

2010

Estudo de Baixo Carbono para o Brasil

Relatório de Síntese Técnica

RESÍDUOS



Coordenação:

João Wagner Silva Alves, CETESB
Christophe de Gouvello, The World Bank

Equipe técnica

João Wagner Silva Alves,
Bruna Patrícia de Oliveira,
George Henrique C. Magalhães Cunha,
Tathyana Leite Cunha Alves,
Francisco do Espírito Santo Filho, CETESB.

Marcos Eduardo Gomes Cunha,
Eduardo Toshio, Ciclo Ambiental Engenharia Ltda.



2010

Estudo de Baixo Carbono para o Brasil

Relatório de Síntese Técnica

RESÍDUOS



Coordenação:

João Wagner Silva Alves, CETESB
Christophe de Gouvello, The World Bank

Equipe técnica

João Wagner Silva Alves,
Bruna Patrícia de Oliveira,
George Henrique C. Magalhães Cunha,
Tathiana Leite Cunha Alves,
Francisco do Espírito Santo Filho, CETESB.
Marcos Eduardo Gomes Cunha,
Eduardo Toshio, Ciclo Ambiental Engenharia Ltda.

© 2010 O Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento / Banco Mundial

1818 H Street, NW
Washington, DC 20433
Telefone: 202-473-1000
Internet: www.worldbank.org
Email: feedback@worldbank.org

Todos os direitos reservados

Este volume é um produto da equipe do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento / Banco Mundial. Os resultados, interpretações e conclusões expressas neste volume não refletem necessariamente a opinião dos Diretores Executivos do Banco Mundial ou dos países por eles representados.

O Banco Mundial não garante a precisão das informações incluídas neste trabalho e não aceita qualquer responsabilidade por qualquer consequência da sua utilização. As fronteiras, cores, denominações e outras informações apresentadas em qualquer mapa deste trabalho não implicam qualquer opinião por parte do Banco Mundial sobre o status legal de qualquer território ou o endosso ou aceitação de tais fronteiras.

Direitos e Permissões

O material desta publicação é protegido por direitos autorais. A reprodução total ou parcial do texto deste documento sem permissão pode constituir violação da lei aplicável. O Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento / Banco Mundial incentiva a divulgação do seu trabalho e concede a permissão para reproduzir partes do mesmo, desde que citada a fonte.

Para permissões para fazer fotocópias ou reimprimir qualquer parte deste trabalho, favor enviar uma solicitação com informações completas para: Copyright Clearance Center Inc., 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, E.U.A. telefone: 978-750-8400, fax: 978-750-4470; Internet: www.copyright.com.

Todas as outras consultas sobre direitos e licenças, incluindo direitos subsidiários, devem ser dirigidos ao Gabinete do editor, o Banco Mundial, 1818 H Street, NW, Washington, DC, 20433, E.U.A., fax: 202-522-2422 e-mail: pubrights@worldbank.org.

O Programa de Assistência à Gestão do Setor de Energia (ESMAP) é um programa de conhecimento global e assistência técnica administrado pelo Banco Mundial, que fornece auxílio aos países de baixa e média renda com o objetivo de aumentar o saber-fazer e capacidade institucional dos mesmos para alcançar soluções ambientalmente sustentáveis no setor de energia que conduzem à redução da pobreza e ao crescimento econômico.

Para obter maiores informações sobre o Programa de Estudos de Baixo Carbono para Países ou sobre o trabalho do ESMAP no âmbito das mudanças climáticas, visite-nos na www.esmap.org ou escreva para:



Energy Sector Management Assistance Program
The World Bank
1818 H Street, NW
Washington, DC 20433 USA
email: esmap@worldbank.org
web: www.esmap.org

