130	6.441	6.760	7.086	7.420	7.761	8.114	8.474

Evitadas (reciclagem)	%			11,9%	12,1%	12,3%	12,5%	12,7%	12,9%	13,1%	13,3%	13,5%	13,7%
	10 ³ tCO ₂ e			5.501	5.704	5.911	6.122	6.336	6.556	6.778	7.003	7.232	7.465
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e	127,00	93,00	79.733	79.947	80.211	80.504	80.852	81.350	81.932	82.642	83.441	84.308
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e	273,00	-	49.897	48.518	48.338	48.168	48.042	48.030	48.083	48.220	48.414	48.650
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e	263,00		5.071	5.278	5.488	5.702	5.939	5.991	6.062	6.133	6.204	6.445
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e	56,00		198	205	212	219	227	229	232	235	237	247
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	1.195	1.251	1.307	1.364	1.422	1.482	1.543	1.608	1.671	1.745
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-										

APÊNDICE C – Dados e resultados - Rio de Janeiro (Estado)

Tabela C.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação nos cenários A, B e C - Estado do RJ

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
População	14.588.624	14.739.191	14.895.357	15.045.188	15.188.870	15.326.592	15.458.541	15.584.906	15.685.874
PIB	139.754.794.677	152.098.914.380	184.310.915.240	202.640.788.574	241.206.738.200	269.830.061.003	299.738.183.007	323.698.285.515	378.285.800.318
PIB Industrial (Mi R\$)	33.609.969	35.382.083	43.222.792	49.897.165	60.686.375	74.503.631	88.694.876	88.087.478	108.291.607
PIB per capita	9.580	10.319	12.374	13.469	15.880	17.605	19.390	20.770	24.116
Taxa (kg/hab/dia)	0,990	0,996	1,009	1,016	1,028	1,036	1,044	1,049	1,061
Prod domic+GG (kg)	5.274.192.840	5.357.904.141	5.487.791.807	5.577.933.415	5.700.543.273	5.796.598.954	5.888.805.428	5.967.560.246	6.073.871.686
Prod RSI (t)	368.345	387.766	473.695	546.842	665.085	816.514	972.041	965.385	1.186.809
Geração Total RS (t)	5.642.537	5.745.670	5.961.487	6.124.776	6.365.629	6.613.113	6.860.847	6.932.945	7.260.681
Coletado Aterros A (t)	5.021.858	5.113.646	5.305.723	5.451.050	5.570.981	5.732.623	6.035.751	6.091.181	6.389.260
Coletado Aterros A (%)	89,0%	89,0%	89,0%	89,0%	87,5%	86,7%	88,0%	87,9%	88,0%
Coletado Aterros B (t)									
Coletado Aterros B (%)									
Coletado Aterros C (t)									
Coletado Aterros C (%)									
Não categorizado A (t)	620.679	632.024	655.764	673.725	700.219	727.442	715.517	723.036	757.216
Não categorizado A (%)	11,0%	11,0%	11,0%	11,0%	11,0%	11,0%	10,4%	10,4%	10,4%
Não categorizado B (t)									
Não categorizado B (%)									
Não categorizado C (t)									
Não categorizado C (%)									
Food	56,15	56,03	55,72	55,58	55,31	54,13	54,98	54,87	54,62
Garden	2,38	2,25	1,96	1,84	1,63	1,50	1,40	1,33	1,19
Paper	18,68	18,81	19,02	19,15	19,18	17,25	19,39	19,49	19,70

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Wood	0,43	0,46	0,52	0,56	0,63	0,68	0,73	0,77	0,86
Textile	2,04	2,01	1,95	1,92	1,86	1,83	1,80	1,77	1,72
Nappies	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plastics, Inerts	20,32	20,44	20,82	20,95	21,39	24,61	21,70	21,77	21,91
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cap instalada RMRJ(t)									
Dem reprimida RM A									
Dem reprimida RM B									
Dem reprimida RM C									
RSS (t) (SNIS, 2008)	18.541	18.732	18.931	19.121	19.304	19.479	19.647	19.807	19.936
Térmico (t) PNAD,2019					94.429	98.757	54.424	62.836	57.317
Térmico (%) PNAD,2019					1,5%	1,5%	0,8%	0,9%	0,8%
Usina Waste-Energy B (t)									
Usina Waste-Energy B (%)									
Usina Waste-Energy C (t)									
Usina Waste-Energy C (%)									
Compostagem A (t)									
Compostagem A (%)									
Compostagem B (t)									
Compostagem B (%)									
Compostagem C (t)									
Compostagem C (%)									
Usina Biodigestão (t)									
Usina Biodigestão (%)									
Reciclagem secos A (t)						54.291	55.155	55.892	56.888
Reciclagem secos A (%)						0,8%	0,8%	0,8%	0,8%

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Reciclagem secos B (t)									
Reciclagem secos B (%)									
Reciclagem secos C (t)									
Reciclagem secos C (%)									
Reciclagem Papel A (t)						26.449	26.869	27.229	27.714
Reciclagem Papel B (t)									
Reciclagem Papel C (t)									

Tabela C.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação nos cenários A, B e C - Estado do RJ (continuação)

Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
População	15.826.165	15.968.600	16.405.508	16.510.627	16.616.344	16.726.184	16.841.138	16.947.738	17.051.465
PIB	391.650.854.277	449.858.101.107	512.767.904.775	574.884.973.126	628.226.069.365	671.076.844.309	659.139.000.000	640.186.000.000	621.036.000.000
PIB Industrial (Mi R\$)	93.162.141	113.193.366	135.538.930	159.147.027	162.747.236	171.683.780	131.278.612	98.761.409	117.375.804
PIB per capita	24.747	28.171	31.256	34.819	37.808	40.121	39.139	37.774	36.421
Taxa (kg/hab/dia)	1,063	1,073	1,082	1,091	1,097	1,102	1,100	1,097	1,094
Prod domic+GG (kg)	6.140.090.812	6.256.057.917	6.477.788.182	6.572.710.129	6.656.175.220	6.730.423.690	6.763.942.566	6.788.467.656	6.811.168.913
Prod RSI (t)	1.021.000	1.240.530	1.485.423	1.744.154	1.783.610	1.881.549	1.438.733	1.082.364	1.286.367
Geração Total RS (t)	7.161.091	7.496.588	7.963.212	8.316.864	8.439.785	8.611.972	8.202.675	7.870.832	8.097.536
Coletado Aterros A (t)	6.316.268	6.590.514	6.991.658	7.322.887	7.431.302	7.564.384	7.209.735	7.041.390	7.247.466
Coletado Aterros A (%)	88,2%	87,9%	87,8%	88,0%	88,1%	87,8%	87,9%	89,5%	89,5%
Coletado Aterros B (t)									
Coletado Aterros B (%)									
Coletado Aterros C (t)									
Coletado Aterros C (%)									
Não categorizado A (t)	746.830	781.819	830.483	867.365	880.184	898.142	855.456	708.375	728.778
Não categorizado A (%)	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	9,0%	9,0%
Não categorizado B (t)									
Não categorizado B (%)									
Não categorizado C (t)									
Não categorizado C (%)									
Food	54,58	54,37	54,20	54,02	53,89	53,79	53,83	53,89	53,95
Garden	1,16	1,06	0,98	0,90	0,85	0,81	0,82	0,85	0,87
Paper	19,74	19,92	20,07	20,23	20,35	20,44	20,40	20,35	20,29
Wood	0,88	0,96	1,04	1,13	1,20	1,25	1,23	1,20	1,16
Textile	1,71	1,67	1,63	1,60	1,57	1,55	1,56	1,57	1,58

Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Nappies	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plastics, Inerts	21,93	22,02	22,08	22,13	22,15	22,16	22,16	22,15	22,14
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cap instalada RMRJ(t)				7.607.513	7.607.513	7.607.513	7.534.513	7.534.513	7.534.513
Dem reprimida RM A				2.923.171	2.865.184	2.819.039	2.683.503	2.541.262	2.539.533
Dem reprimida RM B				2.872.076	2.813.440	2.766.719	2.630.469	2.488.035	2.539.053
Dem reprimida RM C				2.872.076	2.813.440	2.766.719	2.630.469	2.488.035	2.539.053
RSS (t) (SNIS, 2008)	20.114	20.295	20.850	20.984	21.118	21.258	21.404	21.539	21.671
Térmico (t) PNAD,2019	40.484	65.661	80.399	65.052	65.956	86.409	73.588	56.939	56.948
Térmico (%) PNAD,2019	0,6%	0,9%	1,0%	0,8%	0,8%	1,0%	0,9%	0,7%	0,7%
Usina Waste-Energy B (t)									
Usina Waste-Energy B (%)									
Usina Waste-Energy C (t)									
Usina Waste-Energy C (%)									
Compostagem A (t)							545	548	550
Compostagem A (%)							0,007%	0,007%	0,007%
Compostagem B (t)									
Compostagem B (%)									
Compostagem C (t)									
Compostagem C (%)									
Usina Biodigestão (t)									
Usina Biodigestão (%)									
Reciclagem secos A (t)	57.508	58.594	60.671	61.560	62.342	63.037	63.351	63.581	63.793
Reciclagem secos A (%)	0,8%	0,8%	0,8%	0,7%	0,7%	0,7%	0,8%	0,8%	0,8%
Reciclagem secos B (t)									63.765
Reciclagem secos B (%)									0,8%

Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Reciclagem secos C (t)									63.765
Reciclagem secos C (%)									0,8%
Reciclagem Papel A (t)	28.016	28.545	29.557	29.990	30.371	30.710	30.863	30.974	31.078
Reciclagem Papel B (t)									31.064
Reciclagem Papel C (t)									31.064

Tabela C.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação nos cenários A, B e C - Estado do RJ (continuação)

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
População	17.159.960	17.264.943	17.366.189	17.463.349	17.556.065	17.644.073	17.727.277	17.805.632	17.879.062
PIB	621.036.000.000	621.036.000.000	621.036.000.000	627.991.603.200	635.025.109.156	642.137.390.378	649.329.329.151	656.601.817.637	665.137.641.266
PIB Industrial (Mi R\$)	146.577.726	151.926.606	157.249.441	162.547.350	167.821.370	173.072.454	178.301.489	183.509.299	188.696.650
PIB per capita	36.191	35.971	35.761	35.961	36.171	36.394	36.629	36.876	37.202
Taxa (kg/hab/dia)	1,094	1,093	1,093	1,093	1,094	1,094	1,095	1,095	1,096
Prod domic+GG (kg)	6.851.215.305	6.889.947.539	6.927.284.532	6.968.973.458	7.009.073.169	7.047.484.208	7.084.168.868	7.119.108.092	7.153.235.044
Prod RSI (t)	1.606.402	1.665.022	1.723.357	1.781.419	1.839.219	1.896.768	1.954.075	2.011.149	2.067.999
Geração Total RS (t)	8.457.617	8.554.970	8.650.642	8.750.392	8.848.292	8.944.252	9.038.244	9.130.257	9.221.234
Coletado Aterros A (t)	7.573.907	7.662.860	7.275.753	7.366.748	7.456.045	7.543.568	7.629.295	7.713.222	7.888.405
Coletado Aterros A (%)	89,6%	89,6%	84,1%	84,2%	84,3%	84,3%	84,4%	84,5%	85,5%
Coletado Aterros B (t)	7.592.802	7.701.081	7.333.748	7.445.061	7.555.122	7.663.839	7.771.177	7.877.115	7.982.513
Coletado Aterros B (%)	89,8%	90,0%	84,8%	85,1%	85,4%	85,7%	86,0%	86,3%	86,6%
Coletado Aterros C (t)	7.590.182	7.696.100	7.801.156	7.910.633	8.019.111	8.126.490	8.232.725	8.337.788	8.442.544
Coletado Aterros C (%)	89,7%	90,0%	90,2%	90,4%	90,6%	90,9%	91,1%	91,3%	91,6%
Não categorizado A (t)	761.186	769.947	778.558	787.535	796.346	804.983	813.442	821.723	737.699
Não categorizado A (%)	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	8,0%
Não categorizado B (t)	740.682	728.469	715.644	702.683	689.094	674.884	660.066	644.651	628.721
Não categorizado B (%)	8,8%	8,5%	8,3%	8,0%	7,8%	7,5%	7,3%	7,1%	6,8%
Não categorizado C (t)	729.469	705.785	681.238	656.279	630.441	603.737	576.188	547.815	518.694
Não categorizado C (%)	8,6%	8,3%	7,9%	7,5%	7,1%	6,8%	6,4%	6,0%	5,6%
Food	53,96	53,97	53,98	53,97	53,96	53,95	53,94	53,93	53,91
Garden	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87	0,86	0,86
Paper	20,29	20,28	20,27	20,28	20,28	20,29	20,30	20,31	20,33
Wood	1,16	1,15	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,18
Textile	1,58	1,58	1,59	1,59	1,58	1,58	1,58	1,58	1,57

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Nappies	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plastics, Inerts	22,14	22,14	22,14	22,14	22,14	22,14	22,14	22,14	22,15
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cap instalada RMRJ(t)	7.534.513	7.534.513	8.009.013	8.009.013	8.009.013	8.009.013	8.009.013	8.009.013	8.009.013
Dem reprimida RM A	2.533.507	2.508.935	2.959.885	2.933.061	2.907.406	2.882.994	2.859.855	2.838.002	2.740.204
Dem reprimida RM B	2.534.842	2.511.638	2.963.967	2.938.489	2.914.191	2.891.150	2.869.395	2.848.941	2.752.547
Dem reprimida RM C	2.546.323	2.534.601	2.998.411	2.984.414	2.971.598	2.960.038	2.949.764	2.940.790	2.855.878
RSS (t) (SNIS, 2008)	21.809	21.943	22.071	22.195	22.313	22.424	22.530	22.630	22.723
Térmico (t) PNAD,2019	57.803	57.075	56.390	55.775	55.188	54.626	54.084	53.560	53.056
Térmico (%) PNAD,2019	0,7%	0,7%	0,7%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%
Usina Waste-Energy B (t)			474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500
Usina Waste-Energy B (%)			5,49%	5,42%	5,36%	5,31%	5,25%	5,20%	5,15%
Usina Waste-Energy C (t)									
Usina Waste-Energy C (%)									
Compostagem A (t)	553	557	560	563	566	569	572	575	577
Compostagem A (%)	0,007%	0,007%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%
Compostagem B (t)	553	557	560	563	566	569	572	575	577
Compostagem B (%)	0,007%	0,007%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%
Compostagem C (t)	553	557	560	563	566	569	572	575	577
Compostagem C (%)	0,007%	0,007%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%
Usina Biodigestão (t)									
Usina Biodigestão (%)									
Reciclagem secos A (t)	64.168	64.531	64.881	65.271	65.647	66.007	66.350	66.678	66.997
Reciclagem secos A (%)	0,8%	0,8%	0,8%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
Reciclagem secos B (t)	65.777	67.788	69.799	71.811	73.822	75.834	77.845	79.856	81.868
Reciclagem secos B (%)	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0,9%	0,9%	0,9%

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Reciclagem secos C (t)	79.610	95.454	111.298	127.142	142.986	158.830	174.674	190.519	206.363
Reciclagem secos C (%)	0,9%	1,1%	1,3%	1,5%	1,6%	1,8%	1,9%	2,1%	2,2%
Reciclagem Papel A (t)	31.261	31.437	31.608	31.798	31.981	32.156	32.324	32.483	32.639
Reciclagem Papel B (t)	32.044	33.024	34.004	34.984	35.964	36.944	37.923	38.903	39.883
Reciclagem Papel C (t)	38.783	46.502	54.221	61.939	69.658	77.377	85.096	92.814	100.533

Tabela C.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação nos cenários A, B e C - Estado do RJ (continuação)

Ano	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
População	17.947.533	18.011.046	18.069.615	18.123.293	18.172.068	18.215.864	18.254.703	18.288.654	18.317.762
PIB	673.784.430.603	682.543.628.201	691.416.695.367	700.405.112.407	714.413.214.655	728.701.478.948	743.275.508.527	758.141.018.698	773.303.839.072
PIB Industrial (Mi R\$)	193.864.259	199.012.795	204.142.887	209.255.126	214.350.067	219.428.234	224.490.121	229.536.197	234.566.904
PIB per capita	37.542	37.896	38.264	38.647	39.314	40.004	40.717	41.454	42.216
Taxa (kg/hab/dia)	1,097	1,098	1,098	1,099	1,101	1,102	1,104	1,105	1,107
Prod domic+GG (kg)	7.185.579.459	7.216.138.103	7.244.912.429	7.271.918.239	7.300.959.597	7.328.220.379	7.353.701.780	7.377.422.413	7.399.391.935
Prod RSI (t)	2.124.633	2.181.058	2.237.281	2.293.308	2.349.145	2.404.799	2.460.274	2.515.576	2.570.709
Geração Total RS (t)	9.310.213	9.397.196	9.482.193	9.565.226	9.650.105	9.733.019	9.813.976	9.892.998	9.970.101
Coletado Aterros A (t)	7.970.450	8.050.666	8.129.062	8.205.658	8.283.909	8.360.363	8.435.028	8.507.926	8.579.070
Coletado Aterros A (%)	85,6%	85,7%	85,7%	85,8%	85,8%	85,9%	85,9%	86,0%	86,0%
Coletado Aterros B (t)	8.086.471	8.188.982	8.290.040	8.389.651	8.473.264	8.555.424	8.636.123	8.715.370	8.793.167
Coletado Aterros B (%)	86,9%	87,1%	87,4%	87,7%	87,8%	87,9%	88,0%	88,1%	88,2%
Coletado Aterros C (t)	8.546.074	8.648.364	8.749.399	8.849.180	8.935.911	9.021.374	9.105.555	9.188.456	9.270.069
Coletado Aterros C (%)	91,8%	92,0%	92,3%	92,5%	92,6%	92,7%	92,8%	92,9%	93,0%
Não categorizado A (t)	744.817	751.776	758.575	765.218	772.008	778.642	785.118	791.440	797.608
Não categorizado A (%)	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%
Não categorizado B (t)	612.217	595.156	577.552	559.421	540.991	522.044	502.595	482.658	462.250
Não categorizado B (%)	6,6%	6,3%	6,1%	5,8%	5,6%	5,4%	5,1%	4,9%	4,6%
Não categorizado C (t)	488.786	458.113	426.699	394.566	361.879	328.489	294.419	259.691	224.327
Não categorizado C (%)	5,3%	4,9%	4,5%	4,1%	3,8%	3,4%	3,0%	2,6%	2,3%
Food	53,90	53,88	53,87	53,85	53,83	53,80	53,77	53,74	53,71
Garden	0,85	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78
Paper	20,34	20,35	20,37	20,38	20,41	20,43	20,46	20,48	20,51
Wood	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,25	1,26	1,28	1,30
Textile	1,57	1,57	1,56	1,56	1,55	1,55	1,54	1,54	1,53