	Acrônimos	11
	Reconhecimento	12
1.	Sumário executivo	13
2.	Introdução	17
3.	Tratamento de resíduos sólidos urbanos	19
3.1.	Modos de tratamento	19
3.1.1.	Aterro sanitário	20
3.1.2.	Incineração	22
3.2.	Cenário de Referência – Resíduos sólidos	24
3.2.1.	Resíduos sólidos urbanos	24
3.2.2.	Métodos de cálculo	33
3.2.3.	Estimativa de emissões de GEE pelo tratamento de resíduos	33
3.2.4.	Compostagem	34
3.2.5.	Estimativa das emissões de GEE pela disposição em aterros	35
3.2.6.	Estimativa das emissões de GEE por incineração	37
3.2.7.	Resultados	38
3.2.8.	Outras tecnologias e eventos	38
3.2.9.	Incertezas (RSU)	42
3.3.	Outras opções de mitigação	42
3.3.1.	Redução da geração na fonte	43
3.3.2.	Compostagem	43
3.3.3.	Coleta e queima do biogás	43
3.3.4.	Outros benefícios	44
3.4.	Cenário de Baixo Carbono – Resíduos sólidos	46
3.4.1.	Cenário de Baixo Carbono do setor de resíduos sólidos urbanos	47
3.4.2.	Consolidação	47
3.4.3.	Resultados	53
4.	Tratamento de esgotos e efluentes	55
4.1.	Modos de tratamento	55
4.1.1.	Lagoa anaeróbia	56
4.1.2.	Digestor anaeróbio	56
4.1.3.	Reator anaeróbio	56
4.2.	Cenário de Referência – Tratamento de esgotos e efluentes	57
4.2.1.	Esgotos domésticos	58
4.2.2.	Efluentes industriais	58
4.2.3.	Métodos de cálculo	59

4.2.4.	Estimativa de emissões de GEE pelo tratamento esgotos e efluentes	60
4.2.5.	Resultados	61
4.2.6.	Incertezas (esgotos e efluentes)	62
4.3.	Opções de mitigação	63
4.3.1.	Outros benefícios	64
4.4.	Cenário de Baixo Carbono – Tratamento de esgotos e efluentes	65
4.4.1.	Cenário de Baixo Carbono de esgotos domésticos	67
4.4.2.	Cenário de Baixo Carbono de efluentes industriais	68
4.4.3.	Consolidação	71
5.	Consolidação do Cenário de Baixo Carbono	72
5.1.	Síntese do Cenário de Baixo Carbono	72
5.1.1.	Resultados por Estados	73
5.2.	Análise econômica	74
5.3.	Custos e benefícios	76
5.3.1.	Resíduos sólidos	77
5.3.2.	Incineração	79
5.3.3.	Esgotos domésticos e efluentes industriais	80
5.4.	Custo Marginal de Abatimento e Break Even Carbon Price (preço de incentivo)	83
5.4.1.	Custo Marginal de Abatimento	84
5.4.2.	Break Even Carbon Price (preço do incentivo)	85
5.5.	Necessidades de financiamento	87
6.	Conclusão	89
7.	Anexos	90
7.1.	Regiões metropolitanas	90
7.1.1.	Região Metropolitana de Salvador.	90
7.1.2.	Região Metropolitana de Fortaleza.	90
7.1.3.	Região Metropolitana de Recife.	91
7.1.4.	Região Metropolitana de Belo Horizonte.	91
7.1.5.	Região Metropolitana de Rio de Janeiro.	92
7.1.6.	Região Metropolitana de São Paulo.	92
7.1.7.	Região Metropolitana de Curitiba.	93
7.1.8.	Região Metropolitana de Porto Alegre.	93
7.2.	Projetos de CDM do setor de resíduos e efluentes no Brasil	94
7.3.	Programas, planos e ações governamentais no setor de resíduos	103
7.4.	Marco regulatório nacional do setor de resíduos	107
8.	Referências bibliográficas.	109

Lista de equações

Equação 1 – Variação do L_0 de 1970 a 2005	30
Equação 2 – Emissão de CH_4 pelo método de decaimento de primeira ordem – Tier 2	35
Equação 3 – Fator de normalização para a soma	35
Equação 4 – Quantidade de resíduo aterrado	35
Equação 5 – Potencial de geração de CH_4	36
Equação 6 – Carbono orgânico degradável	36
Equação 7 – Fração do DOC que decompõe	36
Equação 8 – Estimativa de emissão de CO_2 por incineração de resíduos sólidos	37
Equação 9 – Estimativa de emissão de N_2O por incineração de resíduos sólidos	37
Equação 10 – Estimativa de emissão de CH_4 por tratamento anaeróbico de esgotos e efluentes	60
Equação 11 – Estimativa do esgoto e efluente orgânico total	60
Equação 12 – Estimativa do esgoto e efluente orgânico total	60
Equação 13 – Estimativa do Fator de emissão para esgotos e efluentes	60
Equação 14 – Média ponderada dos MCF	60

Lista de tabelas

Tabela 1 – Emissões do Cenário de Referência devidas ao tratamento de efluentes	25
Tabela 2 – Variação do L_0 de 1970 a 2005 nas macrorregiões do Brasil e estimativa de L_0 médio do país	31
Tabela 3 – Dados <i>default</i> do IPCC (2000) de MCF	32
Tabela 4 – Cenário <i>versus</i> tecnologia ou evento	39
Tabela 5 – Incertezas das estimativas do setor de RSU	42
Tabela 6 – Emissões evitadas no Cenário de Baixo Carbono de RSU	52
Tabela 7 – Barreiras e ações de mitigação para aterros sanitários	53
Tabela 8 – Barreiras e ações de mitigação para incineração	54
Tabela 9 – Emissões do Cenário de Referência devidas ao tratamento de estogo doméstico e efluentes industriais	61
Tabela 10 – Incertezas das estimativas do setor de efluentes domésticos	62
Tabela 11 – Incertezas das estimativas do setor de efluentes industriais	62
Tabela 12 – Barreiras e ações de mitigação para tratamento de efluentes	71
Tabela 13 – Cenário de Baixo Carbono: emissões totais pelo tratamento de resíduos, esgotos e efluentes	72
Tabela 14 – Cenário de Baixo Carbono - Emissões por Estado pelo tratamento de resíduos	73
Tabela 15 – Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) - Saneamento (2007)	75
Tabela 16 – Custos de investimento em sistemas de mitigação de emissões de CH_4 em aterros sanitários no Brasil (2005)	78
Tabela 17 – Custos de implantação de aterro sanitário por habitante reajustados para 2030	79
Tabela 18 – Custos de investimento em sistemas de incineração de RSU (2008)	80
Tabela 19 – Custos de implantação de incineração por habitante (R\$) no Brasil, reajustados para 2030	80

Tabela 20 - Custo de implantação de tratamento de esgotos-----	81
Tabela 21 - Custos de investimento de mitigação de emissões de CH ₄ em ETE em 2008 -----	82
Tabela 22 - Custos de implantação de tratamento de esgotos reajustados para 2030 -----	82
Tabela 23 - Custo presente de abatimento dos Cenário de Baixo Carbono de 2030 -----	84
Tabela 24 - Custos marginais de abatimento, preço de incentivo e intensidade de capital para o Cenário de Baixo Carbono de 2030 -----	86
Tabela 25 - Projetos de CDM em aterros sanitários -----	95
Tabela 26 - Projetos de CDM de compostagem -----	97
Tabela 27 - Projetos de CDM de efluentes líquidos -----	97
Tabela 28 - Projetos de CDM de resíduos rurais -----	98
Tabela 29 - Resumo dos programas, planos e ações governamentais no setor de resíduos -----	103
Tabela 30 - Resumo dos requisitos legais aplicáveis no setor de resíduos no âmbito federal -----	107