Ano	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Nappies	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plastics, Inerts	22,15	22,15	22,15	22,16	22,16	22,16	22,17	22,17	22,17
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cap instalada RMRJ(t)	8.009.013	8.009.013	8.009.013	8.009.013	8.009.013	8.009.013	8.009.013	7.096.513	7.096.513
Dem reprimida RM A	2.719.520	2.700.171	2.682.158	2.665.468	2.647.227	2.630.320	2.614.745	1.687.990	1.675.047
Dem reprimida RM B	2.733.280	2.715.364	2.698.796	2.683.566	2.681.807	2.681.396	2.682.331	1.772.100	1.775.694
Dem reprimida RM C	2.848.093	2.841.657	2.836.571	2.832.822	2.840.308	2.849.142	2.859.323	1.958.336	1.971.176
RSS (t) (SNIS, 2008)	22.810	22.891	22.965	23.033	23.095	23.151	23.200	23.244	23.281
Térmico (t) PNAD,2019	52.565	52.086	51.616	51.154	50.718	50.288	49.863	49.442	49.025
Térmico (%) PNAD,2019	0,6%	0,6%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Usina Waste-Energy B (t)	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500
Usina Waste-Energy B (%)	5,10%	5,05%	5,00%	4,96%	4,92%	4,88%	4,83%	4,80%	4,76%
Usina Waste-Energy C (t)									
Usina Waste-Energy C (%)									
Compostagem A (t)	580	582	584	586	588	590	592	593	595
Compostagem A (%)	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%
Compostagem B (t)	580	582	584	586	588	590	592	593	595
Compostagem B (%)	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%
Compostagem C (t)	580	582	584	586	588	590	592	593	595
Compostagem C (%)	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%
Usina Biodigestão (t)									
Usina Biodigestão (%)									
Reciclagem secos A (t)	67.300	67.586	67.856	68.109	68.381	68.636	68.875	69.097	69.303
Reciclagem secos A (%)	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
Reciclagem secos B (t)	83.879	85.890	87.902	89.913	110.043	130.173	150.304	170.434	190.564
Reciclagem secos B (%)	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	1,1%	1,3%	1,5%	1,7%	1,9%

Ano	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Reciclagem secos C (t)	222.207	238.051	253.895	269.739	301.008	332.277	363.546	394.815	426.084
Reciclagem secos C (%)	2,4%	2,5%	2,7%	2,8%	3,1%	3,4%	3,7%	4,0%	4,3%
Reciclagem Papel A (t)	32.786	32.926	33.057	33.180	33.313	33.437	33.554	33.662	33.762
Reciclagem Papel B (t)	40.863	41.843	42.823	43.803	53.609	63.416	73.223	83.030	92.836
Reciclagem Papel C (t)	108.252	115.971	123.689	131.408	146.641	161.875	177.108	192.341	207.574

Tabela C.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação nos cenários A, B e C - Estado do RJ (continuação)

Ano	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
População	18.342.021	18.361.396	18.375.931	18.385.689	18.390.776	18.391.358	18.387.586	18.379.573	18.367.369
PIB	788.769.915.853	804.545.314.170	820.636.220.454	837.048.944.863	853.789.923.760	879.403.621.473	905.785.730.117	932.959.302.021	960.948.081.081
PIB Industrial (Mi R\$)	239.582.662	244.583.871	249.570.908	254.544.136	259.503.898	264.450.522	269.384.322	274.305.596	279.214.632
PIB per capita	43.003	43.817	44.658	45.527	46.425	47.816	49.261	50.761	52.318
Taxa (kg/hab/dia)	1,108	1,110	1,111	1,113	1,115	1,117	1,120	1,122	1,125
Prod domic+GG (kg)	7.419.600.896	7.438.028.845	7.454.684.733	7.469.584.601	7.482.760.657	7.499.837.139	7.515.318.546	7.529.236.820	7.541.600.242
Prod RSI (t)	2.625.679	2.680.489	2.735.144	2.789.647	2.844.003	2.898.215	2.952.287	3.006.221	3.060.021
Geração Total RS (t)	10.045.280	10.118.518	10.189.828	10.259.232	10.326.764	10.398.052	10.467.605	10.535.458	10.601.621
Coletado Aterros A (t)	8.748.910	8.817.259	8.883.830	8.948.641	9.011.726	9.078.244	9.143.162	9.206.511	9.268.304
Coletado Aterros A (%)	87,1%	87,1%	87,2%	87,2%	87,3%	87,3%	87,3%	87,4%	87,4%
Coletado Aterros B (t)	8.869.494	8.944.324	9.017.654	9.089.491	9.159.855	9.221.571	9.281.947	9.341.005	9.398.743
Coletado Aterros B (%)	88,3%	88,4%	88,5%	88,6%	88,7%	88,7%	88,7%	88,7%	88,7%
Coletado Aterros C (t)	9.350.369	9.429.320	6.585.571	6.679.422	6.773.249	6.865.991	6.919.495	6.972.495	5.199.998
Coletado Aterros C (%)	93,1%	93,2%	64,6%	65,1%	65,6%	66,0%	66,1%	66,2%	49,0%
Não categorizado A (t)	703.170	708.296	713.288	718.146	722.873	727.864	732.732	737.482	742.113
Não categorizado A (%)	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%
Não categorizado B (t)	441.383	420.072	398.330	376.172	353.613	330.847	307.684	284.138	260.222
Não categorizado B (%)	4,4%	4,2%	3,9%	3,7%	3,4%	3,2%	2,9%	2,7%	2,5%
Não categorizado C (t)	188.349	151.778	114.636	76.944	38.725	-	-	-	-
Não categorizado C (%)	1,9%	1,5%	1,1%	0,8%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Food	53,68	53,65	53,62	53,59	53,56	53,51	53,46	53,41	53,37
Garden	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,71	0,69	0,68	0,66
Paper	20,54	20,57	20,59	20,62	20,65	20,70	20,74	20,79	20,83
Wood	1,32	1,33	1,35	1,37	1,39	1,42	1,46	1,49	1,52
Textile	1,52	1,52	1,51	1,50	1,50	1,49	1,48	1,47	1,46

Ano	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
Nappies	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plastics, Inerts	22,17	22,17	22,17	22,17	22,17	22,17	22,17	22,17	22,16
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cap instalada RMRJ(t)	7.096.513	6.001.513	2.716.513	2.716.513	2.716.513	2.716.513	2.716.513	2.716.513	891.513
Dem reprimida RM A	1.580.048	474.152	-2.820.399	-2.828.617	-2.835.527	-2.845.425	-2.854.112	-2.861.614	-4.692.935
Dem reprimida RM B	1.697.245	607.914	-2.670.058	-2.661.684	-2.651.988	-2.634.863	-2.616.515	-2.596.968	-4.401.229
Dem reprimida RM C	1.901.973	821.887	-2.446.840	-2.429.221	-2.410.280	-2.383.107	-2.354.712	-2.325.119	-4.119.333
RSS (t) (SNIS, 2008)	23.311	23.336	23.355	23.367	23.373	23.374	23.369	23.359	23.344
Térmico (t) PNAD,2019	48.612	48.201	47.792	47.385	46.981	46.600	46.221	45.844	45.467
Térmico (%) PNAD,2019	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%
Usina Waste-Energy B (t)	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500
Usina Waste-Energy B (%)	4,72%	4,69%	4,66%	4,63%	4,59%	4,56%	4,53%	4,50%	4,48%
Usina Waste-Energy C (t)			1.624.515	1.616.234	1.607.331	1.594.560	1.581.215	1.567.306	2.410.586
Usina Waste-Energy C (%)			15,94%	15,75%	15,56%	15,34%	15,11%	14,88%	22,74%
Compostagem A (t)	596	597	598	599	600	601	601	602	602
Compostagem A (%)	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%
Compostagem B (t)	596	597	598	599	600	601	601	602	602
Compostagem B (%)	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%
Compostagem C (t)	596	597	598	599	600	601	601	602	602
Compostagem C (%)	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%
Usina Biodigestão (t)			1.296.825	1.287.487	1.277.448	1.263.047	1.247.998	1.232.313	2.183.246
Usina Biodigestão (%)			12,73%	12,55%	12,37%	12,15%	11,92%	11,70%	20,59%
Reciclagem secos A (t)	69.492	69.665	69.821	69.960	70.084	70.243	70.388	70.519	70.635
Reciclagem secos A (%)	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
Reciclagem secos B (t)	210.694	230.824	250.954	271.085	291.215	323.933	356.651	389.369	422.087
Reciclagem secos B (%)	2,1%	2,3%	2,5%	2,6%	2,8%	3,1%	3,4%	3,7%	4,0%

Ano	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
Reciclagem secos C (t)	457.353	488.622	519.891	551.160	582.429	627.252	672.075	716.898	761.721
Reciclagem secos C (%)	4,6%	4,8%	5,1%	5,4%	5,6%	6,0%	6,4%	6,8%	7,2%
Reciclagem Papel A (t)	33.854	33.938	34.014	34.082	34.142	34.220	34.291	34.354	34.411
Reciclagem Papel B (t)	102.643	112.450	122.257	132.063	141.870	157.809	173.749	189.688	205.627
Reciclagem Papel C (t)	222.807	238.041	253.274	268.507	283.740	305.577	327.413	349.249	371.085

Tabela C.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação nos cenários A, B e C - Estado do RJ (continuação)

Ano	2045	2046	2047	2048	2049	2050
População	18.351.047	18.330.739	18.306.527	18.278.453	18.246.526	18.210.736
PIB	989.776.523.514	1.019.469.819.219	1.050.053.913.796	1.081.555.531.209	1.114.002.197.146	1.147.422.263.060
PIB Industrial (Mi R\$)	284.111.703	288.997.074	293.870.995	298.733.709	303.585.448	308.426.437
PIB per capita	53.936	55.615	57.360	59.171	61.053	63.008
Taxa (kg/hab/dia)	1,128	1,130	1,133	1,136	1,138	1,141
Prod domic+GG (kg)	7.552.425.867	7.561.753.337	7.569.603.524	7.575.982.143	7.580.882.263	7.584.289.543
Prod RSI (t)	3.113.690	3.167.230	3.220.645	3.273.938	3.327.110	3.380.164
Geração Total RS (t)	10.666.115	10.728.984	10.790.249	10.849.920	10.907.992	10.964.454
Coletado Aterros A (t)	9.328.558	9.494.602	9.552.492	9.608.896	9.663.811	9.717.225
Coletado Aterros A (%)	87,5%	88,5%	88,5%	88,6%	88,6%	88,6%
Coletado Aterros B (t)	9.455.170	9.510.313	9.564.186	9.616.784	9.668.092	9.718.087
Coletado Aterros B (%)	88,6%	88,6%	88,6%	88,6%	88,6%	88,6%
Coletado Aterros C (t)	5.252.010	5.214.493	4.848.036	4.898.137	4.947.787	4.996.985
Coletado Aterros C (%)	49,2%	48,6%	44,9%	45,1%	45,4%	45,6%
Não categorizado A (t)	746.628	643.739	647.415	650.995	654.480	657.867
Não categorizado A (%)	7,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%
Não categorizado B (t)	235.947	211.328	186.377	161.105	135.524	109.645
Não categorizado B (%)	2,2%	2,0%	1,7%	1,5%	1,2%	1,0%
Não categorizado C (t)	-	-	-	-	-	-
Não categorizado C (%)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Food	53,32	53,27	53,22	53,17	53,12	53,07
Garden	0,65	0,63	0,62	0,60	0,59	0,58
Paper	20,88	20,92	20,97	21,02	21,06	21,11
Wood	1,56	1,59	1,63	1,67	1,71	1,75
Textile	1,45	1,44	1,43	1,41	1,40	1,39

Ano	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Nappies	0	0	0	0	0	0
Plastics, Inerts	22,16	22,15	22,14	22,13	22,12	22,10
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cap instalada RMRJ(t)	891.513	891.513	474.500	474.500	474.500	474.500
Dem reprimida RM A	-4.698.089	-4.791.156	-5.211.572	-5.213.845	-5.214.982	-5.214.972
Dem reprimida RM B	-4.379.311	-4.445.295	-4.838.616	-4.813.783	-4.787.802	-4.760.662
Dem reprimida RM C	-4.087.368	-4.143.304	-4.526.578	-4.491.698	-4.455.670	-4.418.484
RSS (t) (SNIS, 2008)	23.323	23.297	23.266	23.231	23.190	23.145
Térmico (t) PNAD,2019	45.091	44.716	44.342	43.969	43.596	43.224
Térmico (%) PNAD,2019	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%
Usina Waste-Energy B (t)	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500
Usina Waste-Energy B (%)	4,45%	4,42%	4,40%	4,37%	4,35%	4,33%
Usina Waste-Energy C (t)	2.395.563	2.421.853	2.601.992	2.585.598	2.568.665	2.551.187
Usina Waste-Energy C (%)	22,46%	22,57%	24,11%	23,83%	23,55%	23,27%
Compostagem A (t)	603	603	603	603	603	602
Compostagem A (%)	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,005%
Compostagem B (t)	603	603	603	603	603	602
Compostagem B (%)	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,005%
Compostagem C (t)	603	603	603	603	603	602
Compostagem C (%)	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,006%	0,005%
Usina Biodigestão (t)	2.166.305	2.195.951	2.399.087	2.380.600	2.361.505	2.341.796
Usina Biodigestão (%)	20,31%	20,47%	22,23%	21,94%	21,65%	21,36%
Reciclagem secos A (t)	70.736	70.823	70.897	70.957	71.003	71.034
Reciclagem secos A (%)	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,6%
Reciclagem secos B (t)	454.805	487.523	520.241	552.959	585.677	618.395
Reciclagem secos B (%)	4,3%	4,5%	4,8%	5,1%	5,4%	5,6%

Ano	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Reciclagem secos C (t)	806.544	851.367	896.190	941.013	985.836	1.030.659
Reciclagem secos C (%)	7,6%	7,9%	8,3%	8,7%	9,0%	9,4%
Reciclagem Papel A (t)	34.460	34.503	34.539	34.568	34.590	34.606
Reciclagem Papel B (t)	221.566	237.505	253.444	269.383	285.323	301.262
Reciclagem Papel C (t)	392.922	414.758	436.594	458.430	480.267	502.103

Tabela C.2 – Resultados das emissões no cenário A – Estado do RJ

Ano	Lixão	Controlado	Sanitário	Não coletado	Total Aterro	Aterro - OX	Aterro -R	Aterro -R-OX	Incineração	Térmicas	Compostagem	Biodigestão	TOTAL	TOTAL -R	TOTAL -R-OX
2015	469,0	2.150,16	5.390,3	663,4	8.672,8	7.924,7	6.799,5	6.213,0	44,0		0,1		8.716,9	6.843,6	6.257,1
2016	419,4	1.798,82	6.105,5	673,8	8.997,5	8.203,3	7.076,4	7.075,5	34,0		0,1		9.031,7	7.110,5	7.109,6
2017	376,0	1.538,74	6.630,8	656,6	9.202,1	8.381,5	7.147,1	7.146,2	34,0		0,1		9.236,3	7.181,3	7.180,4
2018	335,4	1.341,58	7.139,6	650,2	9.466,7	8.605,3	7.309,5	7.308,6	34,5		0,1		9.501,4	7.344,2	7.343,2
2019	286,7	1.188,24	7.696,5	653,2	9.824,7	8.930,6	7.585,9	7.585,0	34,1		0,1		9.858,9	7.620,1	7.619,2
2020	249,9	1.065,77	8.170,5	658,4	10.144,5	9.221,4	7.832,9	7.832,0	33,7		0,1		10.178,3	7.866,7	7.865,8
2021	221,3	965,39	8.439,2	665,0	10.290,8	9.354,4	7.945,8	7.944,9	33,3		0,1		10.324,2	7.979,2	7.978,3
2022	198,4	881,08	8.705,9	672,6	10.458,0	9.506,3	8.074,9	8.074,0	33,0		0,1		10.491,1	8.108,0	8.107,1
2023	179,8	808,76	8.968,3	680,8	10.637,6	9.669,5	8.213,5	8.212,6	32,6		0,1		10.670,3	8.246,3	8.245,4
2024	164,1	745,56	9.224,7	689,4	10.823,7	9.838,7	8.357,2	8.356,3	32,3		0,1		10.856,1	8.389,7	8.388,8
2025	150,6	689,49	9.474,3	698,1	11.012,5	10.010,4	8.503,1	8.502,2	32,0		0,1		11.044,7	8.535,2	8.534,3
2026	138,9	639,16	9.716,7	706,9	11.201,6	10.171,1	8.621,0	8.620,1	31,7		0,1		11.233,5	8.652,8	8.651,9
2027	128,4	593,55	9.980,1	698,8	11.400,9	10.352,0	8.774,4	8.773,5	31,4		0,1		11.432,4	8.805,9	8.805,0
2028	119,1	551,92	10.228,4	695,2	11.594,7	10.528,0	8.923,5	8.922,6	31,1		0,1		11.625,9	8.954,8	8.953,9
2029	110,6	513,72	10.464,4	694,7	11.783,5	10.699,4	9.068,8	9.067,9	30,8		0,1		11.814,4	9.099,8	9.098,9
2030	102,9	478,52	10.689,6	696,3	11.967,3	10.866,3	9.210,3	9.209,4	30,6		0,1		11.998,0	9.241,0	9.240,1
2031	95,8	445,98	10.905,5	699,2	12.146,5	11.029,0	9.348,2	9.347,3	30,3		0,1		12.176,9	9.378,6	9.377,7
2032	89,2	415,83	11.113,8	703,1	12.321,9	11.188,3	9.483,2	9.482,3	30,0		0,1		12.352,1	9.513,4	9.512,5
2033	83,2	387,86	11.315,0	707,6	12.493,7	11.344,2	9.615,4	9.614,5	29,8		0,1		12.523,6	9.645,3	9.644,4
2034	77,6	361,87	11.509,7	712,5	12.661,6	11.496,8	9.744,7	9.743,8	29,5		0,1		12.691,3	9.774,3	9.773,4
2035	72,4	337,69	11.698,2	717,7	12.825,9	11.646,0	9.871,1	9.870,2	29,3		0,1		12.855,4	9.900,5	9.899,6
2036	67,5	315,19	11.880,8	723,1	12.986,6	11.778,9	9.962,3	9.961,4	29,0		0,1		13.015,8	9.991,4	9.990,5
2037	63,0	294,24	12.088,7	710,1	13.156,0	11.932,5	10.092,2	10.091,3	28,8		0,1		13.184,9	10.121,1	10.120,2
2038	58,8	274,72	12.282,8	702,2	13.318,5	12.079,9	10.216,9	10.216,0	28,6		0,1		13.347,2	10.245,5	10.244,6
2039	54,9	256,53	12.466,0	697,7	13.475,2	12.222,0	10.337,1	10.336,2	28,3		0,1		13.503,7	10.365,5	10.364,6

2040	51,3	239,57	12.640,5	695,6	13.627,0	12.359,7	10.453,5	10.452,6	28,1		0,1		13.655,2	10.481,7	10.480,8
2041	47,9	223,76	12.807,5	695,1	13.774,3	12.493,3	10.566,5	10.565,6	27,8		0,1		13.802,3	10.594,5	10.593,6
2042	44,7	209,01	12.969,3	695,8	13.918,9	12.624,4	10.677,4	10.676,5	27,6		0,1		13.946,6	10.705,2	10.704,3
2043	41,8	195,25	13.126,4	697,3	14.060,7	12.753,1	10.786,2	10.785,3	27,4		0,1		14.088,2	10.813,8	10.812,8
2044	39,0	182,42	13.279,2	699,3	14.200,0	12.879,4	10.893,1	10.892,2	27,2		0,1		14.227,3	10.920,3	10.919,4
2045	36,5	170,45	13.428,0	701,8	14.336,7	13.003,4	10.997,9	10.997,0	26,9		0,1		14.363,7	11.025,0	11.024,1
2046	34,1	159,28	13.573,0	704,5	14.470,9	13.110,6	11.064,7	11.063,8	26,7		0,1		14.497,7	11.091,5	11.090,6
2047	31,9	148,86	13.747,3	687,8	14.615,8	13.241,9	11.175,5	11.174,6	26,5		0,1		14.642,4	11.202,1	11.201,2
2048	29,8	139,13	13.909,2	676,7	14.754,8	13.367,9	11.281,7	11.280,8	26,3		0,1		14.781,2	11.308,1	11.307,2
2049	27,8	130,05	14.061,9	669,3	14.889,1	13.489,5	11.384,4	11.383,5	26,0		0,1		14.915,3	11.410,6	11.409,7
2050	26,0	121,57	14.207,3	664,6	15.019,5	13.607,6	11.484,1	11.483,2	25,8		0,1		15.045,4	11.510,0	11.509,1
TOTAIS	2.837,1	12.942,2	357.072,3	21.517,3	394.368,9	357.866,0	302.961,6	302.933,5	912,7	-	3,5	-	395.285,1	303.877,8	303.849,7

Tabela C.3 – Resultados das emissões no cenário B – Estado do RJ

Ano	Lixão	Controlado	Sanitário	Não coletado	Total Aterro	Aterro -OX	Aterro -R	Aterro -R-OX	Incineração	Térmicas	Compostagem	Biodigestão	TOTAL	TOTAL -R	TOTAL -R-OX
2015	469,0	2.150,2	5.390,3	663,4	8.672,8	7.924,7	6.799,5	6.798,6	44,0		0,1		8.716,9	6.843,6	6.842,7
2016	419,4	1.798,8	6.105,5	673,8	8.997,5	8.203,3	7.076,4	7.075,5	34,0		0,1		9.031,7	7.110,5	7.109,6
2017	376,0	1.538,7	6.630,8	656,6	9.202,1	8.381,5	7.147,1	7.146,2	34,0		0,1		9.236,3	7.181,3	7.180,4
2018	335,4	1.341,6	7.139,6	650,2	9.466,7	8.603,0	7.296,8	7.295,9	34,5		0,1		9.501,4	7.331,5	7.330,6
2019	286,7	1.188,2	7.702,3	649,4	9.826,7	8.927,7	7.516,3	7.515,4	34,1		0,1		9.860,9	7.550,5	7.549,6
2020	249,9	1.065,8	8.186,4	648,0	10.150,1	9.219,1	7.703,8	7.702,9	33,7	283,5	0,1		10.467,4	8.021,1	8.020,2
2021	221,3	965,4	8.468,4	645,9	10.301,0	9.353,7	7.757,6	7.756,7	33,3	283,5	0,1		10.618,0	8.074,6	8.073,6
2022	198,4	881,1	8.751,2	643,1	10.473,9	9.508,0	7.826,0	7.825,1	33,0	283,5	0,1		10.790,5	8.142,6	8.141,7
2023	179,8	808,8	9.031,7	639,5	10.659,8	9.674,2	7.902,0	7.901,1	32,6	283,5	0,1		10.976,0	8.218,3	8.217,4
2024	164,1	745,6	9.308,1	635,2	10.852,9	9.846,9	7.981,1	7.980,2	32,3	283,5	0,1		11.168,9	8.297,1	8.296,2
2025	150,6	689,5	9.579,3	630,0	11.049,4	10.022,4	8.060,4	8.059,5	32,0	283,5	0,1		11.365,0	8.376,1	8.375,2
2026	138,9	639,2	9.844,6	623,9	11.246,6	10.198,6	8.138,0	8.137,0	31,7	283,5	0,1		11.561,9	8.453,3	8.452,4
2027	128,4	593,6	10.103,9	617,1	11.443,0	10.374,0	8.212,6	8.211,7	31,4	283,5	0,1		11.758,1	8.527,7	8.526,7
2028	119,1	551,9	10.357,0	609,6	11.637,6	10.547,5	8.283,6	8.282,7	31,1	283,5	0,1		11.952,3	8.598,4	8.597,5
2029	110,6	513,7	10.604,0	601,2	11.829,5	10.718,6	8.350,5	8.349,6	30,8	283,5	0,1		12.144,0	8.664,9	8.664,0
2030	102,9	478,5	10.844,9	592,1	12.018,4	10.886,9	8.412,9	8.412,0	30,6	283,5	0,1		12.332,6	8.727,1	8.726,2
2031	95,8	446,0	11.080,0	582,2	12.203,9	11.052,0	8.420,7	8.419,8	30,3	283,5	0,1		12.517,9	8.734,7	8.733,8
2032	89,2	415,8	11.304,5	571,7	12.381,3	11.209,5	8.419,3	8.418,4	30,0	283,5	0,1		12.694,9	8.732,9	8.732,0
2033	83,2	387,9	11.520,1	560,5	12.551,7	11.360,8	8.409,6	8.408,7	29,8	283,5	0,1		12.865,1	8.723,1	8.722,1
2034	77,6	361,9	11.728,0	548,6	12.716,1	11.506,5	8.392,6	8.391,7	29,5	283,5	0,1		13.029,3	8.705,8	8.704,9
2035	72,4	337,7	11.929,0	536,1	12.875,2	11.647,4	8.368,9	8.368,0	29,3	283,5	0,1		13.188,1	8.681,8	8.680,9
2036	67,5	315,2	12.123,8	523,0	13.029,5	11.783,8	8.338,9	8.338,0	29,0	283,5	0,1		13.342,2	8.651,5	8.650,6
2037	63,0	294,2	12.312,8	509,2	13.179,3	11.916,0	8.302,9	8.302,0	28,8	283,5	0,1		13.491,7	8.615,4	8.614,5
2038	58,8	274,7	12.496,4	494,8	13.324,8	12.044,4	8.261,4	8.260,5	28,6	283,5	0,1		13.637,0	8.573,6	8.572,7
2039	54,9	256,5	12.675,0	479,9	13.466,3	12.169,1	8.214,5	8.213,6	28,3	283,5	0,1		13.778,3	8.526,4	8.525,5

Ano	Lixão	Controlado	Sanitário	Não coletado	Total Aterro	Aterro -OX	Aterro -R	Aterro -R-OX	Incineração	Térmicas	Compostagem	Biodigestão	TOTAL	TOTAL -R	TOTAL -R-OX
2040	51,3	239,6	12.848,8	464,4	13.604,0	12.290,2	8.162,4	8.161,5	28,1	283,5	0,1		13.915,7	8.474,1	8.473,2
2041	47,9	223,8	13.018,0	448,3	13.738,0	12.407,9	8.105,4	8.104,5	27,8	283,5	0,1		14.049,5	8.416,9	8.416,0
2042	44,7	209,0	13.180,3	431,8	13.865,8	12.520,0	8.042,2	8.041,3	27,6	283,5	0,1		14.177,1	8.353,4	8.352,5
2043	41,8	195,3	13.336,8	414,7	13.988,5	12.627,4	7.973,5	7.972,6	27,4	283,5	0,1		14.299,5	8.284,5	8.283,6
2044	39,0	182,4	13.488,1	397,2	14.106,7	12.730,7	7.899,8	7.898,9	27,2	283,5	0,1		14.417,5	8.210,6	8.209,7
2045	36,5	170,5	13.634,9	379,1	14.221,0	12.830,4	7.821,6	7.820,6	26,9	283,5	0,1		14.531,6	8.132,1	8.131,2
2046	34,1	159,3	13.777,7	360,6	14.331,7	12.926,7	7.739,1	7.738,2	26,7	283,5	0,1		14.642,0	8.049,5	8.048,6
2047	31,9	148,9	13.916,7	341,7	14.439,0	13.020,1	7.652,7	7.651,8	26,5	283,5	0,1		14.749,2	7.962,8	7.961,9
2048	29,8	139,1	14.052,1	322,3	14.543,3	13.110,6	7.562,5	7.561,6	26,3	283,5	0,1		14.853,2	7.872,4	7.871,5
2049	27,8	130,0	14.184,3	302,4	14.644,7	13.198,4	7.468,8	7.467,9	26,0	283,5	0,1		14.954,3	7.778,5	7.777,6
2050	26,0	121,6	14.313,5	282,2	14.743,2	13.283,6	7.371,6	7.370,7	25,8	283,5	0,1		15.052,7	7.681,1	7.680,2
TOTAIS	2.837,1	12.942,2	362.000,5	15.836,4	393.616,2		249.556,7	249.528,7	912,7	8.789,3	3,5	-	403.321,7	259.262,2	259.234,1

Tabela C.4 – Resultados das emissões no cenário C - Estado do RJ

Ano	Lixão	Controlado	Sanitário	Não coletado	Total Aterro	Aterro -OX	Aterro -R	Aterro -R-OX	Incineração	Térmicas	Compostagem	Biodigestão	TOTAL	TOTAL -R	TOTAL -R-OX
2015	469,0	2.150,2	5.390,3	663,4	8.672,8	7.924,7	6.799,5	6.798,6	44,0		0,1		8.716,9	6.843,6	6.842,7
2016	419,4	1.798,8	6.105,5	673,8	8.997,5	8.203,3	7.076,4	7.075,5	34,0		0,1		9.031,6	7.110,4	7.109,5
2017	376,0	1.538,7	6.630,8	656,6	9.202,1	8.381,5	7.147,1	7.146,2	34,0		0,1		9.236,2	7.181,2	7.180,3
2018	335,4	1.341,6	7.139,6	650,2	9.466,7	8.601,7	7.296,8	7.295,9	34,5		0,1		9.501,3	7.331,4	7.330,4
2019	286,7	1.188,2	7.701,5	647,3	9.823,8	8.922,5	7.514,1	7.513,2	34,1		0,1		9.857,9	7.548,2	7.547,3
2020	249,9	1.065,8	8.184,3	642,4	10.142,3	9.208,0	7.697,9	7.697,0	33,7	283,5	0,1		10.459,5	8.015,1	8.014,2
2021	221,3	965,4	8.464,7	635,5	10.286,9	9.335,4	7.747,0	7.746,0	33,3	283,5	0,1		10.603,8	8.063,8	8.062,9
2022	198,4	881,1	8.745,8	627,0	10.452,3	9.481,6	7.809,9	7.809,0	33,0	283,5	0,1		10.768,8	8.126,4	8.125,5
2023	179,8	808,8	9.024,5	617,0	10.630,0	9.638,8	7.879,9	7.879,0	32,6	283,5	0,1		10.946,2	8.196,1	8.195,2
2024	164,1	745,6	9.299,2	605,5	10.814,3	9.801,9	7.952,8	7.951,9	32,3	283,5	0,1		11.130,2	8.268,6	8.267,7
2025	150,6	689,5	9.568,7	592,7	11.001,5	9.967,4	8.025,5	8.024,6	32,0	283,5	0,1		11.317,1	8.341,1	8.340,2
2026	138,9	639,2	9.832,5	578,6	11.189,1	10.133,1	8.096,4	8.095,5	31,7	283,5	0,1		11.504,3	8.411,6	8.410,7
2027	128,4	593,6	10.090,4	563,2	11.375,6	10.297,8	8.164,2	8.163,3	31,4	283,5	0,1		11.690,6	8.479,2	8.478,3
2028	119,1	551,9	10.342,4	546,7	11.560,0	10.460,4	8.228,4	8.227,5	31,1	283,5	0,1		11.874,7	8.543,1	8.542,1
2029	110,6	513,7	10.588,3	529,0	11.741,6	10.620,3	8.288,4	8.287,5	30,8	283,5	0,1		12.056,0	8.602,8	8.601,9
2030	102,9	478,5	10.828,4	510,1	11.920,0	10.777,1	8.344,0	8.343,1	30,6	283,5	0,1		12.234,1	8.658,1	8.657,2
2031	95,8	446,0	11.062,8	490,3	12.094,8	10.930,7	8.224,5	8.223,6	30,3	283,5	0,1		12.408,6	8.538,3	8.537,4
2032	89,2	415,8	11.287,7	469,4	12.262,2	11.077,3	8.093,0	8.092,1	30,0	283,5	0,1		12.575,7	8.406,6	8.405,7
2033	83,2	387,9	11.504,6	447,5	12.423,1	11.218,1	7.950,8	7.949,9	29,8	283,5	0,1		12.736,4	8.264,1	8.263,2
2034	77,6	361,9	11.714,4	424,6	12.578,4	11.353,6	7.798,6	7.797,7	29,5	283,5	0,1		12.891,5	8.111,7	8.110,8
2035	72,4	337,7	11.917,8	400,8	12.728,7	11.484,5	7.637,2	7.636,3	29,3	283,5	0,1		13.041,5	7.950,0	7.949,1
2036	67,5	315,2	12.115,4	376,1	12.874,3	11.611,0	7.467,1	7.466,2	29,0	283,5	0,1		13.186,9	7.779,7	7.778,8
2037	63,0	294,2	12.307,7	350,6	13.015,5	11.733,5	7.288,7	7.287,8	28,8	283,5	0,1		13.327,9	7.601,0	7.600,1
2038	58,8	274,7	12.495,0	324,2	13.152,7	11.852,2	7.102,5	7.101,6	28,6	970,8	0,1	36,3	14.188,4	8.138,2	8.137,3
2039	54,9	256,5	11.929,2	296,9	12.537,5	11.293,2	6.519,5	6.518,6	28,3	965,9	0,1	36,1	13.567,8	7.549,8	7.548,9