Lista de figuras

Figura 1 - Estratégia geral de elaboração do cenário 2030 das emissões de GEE do setor de resíduos, esgotos e efluentes -----	14
Figura 2 - Evolução da população total segundo o PNE 2030 -----	14
Figura 3 - Cenário de Baixo Carbono: emissões totais pelo tratamento de resíduos, esgotos e efluentes -	15
Figura 4 - Fontes de emissão de gases de efeito estufa pelo tratamento e disposição de resíduos sólidos	19
Figura 5 - Componentes centrais de um sistema de coleta de biogás-----	21
Figura 6 - Exemplo de incinerador de leito fluidizado -----	23
Figura 7 - Cenário 1-A ou Cenário de Referência do setor de resíduos sólidos urbanos-----	25
Figura 8 - Intensidade pluviométrica no Brasil.-----	26
Figura 9 - Evolução da população total do Brasil de 1950 a 2050 -----	27
Figura 10 - Evolução da população total segundo o PNE 2030 -----	28
Figura 11: Produção de lixo por município (quantidade de lixo em 2010, 100 toneladas) -----	28
Figura 12 - Geração de resíduos -----	29
Figura 13 - Potencial de geração de CH ₄ - Lo -----	30
Figura 14 - Fração de Carbono fóssil do resíduo -----	31
Figura 15 - Qualidade da operação dos aterros do Brasil no período de 1970 a 2030 -----	32
Figura 16 - Estratégia geral de elaboração do cenário 2030 das emissões de GEE pelo tratamento de resíduos. -----	33
Figura 17 - Cenário 3-A: Queima do CH ₄ com eficiência de coleta de 75% no aterro -----	38
Figura 18 - Cenário 2-A: Aumento de 20% na massa de resíduo que chega o aterro -----	39
Figura 19 - Cenário 4-A: Incineração de 100% do resíduo nas RM com população superior a 3 milhões de habitantes -----	40
Figura 20 - Cenário 5-A: Redução de 20% da quantidade de resíduos destinados a aterros -----	41
Figura 21 - Cenário 6-A: Incineração de 100% dos resíduos nas RM com população superior a 3.000.000 de habitantes, queima de CH ₄ nos aterros com população entre 100.000 e 3.000.000 -----	41
Figura 22 - Exemplo de um poço de drenagem para sistema passivo-----	43