Ano	Lixão	Controlado	Sanitário	Não coletado	Total Aterro	Aterro -OX	Aterro -R	Aterro -R-OX	Incineração	Térmicas	Compostagem	Biodigestão	TOTAL	TOTAL -R	TOTAL -R-OX
2040	51,3	239,6	11.574,1	268,9	12.133,8	10.925,0	6.066,9	6.066,0	28,1	960,6	0,1	35,8	13.158,2	7.091,3	7.090,4
2041	47,9	223,8	11.362,2	240,0	11.873,9	10.686,5	5.699,5	5.698,6	27,8	952,9	0,1	35,4	12.890,1	6.715,6	6.714,7
2042	44,7	209,0	11.247,5	210,5	11.711,7	10.540,6	5.387,4	5.386,5	27,6	945,0	0,1	35,0	12.719,3	6.394,9	6.394,0
2043	41,8	195,3	11.187,7	187,4	11.612,1	10.450,8	5.109,3	5.108,4	27,4	936,6	0,1	34,5	12.610,6	6.107,9	6.107,0
2044	39,0	182,4	11.165,4	168,8	11.555,7	10.400,1	4.853,4	4.852,5	27,2	1.440,5	0,1	61,1	13.084,5	6.382,2	6.381,3
2045	36,5	170,5	10.612,3	153,5	10.972,8	9.875,5	4.389,1	4.388,2	26,9	1.431,5	0,1	60,7	12.491,9	5.908,3	5.907,4
2046	34,1	159,3	10.233,3	140,6	10.567,2	9.510,5	4.015,6	4.014,7	26,7	1.447,3	0,1	61,5	12.102,7	5.551,0	5.550,1
2047	31,9	148,9	9.946,3	129,5	10.256,4	9.230,8	3.692,3	3.691,4	26,5	1.554,9	0,1	67,2	11.905,0	5.340,9	5.340,0
2048	29,8	139,1	9.621,8	119,7	9.910,4	8.919,3	3.369,5	3.368,6	26,3	1.545,1	0,1	66,7	11.548,4	5.007,6	5.006,7
2049	27,8	130,0	9.395,2	111,0	9.664,1	8.697,7	3.092,5	3.091,6	26,0	1.535,0	0,1	66,1	11.291,2	4.719,7	4.718,8
2050	26,0	121,6	9.236,7	103,1	9.487,4	8.538,7	2.846,2	2.845,3	25,8	1.524,5	0,1	65,6	11.103,4	4.462,2	4.461,3
TOTAIS	2.837,1	12.942,2	326.886,6	11.860,7	354.526,6		204.838,0	204.810,0	912,7	21.314,1	3,5	661,8	377.415,2	227.726,6	227.698,6

Tabela C.5 – Emissões líquidas e emissões evitadas por medida de mitigação por cenário – Estado do RJ

Cenário A	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	9.221	9.354	9.506	9.670	9.839	10.010	10.171	10.352	10.528	10.699	10.866
Evitadas (aterro com queima)	%			22,8%	22,8%	22,8%	22,8%	22,8%	22,8%	23,0%	23,0%	23,0%	23,0%	23,0%
	10 ³ tCO ₂ e			1.389	1.409	1.432	1.457	1.482	1.508	1.551	1.579	1.605	1.631	1.657
Evitadas (aterro com energia)	%													
	10 ³ tCO ₂ e													
Evitadas (térmica)	%													
	10 ³ tCO ₂ e													
Evitadas (biodigestão)	%													
	10 ³ tCO ₂ e													
Evitadas (compostagem)	%			0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
	10 ³ tCO ₂ e			0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
Evitadas (reciclagem)	%			0,8%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
	10 ³ tCO ₂ e			30	31	33	34	35	36	37	38	39	40	40
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e	127,00	93,00	7.832	7.945	8.074	8.213	8.356	8.502	8.620	8.773	8.923	9.068	9.209
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e													
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e													
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e													
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20												
Cenário B	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	9.219	9.354	9.508	9.674	9.847	10.022	10.199	10.374	10.548	10.719	10.887
Evitadas (aterro com queima)	%			24,1%	24,7%	25,3%	25,9%	26,5%	27,1%	27,6%	28,2%	28,8%	29,4%	30,0%
	10 ³ tCO ₂ e			1.516	1.597	1.683	1.773	1.867	1.963	2.062	2.162	2.265	2.369	2.475
Evitadas (aterro com energia)	%													
	10 ³ tCO ₂ e													

Evitadas (térmica)	%			5,5%	5,4%	5,4%	5,3%	5,2%	5,2%	5,1%	5,1%	5,0%	5,0%	5,0%
	10 ³ tCO2e			74	189	272	333	379	415	443	466	485	501	516
Evitadas (biodigestão)	%													
	10 ³ tCO2e													
Evitadas (compostagem)	%			0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
	10 ³ tCO2e			0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
Evitadas (reciclagem)	%			0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%
	10 ³ tCO2e			30	32	33	35	36	38	39	41	43	44	46
Aterro com queima	10 ³ tCO2e	127,00	93,00	7.703	7.757	7.825	7.901	7.980	8.060	8.137	8.212	8.283	8.350	8.412
Aterro com energia	10 ³ tCO2e													
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO2e	263,00		284	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO2e													
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO2e	23,30	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reciclagem	10 ³ tCO2e	226,20	-											
Cenário C	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO2e	60,00	50,00	9.208	9.335	9.482	9.639	9.802	9.967	10.133	10.298	10.460	10.620	10.777
Evitadas (aterro com queima)	%													
	10 ³ tCO2e													
Evitadas (aterro com energia)	%			24,1%	24,7%	25,3%	25,9%	26,5%	27,1%	27,6%	28,2%	28,8%	29,4%	30,0%
	10 ³ tCO2e			1.511	1.589	1.673	1.760	1.850	1.943	2.038	2.134	2.233	2.333	2.434
Evitadas (térmica)	%			5,5%	5,4%	5,4%	5,3%	5,2%	5,2%	5,1%	5,1%	5,0%	5,0%	5,0%
	10 ³ tCO2e			74	189	272	333	379	415	443	466	485	501	516
Evitadas (biodigestão)	%													
	10 ³ tCO2e													
Evitadas (compostagem)	%			0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
	10 ³ tCO2e			0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
Evitadas (reciclagem)	%			1,3%	1,5%	1,6%	1,8%	1,9%	2,1%	2,2%	2,4%	2,5%	2,7%	2,8%

	10 ³ tCO ₂ e			32	36	40	45	50	55	62	68	75	82	90
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e													
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e	273,00	-	7.697	7.746	7.809	7.879	7.952	8.025	8.095	8.163	8.227	8.287	8.343
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e	263,00	-	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e	56,00												
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-											

Tabela C.5 – Emissões líquidas e emissões evitadas por medida de mitigação por cenário – Estado do RJ (continuação)

Cenário A	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	11.029	11.188	11.344	11.497	11.646	11.779	11.932	12.080	12.222	12.360
Evitadas (aterro com queima)	%			23,0%	23,0%	23,0%	23,0%	23,0%	23,3%	23,3%	23,3%	23,3%	23,3%
	10 ³ tCO ₂ e			1.682	1.706	1.730	1.753	1.776	1.818	1.841	1.864	1.886	1.907
Evitadas (aterro com energia)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (térmica)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (biodigestão)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (compostagem)	%			0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
	10 ³ tCO ₂ e			0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
Evitadas (reciclagem)	%			0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
	10 ³ tCO ₂ e			41	42	43	43	44	45	45	46	46	47
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e	127,00	93,00	9.347	9.482	9.614	9.744	9.870	9.961	10.091	10.216	10.336	10.453
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e												
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e												
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e												
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20											
Cenário B	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	11.052	11.210	11.361	11.507	11.647	11.784	11.916	12.044	12.169	12.290
Evitadas (aterro com queima)	%			31,0%	32,0%	33,0%	34,0%	35,0%	36,0%	37,0%	38,0%	39,0%	40,0%
	10 ³ tCO ₂ e			2.632	2.791	2.952	3.115	3.279	3.446	3.614	3.784	3.956	4.129
Evitadas (aterro com energia)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												

Evitadas (térmica)	%			4,9%	4,9%	4,8%	4,8%	4,8%	4,7%	4,7%	4,7%	4,6%	4,6%
	10 ³ tCO ₂ e			528	540	550	559	568	576	583	590	596	602
Evitadas (biodigestão)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (compostagem)	%			0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
	10 ³ tCO ₂ e			0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
Evitadas (reciclagem)	%			1,1%	1,3%	1,5%	1,7%	1,9%	2,1%	2,3%	2,5%	2,6%	2,8%
	10 ³ tCO ₂ e			47	50	53	57	62	68	74	81	89	97
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e	127,00	93,00	8.420	8.418	8.409	8.392	8.368	8.338	8.302	8.260	8.214	8.162
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e												
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e	263,00		284	284	284	284	284	284	284	284	284	284
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e												
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-										
Cenário C	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	10.931	11.077	11.218	11.354	11.484	11.611	11.734	11.852	11.293	10.925
Evitadas (aterro com queima)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (aterro com energia)	%			32,0%	34,0%	36,0%	38,0%	40,0%	42,0%	44,0%	46,0%	48,0%	50,0%
	10 ³ tCO ₂ e			2.707	2.985	3.268	3.556	3.848	4.145	4.446	4.751	4.775	4.859
Evitadas (térmica)	%			4,9%	4,9%	4,8%	4,8%	4,8%	4,7%	4,7%	15,9%	15,8%	15,6%
	10 ³ tCO ₂ e			528	540	550	559	568	576	583	590	913	1.145
Evitadas (biodigestão)	%										12,7%	12,5%	12,4%
	10 ³ tCO ₂ e										-	357	611
Evitadas (compostagem)	%			0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
	10 ³ tCO ₂ e			0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
Evitadas (reciclagem)	%			3,1%	3,4%	3,7%	4,0%	4,3%	4,6%	4,8%	5,1%	5,4%	5,6%

	10 ³ tCO ₂ e			98	107	117	127	139	152	166	180	195	210
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e												
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e	273,00	-	8.224	8.092	7.950	7.798	7.636	7.466	7.288	7.102	6.519	6.066
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e	263,00	-	284	284	284	284	284	284	284	971	966	961
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e	56,00									36	36	36
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-										

Tabela C.5 – Emissões líquidas e emissões evitadas por medida de mitigação por cenário – Estado do RJ (continuação)

Cenário A	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO2e	60,00	50,00	12.493	12.624	12.753	12.879	13.003	13.111	13.242	13.368	13.490	13.608
Evitadas (aterro com queima)	%			23,3%	23,3%	23,3%	23,3%	23,3%	23,5%	23,5%	23,5%	23,5%	23,5%
	10 ³ tCO2e			1.928	1.948	1.968	1.987	2.006	2.047	2.067	2.087	2.106	2.124
Evitadas (aterro com energia)	%												
	10 ³ tCO2e												
Evitadas (térmica)	%												
	10 ³ tCO2e												
Evitadas (biodigestão)	%												
	10 ³ tCO2e												
Evitadas (compostagem)	%			0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
	10 ³ tCO2e			0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Evitadas (reciclagem)	%			0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,6%
	10 ³ tCO2e			47	48	48	49	49	50	50	50	51	51
Aterro com queima	10 ³ tCO2e	127,00	93,00	10.566	10.677	10.785	10.892	10.997	11.064	11.175	11.281	11.384	11.483
Aterro com energia	10 ³ tCO2e												
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO2e												
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO2e												
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO2e	23,30		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reciclagem	10 ³ tCO2e	226,20											
Cenário B	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO2e	60,00	50,00	12.408	12.520	12.627	12.731	12.830	12.927	13.020	13.111	13.198	13.284
Evitadas (aterro com queima)	%			41,0%	42,0%	43,0%	44,0%	45,0%	46,0%	47,0%	48,0%	49,0%	50,0%
	10 ³ tCO2e			4.303	4.479	4.655	4.832	5.010	5.189	5.368	5.549	5.731	5.913
Evitadas (aterro com energia)	%												
	10 ³ tCO2e												

Evitadas (térmica)	%			4,6%	4,5%	4,5%	4,5%	4,4%	4,4%	4,4%	4,4%	4,4%	4,3%
	10 ³ tCO ₂ e			608	613	618	623	627	631	635	638	642	645
Evitadas (biodigestão)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (compostagem)	%			0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
	10 ³ tCO ₂ e			0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Evitadas (reciclagem)	%			3,1%	3,4%	3,7%	4,0%	4,3%	4,5%	4,8%	5,1%	5,4%	5,6%
	10 ³ tCO ₂ e			106	116	127	138	151	165	180	195	211	228
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e	127,00	93,00	8.105	8.041	7.973	7.899	7.821	7.738	7.652	7.562	7.468	7.371
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e												
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e	263,00		284	284	284	284	284	284	284	284	284	284
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e												
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-										
Cenário C	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	10.687	10.541	10.451	10.400	9.875	9.511	9.231	8.919	8.698	8.539
Evitadas (aterro com queima)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (aterro com energia)	%			52,0%	54,0%	56,0%	58,0%	60,0%	62,0%	64,0%	66,0%	68,0%	70,0%
	10 ³ tCO ₂ e			4.988	5.154	5.342	5.548	5.487	5.496	5.539	5.551	5.606	5.693
Evitadas (térmica)	%			15,3%	15,1%	14,9%	22,7%	22,5%	22,6%	24,1%	23,8%	23,5%	23,3%
	10 ³ tCO ₂ e			1.313	1.438	1.531	1.602	1.893	2.106	2.277	2.461	2.600	2.709
Evitadas (biodigestão)	%			12,1%	11,9%	11,7%	20,6%	20,3%	20,5%	22,2%	21,9%	21,6%	21,4%
	10 ³ tCO ₂ e			795	930	1.029	1.105	1.428	1.664	1.852	2.055	2.209	2.327
Evitadas (compostagem)	%			0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
	10 ³ tCO ₂ e			0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Evitadas (reciclagem)	%			6,0%	6,4%	6,8%	7,2%	7,6%	7,9%	8,3%	8,7%	9,0%	9,4%

	10 ³ tCO ₂ e			227	244	263	283	304	326	349	373	398	423
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e												
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e	273,00	-	5.699	5.386	5.108	4.852	4.388	4.015	3.691	3.369	3.092	2.845
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e	263,00	-	953	945	937	1.441	1.432	1.447	1.555	1.545	1.535	1.525
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e	56,00		35	35	35	61	61	61	67	67	66	66
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-										

Tabela C.6 – Variação dos fatores de correção de metano para o Estado do RJ

Período	MCF	Justificativa
1975 a 1977	0,4	Em 1975, em função da falta de dados, adotou-se o valor padrão do IPCC (2006), ou seja, 54% encaminhado para lixões. O restante (46%) foi considerado depositado em locais não categorizados.
	0,6	
1978 a 2005	0,8	De 1978 (início do aterro metropolitano de Gramacho) até 2005 foi feita uma extrapolação linear, baseada em dados do Inventário Estadual de 2005 (ROVERE <i>et al</i> , 2007), reduzindo a participação dos lixões e dos depósitos não categorizados. Em 2002, a participação de não categorizado no Estado do Rio de Janeiro foi considerada nula. Em 2003 foi considerado o início do CTR de Adrianópolis.
	1,0	
2010 a 2030	Cenário A	Mantiveram-se as mesmas condições de 2005.
	Cenário B	Extrapolação linear até 2030, de modo que em 2030 se tenha apenas aterros sanitários, diminuindo gradualmente a participação dos lixões e aterros controlados.
	Cenário C	Extrapolação linear até 2017, de modo que em 2015 não existam mais lixões em operação no Estado e, até o final de 2016, todos os aterros controlados sejam remediados.