Figura 23 - Exemplo de um poço de drenagem para sistema de exaustão forçada -----	44
Figura 24 - Exemplo de um sistema de exaustão forçada com seus dispositivos -----	44
Figura 25 - Cenário 3-A: Queima do CH ₄ com eficiência de coleta de 75% no aterro -----	47
Figura 26 - Distribuição dos serviços e tratamento do RSU no Cenário de Referência -----	48
Figura 27 - Distribuição dos serviços e tratamento do RSU no Cenário de Baixo Carbono -----	49
Figura 28 - Distribuição do percentual dos serviços e tratamento do RSU no Cenário de Referência -----	49
Figura 29 - Distribuição do percentual dos serviços e tratamento do RSU no Cenário de Baixo Carbono -----	50
Figura 30 - Cenário de Baixo Carbono de 2010 até 2030 -----	50
Figura 31: Resíduos: Emissões (Mt CO ₂ e) por município – Cenário de referencia 2030 -----	51
Figura 32: Resíduos: Emissões (Mt CO ₂ e) por município – Cenário de baixo carbon 2030 -----	52
Figura 33 - Fontes de emissão de GEE pelo tratamento de efluentes -----	55
Figura 34 - Fontes de esgotos e efluentes, sistemas de tratamento e emissões potenciais de CH ₄ -----	56
Figura 35 - Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo (Rafa). -----	57
Figura 36 - Cenário de 1-B ou Cenário de Referência de esgotos domésticos -----	58
Figura 37 - Cenário de 1-C ou Cenário de Referência de efluentes industriais -----	59
Figura 38 - Estratégia geral de elaboração do Cenário 2030 das emissões de GEE pelo tratamento de efluentes. -----	59
Figura 39 – Cenário de Referência das emissões pelo tratado de esgotos domésticos e efluentes industriais -----	61
Figura 40 - Lagoas anaeróbia com coleta do biogás -----	63
Figura 41 - Cenário 2-B: intermediário onde o Cenário de Referência é mantido e sistemas de coleta e queima de biogás são instalados progressivamente em 50% das instalações de tratamento de esgotos. Essas instalações iniciam em 0% em 2010 atingindo 50% em 2030. A eficiência de queima dos queimadores é de 90%. -----	66
Figura 42 - Cenário 3-B: Coleta e queima do biogás gerado em parte dos sistemas de tratamento de esgotos domésticos de 2010 a 2030 -----	66
Figura 43 - Cenário 2-C: intermediário onde o Cenário de Referência é mantido e sistemas de coleta e queima de biogás são instalados progressivamente em 50% das instalações de tratamento de esgotos. Essas instalações iniciam em 20% em 2010 atingindo 100% em 2030. A eficiência de queima dos queimadores é de 90%. -----	67
Figura 44 - Cenário 3-B: Coleta e queima do biogás gerado em parte dos sistemas de tratamento de efluentes industriais de 2010 a 2030 -----	68
Figura 45 - - Distribuição dos sistemas de tratamento de esgotos domésticos no Cenário de Baixo Carbono -----	69
Figura 46 - Distribuição percentual dos sistemas de tratamento de esgotos domésticos no Cenário de Baixo Carbono -----	69
Figura 47 - Distribuição percentual dos sistemas de tratamento de efluentes industriais no Cenário de Baixo Carbono -----	70
Figura 48 - Cenário de Baixo Carbono pelo tratamento de esgotos e efluentes -----	70
Figura 49 - Cenário de Baixo Carbono: emissões totais pelo tratamento de resíduos, esgotos e efluentes -----	72

Figura 50 - Emissões totais (Mt CO2e) de resíduos e efluentes
domesticos e industrias Cenário Referencia e de Baixo Carbono, 2010-2030-----74

Figura 51 - Custo de implantação de aterro sanitário (R\$/habitante) no Estado de Minas Gerais -----77

Figura 52 – Custos marginais de abatimento. -----85

Figura 53 - Preços de incentivo e de incentivo incremental de abatimento de CO₂e.-----86

Figura 54 – Intensidade de investimento.-----87

Acrônimos

Abrelpe - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
Cetesb - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CDM - Clean Development Mechanism (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo)
CIMGC - Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO - Demanda Química de Oxigênio
EFDB - Emission Factor Database do IPCC (Base de Dados de Fatores de Emissão)
EPA - Environment Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América)
ETE - Estação de Tratamento de Esgoto
FOD - First Order Decay (Decaimento de Primeira Ordem)
GEE - Gases de Efeito Estufa
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Inmet - Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima)
MCidades - Ministério das Cidades
MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia
MMA - Ministério do Meio Ambiente
PAC - Programa de Aceleração do Crescimento
PDD - Project Design Document (Documento Conceitual de Projeto)
Plansab - Programa Nacional de Saneamento Básico
PNE - Plano Nacional de Energia
PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PMSS - Programa de Modernização do Setor de Saneamento
PNMC - Plano Nacional de Mudança do Clima
Pnud - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPA - Plano Plurianual
Prosab - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
RSU - Resíduos sólidos urbanos
SMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente de São Paulo
SNIS - Sistema Nacional de Informações de Saneamento
SSE - Secretaria Estadual de Saneamento e Energia
tCO₂e - tonelada de CO₂ equivalente 1
UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)

1 Os gases de efeito estufa podem ser expressos em termos de tCO₂e. Por exemplo: de acordo com o IPCC (2000), no horizonte de tempo de 100 anos, o metano tem um poder de aquecimento global igual a 21 vezes o do dióxido de carbono. O óxido nitroso tem um poder de aquecimento global igual a 310 vezes o do dióxido de carbono. Assim, podem ser expressas diferentes quantidades desses gases e de outros em tCO₂e da seguinte maneira: 1tCH₄ = 21tCO₂e, 1tN₂O = 310tCO₂e, 1tCH₄ + 1tN₂O = 334tCO₂e e assim por diante.