APÊNDICE D – Dados e resultados - Rio de Janeiro (cidade)

Tabela D.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação nos cenários A, B e C - Cidade do Rio de Janeiro

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
População	5.857.904	5.897.485	5.937.253	5.974.081	6.051.399	6.094.183	6.136.652	6.093.472	6.161.047	6.186.710
Taxa de Crescimento IBGE										
PIB (R\$)	76.730.775.222	82.601.448.579	91.063.238.356	95.751.484.182	112.674.640.703	117.771.722.264	128.026.083.510	139.559.353.626	146.425.673.824	153.629.816.977
PIB Industrial (Mi R\$)									25.192	26.431
PIB per capita	13.099	14.006	15.338	16.028	18.620	19.325	20.863	22.903	23.766	24.832
Taxa (kg/hab/dia)	1,384	1,390	1,395	1,399	1,403	1,407	1,410	1,413	1,416	1,419
Prod domic+GG (kg)	2.959.439.317	2.991.442.052	3.022.229.951	3.050.512.810	3.098.727.296	3.128.669.351	3.157.922.601	3.142.562.292	3.183.882.095	3.203.233.962
Prod RSI (t)	15.805	18.167	27.165	58.705	76.010	40.197	51.337	71.862	71.778	75.309
Geração Total RS (t)	2.975.244	3.009.609	3.049.395	3.109.218	3.174.737	3.168.866	3.209.260	3.214.424	3.255.660	3.278.543
Coletado Aterros A (t)	2.894.733	2.928.168	2.966.878	3.025.082	3.088.828	3.081.599	3.119.766	3.123.705	3.162.670	3.183.791
Coletado Aterros A (%)	97,3%	97,3%	97,3%	97,3%	97,3%	97,2%	97,2%	97,2%	97,1%	97,1%
Coletado Aterros B (t)										
Coletado Aterros B (%)										
Coletado Aterros C (t)										
Coletado Aterros C (%)										
Não categorizado A (t)	80.511	81.441	82.517	84.136	85.909	85.750	86.843	86.983	88.099	88.718
Não categorizado A (%)	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%
Não categorizado B (t)										
Não categorizado B (%)										
Não categorizado C (t)										
Não categorizado C (%)										
Food	51,36	51,71	56,03	53,05	59,73	60,78	61,37	58,23	56,21	53,64
Garden	1,91	1,50	0,60	2,34	2,12	1,06	1,30	1,75	1,09	1,26

Paper	19,77	18,71	18,78	16,06	12,48	13,51	14,83	14,56	15,96	16,08
Wood	0,44	0,44	0,38	0,66	1,92	1,51	0,73	0,91	0,79	0,74
Textile	1,79	1,38	1,36	2,10	1,78	1,80	1,68	1,90	1,83	1,93
Nappies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plastics, Inerts	24,73	26,26	22,85	25,79	21,97	21,34	20,09	22,65	24,12	26,35
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cap instalada RIO (t)										
Dem reprimida RIO A										
Dem reprimida RIO B										
Dem reprimida RIO C										
RSS (t) Inventário 2012	41.724	42.005	42.289	42.551	43.102	43.406	43.709	43.401	43.883	44.065
Térmico (t) PNAD,2019										
Térmico (%) PNAD,2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Usina Waste-Energy A (t)						52	104	156	208	260
Usina Waste-Energy A (%)						0,002%	0,003%	0,005%	0,006%	0,008%
Usina Waste-Energy B (t)						52	104	156	208	260
Usina Waste-Energy B (%)						0,002%	0,003%	0,005%	0,006%	0,008%
Usina Waste-Energy C (t)						52	104	156	208	260
Usina Waste-Energy C (%)						0,002%	0,003%	0,005%	0,006%	0,008%
Compostagem A (t)						533	544	513	502	482
Compostagem A (%)						0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,01%
Compostagem B (t)										
Compostagem B (%)										
Compostagem C (t)										
Compostagem C (%)										
Usina Biodigestão (t)										
Usina Biodigestão (%)										

Reciclagem secos A (t)						932	2.003	3.067	4.181	5.293
Reciclagem secos A (%)						0,03%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%
Reciclagem secos B (t)										
Reciclagem secos B (%)										
Reciclagem secos C (t)										
Reciclagem secos C (%)										
Reciclagem Papel A (t)						347	819	1.231	1.839	2.345
Reciclagem Papel B (t)										
Reciclagem Papel C (t)										
Triagem mecanizada (t)										

Tabela D.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação nos cenários A, B e C - Cidade do Rio de Janeiro (continuação)

Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
População	6.320.446	6.355.949	6.390.290	6.429.923	6.453.682	6.476.631	6.498.837	6.520.266	6.688.927
Taxa de Crescimento IBGE									
PIB (R\$)	160.679.439.585	178.237.774.431	195.903.868.135	221.600.591.573	239.418.619.857	249.300.324.585	261.325.243.878	268.642.350.707	276.164.336.526
PIB Industrial (Mi R\$)	27.644	29.830	33.696	38.202	40.757	38.293	36.334	37.243	38.174
PIB per capita	25.422	28.043	30.656	34.464	37.098	38.492	40.211	41.201	41.287
Taxa (kg/hab/dia)	1,421	1,423	1,426	1,428	1,430	1,432	1,434	1,436	1,437
Prod domic+GG (kg)	3.278.334.408	3.302.315.626	3.325.464.222	3.351.166.450	3.368.408.527	3.385.047.364	3.401.133.199	3.416.661.444	3.509.295.333
Prod RSI (t)	78.765	84.992	96.008	108.847	116.127	109.106	103.526	106.114	108.767
Geração Total RS (t)	3.357.100	3.387.308	3.421.472	3.460.013	3.484.536	3.494.154	3.504.659	3.522.775	3.618.062
Coletado Aterros A (t)	3.258.910	3.287.090	3.319.062	3.352.419	3.373.041	3.379.204	3.388.227	3.404.617	3.495.710
Coletado Aterros A (%)	97,1%	97,0%	97,0%	96,9%	96,8%	96,7%	96,7%	96,6%	96,6%
Coletado Aterros B (t)									3.497.503
Coletado Aterros B (%)									96,7%
Coletado Aterros C (t)									3.499.710
Coletado Aterros C (%)									96,7%
Não categorizado A (t)	90.844	91.661	92.586	93.629	94.292	94.553	94.837	95.327	97.906
Não categorizado A (%)	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%
Não categorizado B (t)									95.824
Não categorizado B (%)									2,6%
Não categorizado C (t)									93.617
Não categorizado C (%)									2,6%
Food	55,08	52,70	53,29	56,44	56,55	56,61	56,67	56,71	56,71
Garden	1,06	1,12	1,35	0,99	0,94	0,92	0,89	0,87	0,87
Paper	16,46	16,84	15,99	13,43	13,03	12,83	12,60	12,48	12,47
Wood	0,76	0,97	1,16	1,16	1,22	1,25	1,29	1,32	1,32

Textile	1,71	2,30	1,97	1,83	1,82	1,81	1,81	1,80	1,80
Nappies	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plastics, Inerts	24,93	26,07	26,24	26,16	26,44	26,58	26,73	26,82	26,82
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cap instalada RIO (t)		5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000
Dem reprimida RIO A		1.822.910	1.790.938	1.757.581	1.736.959	1.730.796	1.721.773	1.705.383	1.614.290
Dem reprimida RIO B		1.822.910	1.790.938	1.757.581	1.736.959	1.730.796	1.721.773	1.705.383	1.614.578
Dem reprimida RIO C		1.822.910	1.790.938	1.757.581	1.736.959	1.730.796	1.721.773	1.705.383	1.614.578
RSS (t) Inventário 2012	45.018	45.271	45.516	45.798	45.967	46.130	46.289	46.441	47.643
Térmico (t) PNAD,2019									
Térmico (%) PNAD,2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Usina Waste-Energy A (t)	312	364	416	2.711	5.005	7.300	7.300	7.300	7.300
Usina Waste-Energy A (%)	0,009%	0,01%	0,01%	0,08%	0,14%	0,21%	0,21%	0,21%	0,20%
Usina Waste-Energy B (t)	312	364	416	2.711	5.005	7.300	7.300	7.300	7.300
Usina Waste-Energy B (%)	0,009%	0,01%	0,01%	0,08%	0,14%	0,21%	0,21%	0,21%	0,2%
Usina Waste-Energy C (t)	312	364	416	2.711	5.005	7.300	7.300	7.300	7.300
Usina Waste-Energy C (%)	0,009%	0,01%	0,01%	0,08%	0,14%	0,21%	0,21%	0,21%	0,2%
Compostagem A (t)	506	488	497	530	534	537	541	543	558
Compostagem A (%)	0,02%	0,01%	0,01%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
Compostagem B (t)			4.132						558
Compostagem B (%)			0,121%						0,02%
Compostagem C (t)									558
Compostagem C (%)									0,015%
Usina Biodigestão (t)									
Usina Biodigestão (%)									
Reciclagem secos A (t)	6.527	7.704	8.911	10.724	11.663	12.560	13.754	14.988	16.588
Reciclagem secos A (%)	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,3%	0,4%	0,4%	0,4%	0,5%

Reciclagem secos B (t)								14.988	16.877
Reciclagem secos B (%)								0,4%	0,5%
Reciclagem secos C (t)								14.988	16.877
Reciclagem secos C (%)								0,4%	0,5%
Reciclagem Papel A (t)	2.961	3.576	3.927	3.968	4.187	4.441	4.777	5.154	5.699
Reciclagem Papel B (t)								5.154	5.799
Reciclagem Papel C (t)								5.154	5.799
Triagem mecanizada (t)									

Tabela D.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação nos cenários A, B e C - Cidade do Rio de Janeiro (continuação)

Ano	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
População	6.729.729	6.769.435	6.807.344	6.843.423	6.877.640	6.909.965	6.940.368	6.968.824	6.995.306
Taxa de Crescimento IBGE	0,61	0,59	0,56	0,53	0,50	0,47	0,44	0,41	0,38
PIB (R\$)	283.896.937.949	291.846.052.212	300.017.741.674	308.418.238.440	317.053.949.117	325.931.459.692	335.057.540.563	344.439.151.699	354.083.447.947
PIB Industrial (Mi R\$)	39.128	40.106	41.109	42.137	43.190	44.270	45.377	46.511	47.674
PIB <i>per capita</i>	42.185	43.112	44.073	45.068	46.099	47.168	48.277	49.426	50.617
Taxa (kg/hab/dia)	1,439	1,441	1,442	1,444	1,445	1,447	1,448	1,449	1,451
Prod domic+GG (kg)	3.534.824.130	3.559.678.696	3.583.496.925	3.606.265.463	3.627.971.074	3.648.600.759	3.668.141.857	3.686.582.130	3.703.909.844
Prod RSI (t)	111.486	114.273	117.130	120.058	123.060	126.136	129.290	132.522	135.835
Geração Total RS (t)	3.646.310	3.673.952	3.700.627	3.726.324	3.751.031	3.774.737	3.797.431	3.819.104	3.839.745
Coletado Aterros A (t)	3.521.857	3.547.398	3.571.986	3.595.610	3.618.261	3.639.928	3.660.603	3.680.275	3.698.938
Coletado Aterros A (%)	96,6%	96,6%	96,5%	96,5%	96,5%	96,4%	96,4%	96,4%	96,3%
Coletado Aterros B (t)	3.524.989	3.086.286	3.105.335	3.123.458	3.140.641	3.156.871	3.172.138	3.186.429	3.199.733
Coletado Aterros B (%)	96,7%	84,0%	83,9%	83,8%	83,7%	83,6%	83,5%	83,4%	83,3%
Coletado Aterros C (t)	3.520.683	3.073.928	3.093.237	3.111.648	3.129.148	3.145.722	3.161.355	3.176.035	3.189.748
Coletado Aterros C (%)	96,6%	83,7%	83,6%	83,5%	83,4%	83,3%	83,2%	83,2%	83,1%
Não categorizado A (t)	98.670	99.418	100.140	100.835	101.504	102.145	102.759	103.346	103.904
Não categorizado A (%)	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%
Não categorizado B (t)	94.694	93.519	92.291	91.013	89.684	88.306	86.881	85.409	83.893
Não categorizado B (%)	2,6%	2,5%	2,5%	2,4%	2,4%	2,3%	2,3%	2,2%	2,2%
Não categorizado C (t)	90.246	86.797	83.264	79.650	75.958	72.192	68.354	64.447	60.476
Não categorizado C (%)	2,5%	2,4%	2,3%	2,1%	2,0%	1,9%	1,8%	1,7%	1,6%
Food	56,75	56,78	56,81	56,85	56,88	56,92	56,95	56,99	57,02
Garden	0,86	0,85	0,83	0,82	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76
Paper	12,36	12,25	12,14	12,03	11,92	11,80	11,69	11,58	11,47
Wood	1,34	1,36	1,38	1,41	1,43	1,45	1,48	1,50	1,53

Textile	1,80	1,80	1,80	1,79	1,79	1,79	1,79	1,78	1,78
Nappies	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plastics, Inerts	26,90	26,97	27,04	27,11	27,18	27,25	27,31	27,38	27,45
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cap instalada RIO (t)	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000
Dem reprimida RIO A	1.588.143	1.562.602	1.538.014	1.514.390	1.491.739	1.470.072	1.449.397	1.429.725	1.411.062
Dem reprimida RIO B	1.588.988	2.029.613	2.012.513	1.996.365	1.981.180	1.966.968	1.953.741	1.941.508	1.930.279
Dem reprimida RIO C	1.597.741	2.048.693	2.033.639	2.019.537	2.006.397	1.994.232	1.983.050	1.972.863	1.963.680
RSS (t) Inventário 2012	47.933	48.216	48.486	48.743	48.987	49.217	49.433	49.636	49.825
Térmico (t) PNAD,2019									
Térmico (%) PNAD,2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Usina Waste-Energy A (t)	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300
Usina Waste-Energy A (%)	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%	0,19%	0,19%	0,19%	0,19%	0,19%
Usina Waste-Energy B (t)	7.300	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500
Usina Waste-Energy B (%)	0,2%	12,9%	12,8%	12,7%	12,6%	12,6%	12,5%	12,4%	12,4%
Usina Waste-Energy C (t)	7.300	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500
Usina Waste-Energy C (%)	0,2%	12,9%	12,8%	12,7%	12,6%	12,6%	12,5%	12,4%	12,4%
Compostagem A (t)	563	567	571	575	579	582	586	589	592
Compostagem A (%)	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
Compostagem B (t)	563	567	7.374	14.181	20.989	27.796	34.603	41.411	48.218
Compostagem B (%)	0,02%	0,02%	0,2%	0,4%	0,6%	0,7%	0,9%	1,1%	1,3%
Compostagem C (t)	563	567	7.374	14.181	20.989	27.796	34.603	41.411	48.218
Compostagem C (%)	0,02%	0,02%	0,2%	0,4%	0,6%	0,7%	0,9%	1,1%	1,3%
Usina Biodigestão (t)									
Usina Biodigestão (%)									
Reciclagem secos A (t)	17.921	19.269	20.630	22.004	23.387	24.781	26.183	27.593	29.010
Reciclagem secos A (%)	0,5%	0,5%	0,6%	0,6%	0,6%	0,7%	0,7%	0,7%	0,8%

Reciclagem secos B (t)	18.765	19.080	21.126	23.172	25.218	27.264	29.309	31.355	33.401
Reciclagem secos B (%)	0,5%	0,5%	0,6%	0,6%	0,7%	0,7%	0,8%	0,8%	0,9%
Reciclagem secos C (t)	27.518	38.160	42.252	46.344	50.435	54.527	58.619	62.711	66.802
Reciclagem secos C (%)	0,8%	1,0%	1,1%	1,2%	1,3%	1,4%	1,5%	1,6%	1,7%
Reciclagem Papel A (t)	6.103	6.504	6.901	7.294	7.681	8.062	8.438	8.807	9.169
Reciclagem Papel B (t)	6.391	6.441	7.067	7.681	8.282	8.870	9.445	10.007	10.557
Reciclagem Papel C (t)	9.372	12.881	14.134	15.361	16.563	17.740	18.890	20.015	21.113
Triagem mecanizada (t)									

Tabela D.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação nos cenários A, B e C - Cidade do Rio de Janeiro (continuação)

Ano	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
População	7.019.789	7.042.954	7.064.083	7.083.156	7.100.156	7.115.066	7.128.585	7.139.991	7.149.273
Taxa de Crescimento IBGE	0,35	0,33	0,30	0,27	0,24	0,21	0,19	0,16	0,13
PIB (R\$)	363.997.784.489	374.189.722.455	384.667.034.684	398.130.380.898	412.064.944.229	426.487.217.277	441.414.269.882	456.863.769.328	472.854.001.254
PIB Industrial (Mi R\$)	48.866	50.087	51.340	52.828	54.360	55.937	57.559	59.228	60.946
PIB per capita	51.853	53.130	54.454	56.208	58.036	59.941	61.922	63.987	66.140
Taxa (kg/hab/dia)	1,452	1,453	1,454	1,456	1,457	1,458	1,459	1,460	1,461
Prod domic+GG (kg)	3.720.113.834	3.735.555.891	3.749.856.762	3.763.006.979	3.774.997.846	3.785.821.472	3.795.849.671	3.804.699.238	3.812.364.534
Prod RSI (t)	139.231	142.711	146.279	150.521	154.886	159.378	164.000	168.756	173.650
Geração Total RS (t)	3.859.345	3.878.267	3.896.136	3.913.528	3.929.884	3.945.200	3.959.850	3.973.455	3.986.015
Coletado Aterros A (t)	3.716.583	3.733.561	3.749.511	3.764.990	3.779.459	3.792.914	3.805.719	3.817.509	3.828.283
Coletado Aterros A (%)	96,3%	96,3%	96,2%	96,2%	96,2%	96,1%	96,1%	96,1%	96,0%
Coletado Aterros B (t)	3.212.039	3.223.703	3.234.354	3.244.556	3.253.760	3.261.959	3.269.521	3.276.072	3.281.609
Coletado Aterros B (%)	83,2%	83,1%	83,0%	82,9%	82,8%	82,7%	82,6%	82,4%	82,3%
Coletado Aterros C (t)	3.202.482	3.214.592	2.915.370	2.906.158	2.896.047	2.885.033	2.873.487	2.861.036	2.830.281
Coletado Aterros C (%)	83,0%	82,9%	74,8%	74,3%	73,7%	73,1%	72,6%	72,0%	71,0%
Não categorizado A (t)	104.435	104.947	105.430	105.901	106.344	106.758	107.155	107.523	107.863
Não categorizado A (%)	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%
Não categorizado B (t)	82.333	80.738	79.103	77.440	75.740	74.002	72.237	70.439	68.608
Não categorizado B (%)	2,1%	2,1%	2,0%	2,0%	1,9%	1,9%	1,8%	1,8%	1,7%
Não categorizado C (t)	56.443	52.357	48.215	44.027	39.790	35.507	31.184	26.821	22.421
Não categorizado C (%)	1,5%	1,4%	1,2%	1,1%	1,0%	0,9%	0,8%	0,7%	0,6%
Food	57,06	57,10	57,14	57,18	57,23	57,28	57,33	57,38	57,43
Garden	0,74	0,73	0,72	0,70	0,69	0,67	0,65	0,64	0,62
Paper	11,36	11,24	11,13	10,99	10,84	10,70	10,56	10,42	10,28
Wood	1,55	1,58	1,61	1,65	1,68	1,72	1,76	1,81	1,85

Textile	1,78	1,77	1,77	1,77	1,76	1,76	1,76	1,75	1,75
Nappies	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plastics, Inerts	27,51	27,58	27,64	27,72	27,79	27,87	27,94	28,00	28,07
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cap instalada RIO (t)	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000	5.110.000
Dem reprimida RIO A	1.393.417	1.376.439	1.360.489	1.345.010	1.330.541	1.317.086	1.304.281	1.292.491	1.281.717
Dem reprimida RIO B	1.920.063	1.910.505	1.901.973	1.893.905	1.886.845	1.880.797	1.875.396	1.871.012	1.867.646
Dem reprimida RIO C	1.955.510	1.947.998	1.939.845	1.953.715	1.968.506	1.984.218	2.000.483	2.017.666	2.035.765
RSS (t) Inventário 2012	49.999	50.164	50.315	50.451	50.572	50.678	50.774	50.855	50.921
Térmico (t) PNAD,2019									
Térmico (%) PNAD,2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Usina Waste-Energy A (t)	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300
Usina Waste-Energy A (%)	0,19%	0,19%	0,19%	0,19%	0,19%	0,19%	0,18%	0,18%	0,18%
Usina Waste-Energy B (t)	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500
Usina Waste-Energy B (%)	12,3%	12,2%	12,2%	12,1%	12,1%	12,0%	12,0%	11,9%	11,9%
Usina Waste-Energy C (t)	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500
Usina Waste-Energy C (%)	12,3%	12,2%	12,2%	12,1%	12,1%	12,0%	12,0%	11,9%	11,9%
Compostagem A (t)	595	598	601	603	606	608	610	612	614
Compostagem A (%)	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
Compostagem B (t)	55.025	61.833	68.640	75.447	82.255	89.062	95.869	102.677	109.484
Compostagem B (%)	1,4%	1,6%	1,8%	1,9%	2,1%	2,3%	2,4%	2,6%	2,7%
Compostagem C (t)	55.025	61.833	68.640	75.447	82.255	89.062	95.869	102.677	109.484
Compostagem C (%)	1,4%	1,6%	1,8%	1,9%	2,1%	2,3%	2,4%	2,6%	2,7%
Usina Biodigestão (t)			312.000	312.000	312.000	312.000	312.000	312.000	329.396
Usina Biodigestão (%)			8,0%	8,0%	7,9%	7,9%	7,9%	7,9%	8,3%
Reciclagem secos A (t)	30.432	31.861	33.294	34.734	36.176	37.619	39.066	40.511	41.955
Reciclagem secos A (%)	0,8%	0,8%	0,9%	0,9%	0,9%	1,0%	1,0%	1,0%	1,1%

Reciclagem secos B (t)	35.447	37.493	39.539	41.585	43.631	45.676	47.722	49.768	51.814
Reciclagem secos B (%)	0,9%	1,0%	1,0%	1,1%	1,1%	1,2%	1,2%	1,3%	1,3%
Reciclagem secos C (t)	70.894	74.986	77.411	101.395	125.292	149.098	172.809	196.422	219.933
Reciclagem secos C (%)	1,8%	1,9%	2,0%	2,6%	3,2%	3,8%	4,4%	4,9%	5,5%
Reciclagem Papel A (t)	9.523	9.872	10.212	10.516	10.810	11.094	11.368	11.631	11.883
Reciclagem Papel B (t)	11.093	11.617	12.128	12.591	13.038	13.470	13.887	14.288	14.675
Reciclagem Papel C (t)	22.186	23.234	23.744	30.699	37.440	43.967	50.285	56.393	62.291
Triagem mecanizada (t)			199.680	261.990	324.301	386.611	448.922	511.232	573.543

Tabela D.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação nos cenários A, B e C - Cidade do Rio de Janeiro (continuação)

Ano	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
População	7.157.137	7.162.862	7.166.444	7.168.594	7.168.594	7.167.160	7.164.293	7.159.278	7.152.835
Taxa de Crescimento IBGE	0,11	0,08	0,05	0,03	0%	-0,02	-0,04	-0,07	-0,09
PIB (R\$)	489.403.891.298	506.533.027.493	524.261.683.456	542.610.842.377	558.889.167.648	575.655.842.677	592.925.517.958	610.713.283.497	629.034.682.001
PIB Industrial (Mi R\$)	62.713	64.532	66.403	68.329	69.969	71.648	73.368	75.129	76.932
PIB per capita	68.380	70.717	73.155	75.693	77.964	80.319	82.761	85.304	87.942
Taxa (kg/hab/dia)	1,462	1,463	1,464	1,465	1,466	1,467	1,468	1,469	1,469
Prod domic+GG (kg)	3.819.222.340	3.824.888.577	3.829.360.059	3.833.017.755	3.835.477.814	3.837.123.425	3.837.955.317	3.837.590.595	3.836.414.952
Prod RSI (t)	178.686	183.868	189.200	194.687	199.359	204.144	209.043	214.060	219.198
Geração Total RS (t)	3.997.908	4.008.756	4.018.560	4.027.705	4.034.837	4.041.267	4.046.999	4.051.651	4.055.613
Coletado Aterros A (t)	3.838.408	3.847.521	3.855.622	3.863.083	3.868.606	3.873.449	3.877.617	3.880.746	3.883.210
Coletado Aterros A (%)	96,0%	96,0%	95,9%	95,9%	95,9%	95,8%	95,8%	95,8%	95,7%
Coletado Aterros B (t)	3.286.504	3.290.383	3.293.245	3.295.468	3.295.718	3.295.283	3.294.165	3.291.988	3.289.134
Coletado Aterros B (%)	82,2%	82,1%	82,0%	81,8%	81,7%	81,5%	81,4%	81,3%	81,1%
Coletado Aterros C (t)	2.780.284	1.949.800	1.954.901	1.960.006	1.964.998	1.965.434	1.965.846	1.225.686	1.227.435
Coletado Aterros C (%)	69,5%	48,6%	48,6%	48,7%	48,7%	48,6%	48,6%	30,3%	30,3%
Não categorizado A (t)	108.184	108.478	108.743	108.991	109.184	109.358	109.513	109.639	109.746
Não categorizado A (%)	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%
Não categorizado B (t)	66.753	64.869	62.957	61.026	59.055	57.068	55.064	53.040	51.002
Não categorizado B (%)	1,7%	1,6%	1,6%	1,5%	1,5%	1,4%	1,4%	1,3%	1,3%
Não categorizado C (t)	17.991	13.530	9.042	4.531	-	-	-	-	-
Não categorizado C (%)	0,5%	0,3%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Food	57,48	57,53	57,59	57,64	57,68	57,73	57,77	57,82	57,87
Garden	0,61	0,60	0,58	0,57	0,56	0,54	0,53	0,52	0,51
Paper	10,14	10,00	9,86	9,72	9,61	9,49	9,37	9,26	9,14
Wood	1,89	1,94	1,99	2,04	2,08	2,13	2,17	2,22	2,27

Textile	1,74	1,74	1,74	1,73	1,73	1,72	1,72	1,72	1,71
Nappies	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plastics, Inerts	28,13	28,19	28,25	28,30	28,35	28,39	28,43	28,46	28,50
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cap instalada RIO (t)	5.110.000	1.825.000	1.825.000	1.825.000	1.825.000	1.825.000	1.825.000		
Dem reprimida RIO A	1.271.592	-2.022.521	-2.030.622	-2.038.083	-2.043.606	-2.048.449	-2.052.617	-3.880.746	-3.883.210
Dem reprimida RIO B	1.864.927	-1.421.774	-1.422.459	-1.422.503	-1.420.589	-1.417.992	-1.414.716	-3.235.389	-3.230.390
Dem reprimida RIO C	2.054.405	-1.952.180	-1.954.911	-1.957.001	-1.957.133	-1.956.582	-1.955.351	-3.778.070	-3.775.117
RSS (t) Inventário 2012	50.977	51.018	51.044	51.059	51.059	51.049	51.028	50.993	50.947
Térmico (t) PNAD,2019									
Térmico (%) PNAD,2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Usina Waste-Energy A (t)	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300
Usina Waste-Energy A (%)	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%
Usina Waste-Energy B (t)	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500
Usina Waste-Energy B (%)	11,9%	11,8%	11,8%	11,8%	11,8%	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%
Usina Waste-Energy C (t)	474.500	1.254.016	1.253.440	1.252.566	1.251.113	1.249.357	1.247.299	1.964.565	1.960.220
Usina Waste-Energy C (%)	11,9%	31,3%	31,2%	31,1%	31,0%	30,9%	30,8%	48,5%	48,3%
Compostagem A (t)	616	617	618	620	620	621	622	622	623
Compostagem A (%)	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
Compostagem B (t)	116.291	123.099	129.906	136.713	143.520	150.328	157.135	163.942	170.750
Compostagem B (%)	2,9%	3,1%	3,2%	3,4%	3,6%	3,7%	3,9%	4,0%	4,2%
Compostagem C (t)	116.291	123.099	129.906	136.713	143.520	150.328	157.135	163.942	170.750
Compostagem C (%)	2,9%	3,1%	3,2%	3,4%	3,6%	3,7%	3,9%	4,0%	4,2%
Usina Biodigestão (t)	365.505	401.680	403.945	406.019	407.250	408.267	409.068	422.085	422.424
Usina Biodigestão (%)	9,1%	10,0%	10,1%	10,1%	10,1%	10,1%	10,1%	10,4%	10,4%
Reciclagem secos A (t)	43.400	44.841	46.277	47.711	49.127	50.539	51.947	53.344	54.735
Reciclagem secos A (%)	1,1%	1,1%	1,2%	1,2%	1,2%	1,3%	1,3%	1,3%	1,3%

Reciclagem secos B (t)	53.860	55.906	57.952	59.998	62.043	64.089	66.135	68.181	70.227
Reciclagem secos B (%)	1,3%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%	1,6%	1,6%	1,7%	1,7%
Reciclagem secos C (t)	243.338	266.632	267.326	267.870	267.955	267.881	267.651	275.373	274.785
Reciclagem secos C (%)	6,1%	6,7%	6,7%	6,7%	6,6%	6,6%	6,6%	6,8%	6,8%
Reciclagem Papel A (t)	12.125	12.357	12.576	12.786	13.007	13.219	13.421	13.612	13.793
Reciclagem Papel B (t)	15.048	15.406	15.749	16.079	16.427	16.763	17.086	17.398	17.697
Reciclagem Papel C (t)	67.986	73.475	72.649	71.786	70.944	70.064	69.149	70.267	69.247
Triagem mecanizada (t)	635.853	698.164	701.470	704.435	706.019	707.225	708.052	730.000	730.000

Tabela D.1 – Níveis de atividade e penetração das medidas de mitigação nos cenários A, B e C - Cidade do Rio de Janeiro (continuação)

Ano	2046	2047	2048	2049	2050
População	7.144.967	7.135.678	7.124.975	7.112.862	7.098.637
Taxa de Crescimento IBGE	-0,11	-0,13	-0,15	-0,17	-0,20
PIB (R\$)	647.905.722.461	667.342.894.135	687.363.180.959	707.984.076.388	729.223.598.680
PIB Industrial (Mi R\$)	78.778	80.669	82.605	84.587	86.618
PIB per capita	90.680	93.522	96.472	99.536	102.727
Taxa (kg/hab/dia)	1,470	1,471	1,472	1,473	1,474
Prod domic+GG (kg)	3.834.430.592	3.831.640.138	3.828.046.635	3.823.653.550	3.818.082.203
Prod RSI (t)	224.459	229.846	235.362	241.011	246.795
Geração Total RS (t)	4.058.889	4.061.486	4.063.408	4.064.664	4.064.877
Coletado Aterros A (t)	3.885.013	3.886.163	3.886.666	3.886.528	3.885.391
Coletado Aterros A (%)	95,7%	95,7%	95,7%	95,6%	95,6%
Coletado Aterros B (t)	3.285.607	3.281.411	3.276.552	3.271.034	3.264.486
Coletado Aterros B (%)	80,9%	80,8%	80,6%	80,5%	80,3%
Coletado Aterros C (t)	1.228.837	1.229.898	1.230.619	1.231.006	1.230.838
Coletado Aterros C (%)	30,3%	30,3%	30,3%	30,3%	30,3%
Não categorizado A (t)	109.835	109.905	109.957	109.991	109.997

Não categorizado A (%)	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%
Não categorizado B (t)	48.953	46.892	44.821	42.741	40.649
Não categorizado B (%)	1,2%	1,2%	1,1%	1,1%	1,0%
Não categorizado C (t)	-	-	-	-	-
Não categorizado C (%)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Food	57,91	57,96	58,01	58,06	58,10
Garden	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46
Paper	9,03	8,92	8,80	8,69	8,58
Wood	2,32	2,37	2,42	2,48	2,54
Textile	1,71	1,71	1,70	1,70	1,70
Nappies	0	0	0	0	0
Plastics, Inerts	28,53	28,56	28,59	28,61	28,63
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cap instalada RIO (t)					
Dem reprimida RIO A	-3.885.013	-3.886.163	-3.886.666	-3.886.528	-3.885.391
Dem reprimida RIO B	-3.224.725	-3.218.398	-3.211.415	-3.203.784	-3.195.138
Dem reprimida RIO C	-3.771.498	-3.767.216	-3.762.280	-3.756.694	-3.750.094
RSS (t) Inventário 2012	50.891	50.825	50.748	50.662	50.561
Térmico (t) PNAD,2019					
Térmico (%) PNAD,2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Usina Waste-Energy A (t)	7.300	7.300	7.300	7.300	7.300
Usina Waste-Energy A (%)	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%
Usina Waste-Energy B (t)	474.500	474.500	474.500	474.500	474.500
Usina Waste-Energy B (%)	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%
Usina Waste-Energy C (t)	1.955.547	1.950.548	1.945.227	1.939.584	1.933.469
Usina Waste-Energy C (%)	48,2%	48,0%	47,9%	47,7%	47,6%
Compostagem A (t)	623	623	623	623	622

Compostagem A (%)	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
Compostagem B (t)	177.557	184.364	191.172	197.979	204.786
Compostagem B (%)	4,4%	4,5%	4,7%	4,9%	5,0%
Compostagem C (t)	177.557	184.364	191.172	197.979	204.786
Compostagem C (%)	4,4%	4,5%	4,7%	4,9%	5,0%
Usina Biodigestão (t)	422.765	423.109	423.454	423.802	424.154
Usina Biodigestão (%)	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%
Reciclagem secos A (t)	56.118	57.495	58.863	60.223	61.568
Reciclagem secos A (%)	1,4%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%
Reciclagem secos B (t)	72.273	74.319	76.365	78.410	80.456
Reciclagem secos B (%)	1,8%	1,8%	1,9%	1,9%	2,0%
Reciclagem secos C (t)	274.183	273.567	272.937	272.292	271.630
Reciclagem secos C (%)	6,8%	6,7%	6,7%	6,7%	6,7%
Reciclagem Papel A (t)	13.965	14.128	14.281	14.425	14.558
Reciclagem Papel B (t)	17.986	18.262	18.527	18.782	19.024
Reciclagem Papel C (t)	68.232	67.223	66.219	65.222	64.227
Triagem mecanizada (t)	730.000	730.000	730.000	730.000	730.000

Tabela D.2 – Resultados das emissões no cenário A – Cidade do Rio de Janeiro

Ano	Lixão	Controlado	Sanitário	Não coletado	Total Aterro	Aterro -OX	Aterro -R	Aterro -R-OX	Incineração	Térmicas	Compostagem	Biodigestão	TOTAL	TOTAL -R	TOTAL -R-OX
2005	216,0	2.237,3		68,6	2.521,9	2.399,3	2.521,9	2.521,0		0,0	0,1		2.522,1	2.522,1	2.521,1
2006	174,7	2.447,9		69,3	2.692,0	2.561,1	2.692,0	2.691,1		0,1	0,1		2.692,2	2.692,2	2.691,3
2007	145,0	2.625,6		70,3	2.840,8	2.702,6	2.840,8	2.839,9		0,1	0,1		2.841,0	2.841,0	2.840,1
2008	123,1	2.727,8		70,4	2.921,2	2.779,1	2.921,2	2.920,3		0,1	0,1		2.921,5	2.921,5	2.920,5
2009	106,6	2.800,2	-	70,3	2.977,1	2.820,8	2.854,3	2.853,4		0,2	0,1		2.977,3	2.854,6	2.853,6
2010	93,8	2.783,3	72,5	69,9	3.019,5	2.855,5	2.830,1	2.829,2		0,2	0,1		3.019,8	2.830,4	2.829,5
2011	83,7	2.787,1	163,0	70,4	3.104,2	2.908,7	2.787,7	2.786,7		0,2	0,1		3.104,6	2.788,0	2.787,0
2012	75,5	2.652,2	393,9	70,6	3.192,2	2.936,4	2.815,4	2.814,5		0,2	0,1		3.192,6	2.815,7	2.814,8
2013	68,7	2.306,1	899,7	71,1	3.345,5	3.020,0	2.740,9	2.740,0		1,6	0,1		3.347,2	2.742,7	2.741,8
2014	62,9	1.798,9	1.630,9	72,0	3.564,7	3.217,9	2.877,9	2.877,0		3,0	0,1		3.567,8	2.881,0	2.880,1
2015	57,8	1.441,4	2.156,7	72,8	3.728,7	3.365,9	2.887,2	2.886,3		4,4	0,1		3.733,1	2.891,7	2.890,8
2016	53,4	1.185,5	2.538,6	73,3	3.850,8	3.476,1	3.035,6	3.034,7		4,4	0,1		3.855,2	3.040,1	3.039,2
2017	49,4	998,9	2.822,5	73,7	3.944,4	3.560,6	3.161,4	3.160,4		4,4	0,1		3.948,9	3.165,8	3.164,9
2018	45,8	859,8	3.041,0	74,0	4.020,7	3.629,5	3.222,4	3.221,5		4,4	0,1		4.025,1	3.226,9	3.226,0
2019	42,5	753,7	3.236,4	74,7	4.107,2	3.707,6	3.291,8	3.290,9		4,4	0,1		4.111,7	3.296,3	3.295,4
2020	39,5	670,4	3.396,1	75,2	4.181,3	3.774,5	3.351,2	3.350,3		4,4	0,1		4.185,8	3.355,7	3.354,8
2021	36,8	603,5	3.530,3	75,8	4.246,3	3.833,1	3.403,3	3.402,4		4,4	0,1		4.250,8	3.407,8	3.406,9
2022	34,3	548,2	3.645,8	76,2	4.304,4	3.885,6	3.449,9	3.449,0		4,4	0,1		4.308,9	3.454,4	3.453,5
2023	31,9	501,4	3.747,2	76,7	4.357,2	3.933,2	3.492,2	3.491,3		4,4	0,1		4.361,7	3.496,6	3.495,7
2024	29,7	461,1	3.837,7	77,1	4.405,6	3.976,9	3.531,0	3.530,0		4,4	0,1		4.410,1	3.535,4	3.534,5
2025	27,7	425,7	3.919,4	77,4	4.450,3	4.017,3	3.566,8	3.565,9		4,4	0,1		4.454,8	3.571,3	3.570,4
2026	25,9	394,2	3.994,0	77,8	4.491,9	4.054,8	3.600,1	3.599,2		4,4	0,1		4.496,3	3.604,6	3.603,7
2027	24,1	365,8	4.062,5	78,2	4.530,6	4.089,7	3.631,1	3.630,2		4,4	0,1		4.535,0	3.635,6	3.634,7
2028	22,5	340,0	4.125,7	78,5	4.566,7	4.122,3	3.660,0	3.659,1		4,4	0,1		4.571,1	3.664,5	3.663,6
2029	21,0	316,4	4.184,2	78,8	4.600,3	4.152,7	3.687,0	3.686,1		4,4	0,1		4.604,8	3.691,5	3.690,6

Ano	Lixão	Controlado	Sanitário	Não coletado	Total Aterro	Aterro -OX	Aterro -R	Aterro -R-OX	Incineração	Térmicas	Compostagem	Biodigestão	TOTAL	TOTAL -R	TOTAL -R-OX
2030	19,6	294,7	4.238,5	79,1	4.631,9	4.181,2	3.712,3	3.711,4		4,4	0,1		4.636,3	3.716,8	3.715,9
2031	18,3	274,7	4.288,9	79,3	4.661,3	4.207,7	3.735,9	3.735,0		4,4	0,1		4.665,7	3.740,3	3.739,4
2032	17,1	256,2	4.335,8	79,6	4.688,7	4.232,5	3.757,8	3.756,9		4,4	0,1		4.693,1	3.762,3	3.761,4
2033	15,9	239,1	4.379,2	79,8	4.714,1	4.255,4	3.778,2	3.777,3		4,4	0,1		4.718,5	3.782,7	3.781,8
2034	14,9	223,1	4.419,4	80,0	4.737,5	4.276,5	3.796,9	3.796,0		4,4	0,1		4.742,0	3.801,4	3.800,5
2035	13,9	208,3	4.456,6	80,2	4.759,0	4.296,0	3.814,2	3.813,3		4,4	0,1		4.763,5	3.818,7	3.817,8
2036	13,0	194,6	4.490,8	80,4	4.778,7	4.313,7	3.830,0	3.829,1		4,4	0,1		4.783,2	3.834,5	3.833,6
2037	12,1	181,7	4.522,2	80,5	4.796,6	4.329,9	3.844,3	3.843,4		4,4	0,1		4.801,1	3.848,8	3.847,9
2038	11,3	169,8	4.551,0	80,7	4.812,7	4.344,5	3.857,3	3.856,4		4,4	0,1		4.817,2	3.861,8	3.860,9
2039	10,6	158,6	4.577,2	80,8	4.827,2	4.357,5	3.868,9	3.868,0		4,4	0,1		4.831,7	3.873,4	3.872,5
2040	9,9	148,3	4.601,0	80,9	4.840,0	4.369,1	3.879,1	3.878,2		4,4	0,1		4.844,5	3.883,6	3.882,7
2041	9,2	138,6	4.622,5	81,0	4.851,3	4.379,3	3.888,2	3.887,3		4,4	0,1		4.855,8	3.892,7	3.891,8
2042	8,6	129,5	4.641,6	81,0	4.860,8	4.387,9	3.895,8	3.894,9		4,4	0,1		4.865,3	3.900,3	3.899,4
2043	8,1	121,1	4.658,6	81,1	4.868,8	4.395,0	3.902,2	3.901,3		4,4	0,1		4.873,3	3.906,7	3.905,8
2044	7,5	113,2	4.673,5	81,1	4.875,3	4.401,0	3.907,4	3.906,5		4,4	0,1		4.879,8	3.911,9	3.911,0
2045	7,0	105,9	4.686,5	81,1	4.880,5	4.405,6	3.911,6	3.910,7		4,4	0,1		4.885,0	3.916,1	3.915,2
2046	6,6	99,0	4.697,7	81,1	4.884,4	4.409,2	3.914,7	3.913,8		4,4	0,1		4.888,9	3.919,2	3.918,3
2047	6,2	92,6	4.707,3	81,0	4.887,2	4.411,7	3.916,9	3.916,0		4,4	0,1		4.891,7	3.921,4	3.920,5
2048	5,8	86,7	4.715,4	81,0	4.888,8	4.413,2	3.918,3	3.917,4		4,4	0,1		4.893,3	3.922,7	3.921,8
2049	5,4	81,1	4.722,0	81,0	4.889,5	4.413,7	3.918,8	3.917,9		4,4	0,1		4.893,9	3.923,2	3.922,3
2050	5,0	75,9	4.727,3	80,9	4.889,1	4.413,4	3.918,5	3.917,6		4,4	0,1		4.893,6	3.923,0	3.922,1
TOTAIS	519,5	8.019,4	134.156,1	2.463,0	145.157,9		116.339,8	116.311,8	-	135,2	3,597	-	145.296,7	116.478,6	116.450,6

Tabela D.3 – Resultados das emissões no cenário B – Cidade do Rio de Janeiro

Ano	Lixão	Controlado	Sanitário	Não coletado	Total Aterro	Aterro -OX	Aterro -R	Aterro -R-OX	Incineração	Térmicas	Compostagem	Biodigestão	TOTAL	TOTAL -R	TOTAL -R-OX
2015	57,8	1.441,4	2.156,7	72,8	3.728,7	3.365,9	2.887,2	2.886,3	-	4,4	0,1		3.733,1	2.891,7	2.890,8
2016	53,4	1.185,5	2.538,6	73,3	3.850,8	3.476,1	3.035,6	3.034,7	-	4,4	0,1		3.855,2	3.040,1	3.039,2
2017	49,4	998,9	2.822,5	73,7	3.944,4	3.560,6	3.161,4	3.160,4	-	4,4	0,1		3.948,9	3.165,8	3.164,9
2018	45,8	859,8	3.041,0	74,0	4.020,7	3.629,2	3.191,1	3.190,2	-	4,4	0,1		4.025,1	3.195,5	3.194,6
2019	42,5	753,7	3.237,4	74,4	4.108,0	3.707,8	3.228,3	3.227,4	-	4,4	0,1		4.112,4	3.232,7	3.231,8
2020	39,5	670,4	3.398,8	74,4	4.183,2	3.775,5	3.254,7	3.253,8	-	283,5	0,1		4.466,8	3.538,4	3.537,5
2021	36,8	603,5	3.399,1	72,0	4.111,4	3.710,5	3.166,8	3.165,9	-	283,5	1,4		4.396,3	3.451,7	3.450,8
2022	34,3	548,2	3.419,3	70,2	4.071,9	3.674,7	3.104,6	3.103,7	-	283,5	2,7		4.358,2	3.390,9	3.390,0
2023	31,9	501,4	3.451,8	68,7	4.053,8	3.658,1	3.059,2	3.058,3	-	283,5	4,0		4.341,4	3.346,7	3.345,8
2024	29,7	461,1	3.491,2	67,4	4.049,5	3.654,0	3.024,3	3.023,4	-	283,5	5,3		4.338,3	3.313,1	3.312,2
2025	27,7	425,7	3.534,2	66,3	4.053,9	3.657,8	2.995,9	2.995,0	-	283,5	6,6		4.344,1	3.286,1	3.285,2
2026	25,9	394,2	3.578,5	65,2	4.063,7	3.666,4	2.971,5	2.970,6	-	283,5	7,9		4.355,2	3.262,9	3.262,0
2027	24,1	365,8	3.622,6	64,2	4.076,7	3.677,9	2.949,1	2.948,2	-	283,5	9,2		4.369,5	3.241,9	3.241,0
2028	22,5	340,0	3.665,6	63,2	4.091,3	3.690,9	2.927,8	2.926,9	-	283,5	10,5		4.385,3	3.221,8	3.220,9
2029	21,0	316,4	3.706,9	62,2	4.106,5	3.704,4	2.906,6	2.905,7	-	283,5	11,8		4.401,8	3.202,0	3.201,1
2030	19,6	294,7	3.746,3	61,1	4.121,7	3.717,9	2.885,2	2.884,3	-	283,5	13,1		4.418,4	3.181,9	3.181,0
2031	18,3	274,7	3.783,4	60,1	4.136,5	3.731,0	2.854,2	2.853,3	-	283,5	14,4		4.434,5	3.152,1	3.151,2
2032	17,1	256,2	3.818,2	59,0	4.150,5	3.743,5	2.822,4	2.821,5	-	283,5	15,8		4.449,8	3.121,6	3.120,7
2033	15,9	239,1	3.850,6	57,9	4.163,6	3.755,0	2.789,6	2.788,7	-	283,5	17,1		4.464,1	3.090,2	3.089,3
2034	14,9	223,1	3.880,6	56,8	4.175,4	3.765,5	2.755,8	2.754,9	-	283,5	18,4		4.477,3	3.057,7	3.056,8
2035	13,9	208,3	3.908,2	55,6	4.186,1	3.774,9	2.721,0	2.720,1	-	283,5	19,7		4.489,3	3.024,1	3.023,2
2036	13,0	194,6	3.933,5	54,4	4.195,5	3.783,2	2.685,1	2.684,2	-	283,5	21,0		4.500,0	2.989,6	2.988,7
2037	12,1	181,7	3.956,4	53,2	4.203,5	3.790,2	2.648,2	2.647,3	-	283,5	22,3		4.509,3	2.954,0	2.953,1
2038	11,3	169,8	3.977,2	52,0	4.210,3	3.796,1	2.610,4	2.609,5	-	283,5	23,6		4.517,4	2.917,5	2.916,6
2039	10,6	158,6	3.995,9	50,7	4.215,8	3.800,9	2.571,7	2.570,8	-	283,5	24,9		4.524,2	2.880,1	2.879,2

Ano	Lixão	Controlado	Sanitário	Não coletado	Total Aterro	Aterro -OX	Aterro -R	Aterro -R-OX	Incineração	Térmicas	Compostagem	Biodigestão	TOTAL	TOTAL -R	TOTAL -R-OX
2040	9,9	148,3	4.012,4	49,5	4.220,0	3.804,4	2.532,0	2.531,1	-	283,5	26,2		4.529,7	2.841,7	2.840,8
2041	9,2	138,6	4.027,0	48,2	4.223,0	3.806,9	2.491,6	2.490,7	-	283,5	27,5		4.534,0	2.802,6	2.801,7
2042	8,6	129,5	4.039,4	46,9	4.224,5	3.808,0	2.450,2	2.449,3	-	283,5	28,8		4.536,8	2.762,5	2.761,6
2043	8,1	121,1	4.049,9	45,5	4.224,6	3.807,9	2.408,0	2.407,1	-	283,5	30,1		4.538,2	2.721,6	2.720,7
2044	7,5	113,2	4.058,6	44,2	4.223,6	3.806,7	2.365,2	2.364,3	-	283,5	31,4		4.538,5	2.680,1	2.679,2
2045	7,0	105,9	4.065,6	42,8	4.221,3	3.804,5	2.321,7	2.320,8	-	283,5	32,7		4.537,6	2.638,0	2.637,1
2046	6,6	99,0	4.071,0	41,4	4.218,0	3.801,3	2.277,7	2.276,8	-	283,5	34,0		4.535,6	2.595,3	2.594,4
2047	6,2	92,6	4.074,8	40,1	4.213,7	3.797,2	2.233,3	2.232,4	-	283,5	35,3		4.532,5	2.552,1	2.551,2
2048	5,8	86,7	4.077,3	38,7	4.208,4	3.792,2	2.188,4	2.187,5	-	283,5	36,6		4.528,6	2.508,5	2.507,6
2049	5,4	81,1	4.078,5	37,3	4.202,3	3.786,5	2.143,2	2.142,3	-	283,5	37,9		4.523,7	2.464,6	2.463,7
2050	5,0	75,9	4.078,4	35,9	4.195,2	3.779,9	2.097,6	2.096,7	-	283,5	39,2		4.518,0	2.420,4	2.419,5
TOTAIS	519,5	8.019,4	118.751,3	1.705,2	128.995,4		83.212,8	83.184,9	-	8.789,3	609,5	-	138.394,2	92.611,6	92.583,7

Tabela D.4 – Resultados das emissões no cenário C - Cidade do Rio de Janeiro

Ano	Lixão	Controlado	Sanitário	Não coletado	Total Aterro	Aterro -OX	Aterro -R	Aterro -R-OX	Incineração	Térmicas	Compostagem	Biodigestão	TOTAL	TOTAL -R	TOTAL -R-OX
2015	57,8	1.441,4	2.156,7	72,8	3.728,7	3.365,9	2.887,2	2.886,3	-	4,4	0,1		3.733,1	2.891,7	2.890,8
2016	53,4	1.185,5	2.538,6	73,3	3.850,8	3.476,1	3.035,6	3.034,7	-	4,4	0,1		3.855,1	3.040,0	3.039,1
2017	49,4	998,9	2.822,5	73,7	3.944,4	3.560,6	3.161,4	3.160,4	-	4,4	0,1		3.948,8	3.165,7	3.164,8
2018	45,8	859,8	3.041,0	74,0	4.020,7	3.629,0	3.191,1	3.190,2	-	4,4	0,1		4.025,0	3.195,4	3.194,5
2019	42,5	753,7	3.238,7	74,0	4.108,8	3.708,1	3.229,0	3.228,1	-	4,4	0,1		4.113,2	3.233,3	3.232,4
2020	39,5	670,4	3.399,8	73,3	4.183,0	3.774,6	3.254,6	3.253,7	-	283,5	0,1		4.466,6	3.538,2	3.537,3
2021	36,8	603,5	3.397,8	70,2	4.108,3	3.706,7	3.164,4	3.163,5	-	283,5	1,4		4.391,8	3.447,9	3.447,0
2022	34,3	548,2	3.417,2	67,5	4.067,1	3.669,1	3.100,9	3.100,0	-	283,5	2,7		4.350,6	3.384,4	3.383,5
2023	31,9	501,4	3.449,6	65,0	4.048,0	3.651,4	3.054,8	3.053,9	-	283,5	4,0		4.331,5	3.338,3	3.337,4
2024	29,7	461,1	3.489,8	62,6	4.043,2	3.646,6	3.019,6	3.018,7	-	283,5	5,3		4.326,8	3.303,1	3.302,2
2025	27,7	425,7	3.533,9	60,3	4.047,7	3.650,2	2.991,3	2.990,4	-	283,5	6,6		4.331,2	3.274,9	3.274,0
2026	25,9	394,2	3.579,7	58,0	4.057,8	3.658,9	2.967,1	2.966,2	-	283,5	7,9		4.341,3	3.250,7	3.249,8
2027	24,1	365,8	3.625,6	55,7	4.071,3	3.670,6	2.945,2	2.944,3	-	283,5	9,2		4.354,8	3.228,7	3.227,8
2028	22,5	340,0	3.670,6	53,4	4.086,5	3.683,9	2.924,4	2.923,5	-	283,5	10,5		4.370,1	3.207,9	3.207,0
2029	21,0	316,4	3.714,1	51,1	4.102,5	3.697,8	2.903,8	2.902,9	-	283,5	11,8		4.386,1	3.187,3	3.186,4
2030	19,6	294,7	3.755,7	48,7	4.118,7	3.711,9	2.883,1	2.882,2	-	283,5	13,1	8,7	4.410,9	3.175,3	3.174,4
2031	18,3	274,7	3.703,6	46,3	4.042,9	3.643,1	2.749,1	2.748,2	-	283,5	14,4	8,7	4.335,1	3.041,4	3.040,5
2032	17,1	256,2	3.670,8	43,8	3.987,9	3.593,1	2.632,0	2.631,1	-	283,5	15,8	8,7	4.280,1	2.924,3	2.923,4
2033	15,9	239,1	3.650,1	41,3	3.946,4	3.555,3	2.525,7	2.524,8	-	283,5	17,1	8,7	4.238,7	2.818,0	2.817,1
2034	14,9	223,1	3.636,8	38,7	3.913,5	3.525,3	2.426,4	2.425,5	-	283,5	18,4	8,7	4.205,8	2.718,7	2.717,8
2035	13,9	208,3	3.627,8	36,1	3.886,1	3.500,1	2.331,7	2.330,8	-	283,5	19,7	8,7	4.178,4	2.623,9	2.623,0
2036	13,0	194,6	3.620,9	33,5	3.862,0	3.477,9	2.239,9	2.239,0	-	283,5	21,0	9,2	4.154,7	2.532,7	2.531,8
2037	12,1	181,7	3.609,7	30,9	3.834,4	3.452,7	2.147,3	2.146,4	-	283,5	22,3	10,2	4.128,2	2.441,0	2.440,1
2038	11,3	169,8	3.589,3	28,2	3.798,6	3.420,0	2.051,2	2.050,3	-	749,3	23,6	11,2	4.559,1	2.811,8	2.810,9
2039	10,6	158,6	3.330,4	25,4	3.525,0	3.173,3	1.833,0	1.832,1	-	749,0	24,9	11,3	4.285,3	2.593,3	2.592,4

Ano	Lixão	Controlado	Sanitário	Não coletado	Total Aterro	Aterro -OX	Aterro -R	Aterro -R-OX	Incineração	Térmicas	Compostagem	Biodigestão	TOTAL	TOTAL -R	TOTAL -R-OX
2040	9,9	148,3	3.152,3	22,7	3.333,1	3.000,1	1.666,5	1.665,6	-	748,4	26,2	11,4	4.092,9	2.426,3	2.425,4
2041	9,2	138,6	3.028,8	19,9	3.196,5	2.876,8	1.534,3	1.533,4	-	747,6	27,5	11,4	3.955,5	2.293,3	2.292,4
2042	8,6	129,5	2.942,2	17,2	3.097,6	2.787,8	1.424,9	1.424,0	-	746,5	28,8	11,4	3.855,5	2.182,8	2.181,9
2043	8,1	121,1	2.878,8	15,1	3.023,1	2.720,8	1.330,2	1.329,3	-	745,3	30,1	11,5	3.779,9	2.086,9	2.086,0
2044	7,5	113,2	2.831,2	13,5	2.965,5	2.668,9	1.245,5	1.244,6	-	1.173,9	31,4	11,8	4.151,2	2.431,2	2.430,3
2045	7,0	105,9	2.574,2	12,2	2.699,3	2.429,4	1.079,7	1.078,8	-	1.171,3	32,7	11,8	3.882,4	2.262,8	2.261,9
2046	6,6	99,0	2.391,9	11,1	2.508,6	2.257,7	953,3	952,4	-	1.168,5	34,0	11,8	3.688,9	2.133,6	2.132,7
2047	6,2	92,6	2.260,1	10,2	2.369,1	2.132,2	852,9	852,0	-	1.165,5	35,3	11,8	3.546,5	2.030,2	2.029,3
2048	5,8	86,7	2.162,9	9,4	2.264,7	2.038,3	770,0	769,1	-	1.162,3	36,6	11,9	3.438,9	1.944,2	1.943,3
2049	5,4	81,1	2.089,3	8,7	2.184,5	1.966,0	699,0	698,1	-	1.158,9	37,9	11,9	3.355,3	1.869,8	1.868,9
2050	5,0	75,9	2.031,9	8,1	2.120,9	1.908,8	636,3	635,4	-	1.155,3	39,2	11,9	3.288,1	1.803,4	1.802,5
TOTAIS	519,5	8.019,4	99.816,6	1.138,3	109.493,7		66.338,2	66.310,3	-	17.745,2	609,5	223,0	127.462,0	84.306,4	84.278,5

Tabela D.5 – Emissões líquidas e emissões evitadas por medida de mitigação por cenário – Cidade do Rio de Janeiro

Cenário A	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	3.774	3.833	3.886	3.933	3.977	4.017	4.055	4.090	4.122	4.153	4.181
Evitadas (aterro com queima)	%													
	10 ³ tCO ₂ e													
Evitadas (aterro com energia)	%													
	10 ³ tCO ₂ e													
Evitadas (térmica)	%													
	10 ³ tCO ₂ e													
Evitadas (biodigestão)	%													
	10 ³ tCO ₂ e													
Evitadas (compostagem)	%			0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
	10 ³ tCO ₂ e			0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
Evitadas (reciclagem)	%			0,5%	0,6%	0,6%	0,6%	0,7%	0,7%	0,7%	0,8%	0,8%	0,8%	0,9%
	10 ³ tCO ₂ e			4	4	5	5	5	6	6	7	7	8	8
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e													
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e													
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e													
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e													
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20												
Cenário B	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	3.776	3.710	3.675	3.658	3.654	3.658	3.666	3.678	3.691	3.704	3.718
Evitadas (aterro com queima)	%			18,9%	20,0%	21,1%	22,1%	23,1%	24,0%	25,0%	25,9%	26,7%	27,5%	28,3%
	10 ³ tCO ₂ e			443	474	506	540	575	611	647	684	718	753	788
Evitadas (aterro com energia)	%			3,3%	3,0%	2,7%	2,4%	2,2%	2,0%	1,9%	1,7%	1,7%	1,7%	1,7%
	10 ³ tCO ₂ e			79	71	65	60	56	52	49	46	46	46	46

Evitadas (térmica)	%			12,9%	12,8%	12,7%	12,6%	12,6%	12,5%	12,4%	12,4%	12,3%	12,2%	12,2%
	10 ³ tCO ₂ e			6	132	221	285	331	365	390	410	426	439	450
Evitadas (biodigestão)	%													
	10 ³ tCO ₂ e													
Evitadas (compostagem)	%			0,02%	0,2%	0,4%	0,6%	0,7%	0,9%	1,1%	1,3%	1,4%	1,6%	1,8%
	10 ³ tCO ₂ e			0,6	1	2	6	10	14	20	25	31	37	43
Evitadas (reciclagem)	%			0,5%	0,6%	0,6%	0,7%	0,7%	0,8%	0,8%	0,9%	0,9%	1,0%	1,0%
	10 ³ tCO ₂ e			4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e	127,00	93,00	3.254	3.166	3.104	3.058	3.023	2.995	2.971	2.948	2.927	2.906	2.884
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e													
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e	263,00		284	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e													
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	0,1	1	3	4	5	7	8	9	11	12	13
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-											
Cenário C	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	3.775	3.707	3.669	3.651	3.647	3.650	3.659	3.671	3.684	3.698	3.712
Evitadas (aterro com queima)	%													
	10 ³ tCO ₂ e													
Evitadas (aterro com energia)	%			22,2%	23,0%	23,8%	24,5%	25,3%	26,1%	26,9%	27,7%	28,4%	29,2%	30,0%
	10 ³ tCO ₂ e			521	543	569	598	628	660	693	726	760	795	830
Evitadas (térmica)	%			12,9%	12,8%	12,7%	12,6%	12,6%	12,5%	12,4%	12,4%	12,3%	12,2%	12,2%
	10 ³ tCO ₂ e			6	132	221	285	331	365	390	410	426	439	450
Evitadas (biodigestão)	%													8,0%
	10 ³ tCO ₂ e													
Evitadas (compostagem)	%			0,02%	0,2%	0,4%	0,6%	0,7%	0,9%	1,1%	1,3%	1,4%	1,6%	1,8%
	10 ³ tCO ₂ e			0,6	1	2	6	10	14	20	25	31	37	43
Evitadas (reciclagem)	%			1,0%	1,1%	1,2%	1,3%	1,4%	1,5%	1,6%	1,7%	1,8%	1,9%	2,0%

	10 ³ tCO ₂ e			4	5	6	7	8	10	11	12	14	15	16
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e													
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e	273,00	-	3.254	3.163	3.100	3.054	3.019	2.990	2.966	2.944	2.923	2.903	2.882
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e	263,00	-	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e	56,00												9
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	0,1	1	3	4	5	7	8	9	11	12	13
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-											

Tabela D.5 – Emissões líquidas e emissões evitadas por medida de mitigação por cenário – Cidade do Rio de Janeiro (continuação)

Cenário A	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	4.208	4.232	4.255	4.277	4.296	4.314	4.330	4.344	4.358	4.369
Evitadas (aterro com queima)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (aterro com energia)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (térmica)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (biodigestão)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (compostagem)	%			0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
	10 ³ tCO ₂ e			0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Evitadas (reciclagem)	%			0,9%	0,9%	1,0%	1,0%	1,0%	1,1%	1,1%	1,1%	1,2%	1,2%
	10 ³ tCO ₂ e			9	9	10	10	11	11	12	12	13	13
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e												
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e												
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e												
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e												
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20											
Cenário B	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	3.731	3.743	3.755	3.765	3.775	3.783	3.790	3.796	3.801	3.804
Evitadas (aterro com queima)	%			29,4%	30,5%	31,5%	32,6%	33,6%	34,6%	35,7%	36,7%	37,7%	38,8%
	10 ³ tCO ₂ e			833	878	923	968	1.013	1.058	1.102	1.147	1.191	1.234
Evitadas (aterro com energia)	%			1,6%	1,5%	1,5%	1,4%	1,4%	1,4%	1,3%	1,3%	1,3%	1,2%
	10 ³ tCO ₂ e			45	44	43	43	42	41	41	40	40	39

Evitadas (térmica)	%			12,1%	12,1%	12,0%	12,0%	11,9%	11,9%	11,9%	11,8%	11,8%	11,8%
	10 ³ tCO ₂ e			459	467	474	481	486	491	495	499	503	506
Evitadas (biodigestão)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (compostagem)	%			1,9%	2,1%	2,3%	2,4%	2,6%	2,7%	2,9%	3,1%	3,2%	3,4%
	10 ³ tCO ₂ e			50	56	63	70	76	83	90	97	104	111
Evitadas (reciclagem)	%			1,1%	1,1%	1,2%	1,2%	1,3%	1,3%	1,3%	1,4%	1,4%	1,5%
	10 ³ tCO ₂ e			10	10	11	12	12	13	14	14	15	15
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e	127,00	93,00	2.853	2.821	2.789	2.755	2.720	2.684	2.647	2.610	2.571	2.531
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e												
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e	263,00		284	284	284	284	284	284	284	284	284	284
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e												
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	14	16	17	18	20	21	22	24	25	26
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-										
Cenário C	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	3.643	3.593	3.555	3.525	3.500	3.478	3.453	3.420	3.173	3.000
Evitadas (aterro com queima)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (aterro com energia)	%			32,0%	34,0%	36,0%	38,0%	40,0%	42,0%	44,0%	46,0%	48,0%	50,0%
	10 ³ tCO ₂ e			895	962	1.031	1.100	1.169	1.239	1.306	1.370	1.341	1.335
Evitadas (térmica)	%			12,1%	12,1%	12,0%	12,0%	11,9%	11,9%	11,9%	31,3%	31,2%	31,1%
	10 ³ tCO ₂ e			459	467	474	481	486	491	495	499	712	861
Evitadas (biodigestão)	%			8,0%	7,9%	7,9%	7,9%	7,9%	8,3%	9,1%	10,0%	10,1%	10,1%
	10 ³ tCO ₂ e			115	166	202	228	247	262	278	300	326	346
Evitadas (compostagem)	%			1,9%	2,1%	2,3%	2,4%	2,6%	2,7%	2,9%	3,1%	3,2%	3,4%
	10 ³ tCO ₂ e			50	56	63	70	76	83	90	97	104	111
Evitadas (reciclagem)	%			2,6%	3,2%	3,8%	4,4%	4,9%	5,5%	6,1%	6,7%	6,7%	6,7%

	10 ³ tCO ₂ e			18	19	22	25	29	32	37	41	46	51
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e												
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e	273,00	-	2.748	2.631	2.525	2.425	2.331	2.239	2.146	2.050	1.832	1.666
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e	263,00	-	284	284	284	284	284	284	284	749	749	748
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e	56,00		9	9	9	9	9	9	10	11	11	11
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	14	16	17	18	20	21	22	24	25	26
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-										

Tabela D.5 – Emissões líquidas e emissões evitadas por medida de mitigação por cenário – Cidade do Rio de Janeiro (continuação)

Cenário A	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	4.379	4.388	4.395	4.401	4.406	4.409	4.412	4.413	4.414	4.413
Evitadas (aterro com queima)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (aterro com energia)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (térmica)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (biodigestão)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (compostagem)	%			0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
	10 ³ tCO ₂ e			0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Evitadas (reciclagem)	%			1,2%	1,3%	1,3%	1,3%	1,3%	1,4%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%
	10 ³ tCO ₂ e			14	14	14	15	15	16	16	17	17	18
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e												
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e												
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e												
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e												
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20											
Cenário B	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	3.807	3.808	3.808	3.807	3.805	3.801	3.797	3.792	3.786	3.780
Evitadas (aterro com queima)	%			39,8%	40,8%	41,9%	42,9%	43,9%	44,9%	45,9%	46,9%	48,0%	49,0%
	10 ³ tCO ₂ e			1.278	1.321	1.363	1.406	1.447	1.488	1.529	1.570	1.609	1.649
Evitadas (aterro com energia)	%			1,2%	1,2%	1,1%	1,1%	1,1%	1,1%	1,1%	1,1%	1,0%	1,0%
	10 ³ tCO ₂ e			38	38	37	37	36	36	36	35	35	34

Evitadas (térmica)	%			11,8%	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%
	10 ³ tCO ₂ e			509	512	514	516	518	520	521	523	524	525
Evitadas (biodigestão)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (compostagem)	%			3,6%	3,7%	3,9%	4,0%	4,2%	4,4%	4,5%	4,7%	4,9%	5,0%
	10 ³ tCO ₂ e			118	125	132	139	147	154	161	168	175	183
Evitadas (reciclagem)	%			1,5%	1,6%	1,6%	1,7%	1,7%	1,8%	1,8%	1,9%	1,9%	2,0%
	10 ³ tCO ₂ e			16	17	17	18	19	19	20	21	21	22
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e	127,00	93,00	2.491	2.449	2.407	2.364	2.321	2.277	2.232	2.187	2.142	2.097
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e												
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e	263,00		284	284	284	284	284	284	284	284	284	284
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e												
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	27	29	30	31	33	34	35	37	38	39
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-										
Cenário C	Unidade	R\$/t RSU	R\$/hab.ano	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Aterro sem queima (total)	10 ³ tCO ₂ e	60,00	50,00	2.877	2.788	2.721	2.669	2.429	2.258	2.132	2.038	1.966	1.909
Evitadas (aterro com queima)	%												
	10 ³ tCO ₂ e												
Evitadas (aterro com energia)	%			52,0%	54,0%	56,0%	58,0%	60,0%	62,0%	64,0%	66,0%	68,0%	70,0%
	10 ³ tCO ₂ e			1.343	1.364	1.392	1.424	1.351	1.305	1.280	1.269	1.268	1.273
Evitadas (térmica)	%			31,0%	30,9%	30,8%	48,5%	48,3%	48,2%	48,0%	47,9%	47,7%	47,6%
	10 ³ tCO ₂ e			966	1.043	1.098	1.140	1.364	1.522	1.636	1.718	1.779	1.825
Evitadas (biodigestão)	%			10,1%	10,1%	10,1%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%
	10 ³ tCO ₂ e			362	374	384	393	403	411	418	424	428	433
Evitadas (compostagem)	%			3,6%	3,7%	3,9%	4,0%	4,2%	4,4%	4,5%	4,7%	4,9%	5,0%
	10 ³ tCO ₂ e			118	125	132	139	147	154	161	168	175	183
Evitadas (reciclagem)	%			6,6%	6,6%	6,6%	6,8%	6,8%	6,8%	6,7%	6,7%	6,7%	6,7%

	10 ³ tCO ₂ e			55	59	62	66	69	72	74	77	79	81
Aterro com queima	10 ³ tCO ₂ e												
Aterro com energia	10 ³ tCO ₂ e	273,00	-	1.533	1.424	1.329	1.245	1.079	952	852	769	698	635
Térmica waste-to-energy	10 ³ tCO ₂ e	263,00	-	748	747	745	1.174	1.171	1.168	1.165	1.162	1.159	1.155
Biodigestão anaeróbia	10 ³ tCO ₂ e	56,00		11	11	11	12	12	12	12	12	12	12
Compostagem aeróbia	10 ³ tCO ₂ e	23,30	-	27	29	30	31	33	34	35	37	38	39
Reciclagem	10 ³ tCO ₂ e	226,20	-										

Tabela D.6 – Variação dos fatores de correção de metano para a Cidade do Rio de Janeiro

Período	MCF	Premissas
1975 a 1995	0,4	Em 1975, em função da falta de informações detalhadas, adotou-se o valor padrão do IPCC (2006), ou seja, 54% era encaminhado para lixões.
	0,6	O restante (46%) foi considerado depositado em locais não categorizados. De 1976 até 1995 foi feita uma extrapolação linear, baseada em dados de 1996, do inventário municipal de 1998 (ROVERE <i>et al</i> , 2003) e de 2005, reduzindo a participação do lixo não categorizado.
1996 a 2001	0,8	Mantendo coerência com o inventário de 1998 (ROVERE <i>et al</i> , 2003), a partir de 1996, o aterro de Gramacho foi considerado em condições controladas.
2002 a 2011	0,8	Da mesma forma, a partir de 2002, Gericinó foi considerado aterro controlado. Em 2005, segundo a Comlurb (2011), a participação de não categorizado na Cidade do Rio de Janeiro era praticamente nula.
2012 em diante	1,0	Encerramento do aterro de Gramacho com início das operações no CTR de Seropédica.