O presente relatório sintetiza os resultados para o setor de resíduos de um estudo mais amplo, o Estudo de Baixo Carbono para o Brasil, desenvolvido pelo Banco Mundial, como parte de sua iniciativa para dar suporte ao esforço integrado do Brasil pela redução das emissões nacionais e globais de gases do efeito estufa, promovendo ao mesmo tempo o desenvolvimento de longo prazo. O estudo fundamenta-se no melhor conhecimento disponível, e para isso a equipe responsável desenvolveu um amplo processo de consultas e pesquisou a farta literatura existente para identificar a necessidade de esforços graduais e centros de excelência. Foi preparado após consultas e discussões sobre a abrangência do trabalho, realizadas com os Ministérios das Relações Exteriores, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Foram ainda organizados vários seminários, que possibilitaram consultas com representantes dos Ministérios da Fazenda, do Planejamento, da Agricultura, dos Transportes das Minas e Energia, do Desenvolvimento, Indústria e Comércio. Participaram ainda, ou foram consultados várias agências públicas e centros de pesquisa, incluindo a EMBRAPA, o INT, a EPE, a CETESB, o INPE, a COPPE, a UFMG, a UNICAMP e a USP.

O estudo cobre quatro áreas cruciais, com grande potencial para opções de baixo carbono: (i) uso da terra, mudança no uso da terra e florestas (LULUCF), incluindo o desmatamento; (ii) sistemas de transporte; (iii) produção e uso de energia, em especial eletricidade, petróleo, gás e biocombustíveis e (iv) resíduos urbanos, sólidos e líquidos. O presente documento recebeu suporte de mais de 15 relatórios técnicos e quatro relatórios-síntese para as quatro áreas principais. Recebeu apoio do Banco Mundial, através de recursos oferecidos pela Rede de Desenvolvimento Sustentável (Sustainable Development Network) para as atividades relacionadas a mudanças climáticas regionais e através de suporte do Programa de Apoio à Gestão do Setor Energético do Banco Mundial (sigla ESMAp, em inglês).

Este relatório síntese do Tratamento de Resíduos foi elaborado por uma equipe coordenada por João Wagner Silva Alves, CETESB e Christophe de Gouvello, Banco Mundial, e composta por João Wagner Silva Alves, Bruna Patrícia de Oliveira, George Henrique C. Magalhães Cunha, Tathyana Leite Cunha Alves, Francisco do Espírito Santo Filho, Josilene Ticianelli Vanuzzini Ferrer, Fátima Aparecida Carrara, Rosimeire S. Magalhães Molina, CETESB, Marcos Eduardo Gomes Cunha e Eduardo Toshio, Ciclo Ambiental Engenharia Ltda.

A equipe de supervisão do Banco Mundial para todo o Estudo de Baixo Carbono incluiu Christophe de Gouvello, Jennifer Mehuy Chang, Govinda Timilsina, Paul Procee, Mark Lundell, Garo Batmanian, Adriana Moreira, Fowzia Hassan, Augusto Jucá, Bárbara Farinelli, Rogério Pinto, Francisco Sucre, Benoit Bosquet, Alexandre Kossoy, Flavio Chaves, Mauro Lopes de Azeredo, Fernanda Pacheco, Sebastien Pascual e Megan Hansen.

1. Sumário executivo

Este relatório é dividido em sete partes. Na primeira parte é explicado o contexto que levou à elaboração desse Cenário de Baixo Carbono para o setor de resíduos entre os anos de 2010 e 2030 no Brasil. A cooperação entre o Banco Mundial e a Cetesb permitiu que parte dos esforços destinados para a elaboração do Relatório de Referência das emissões nacionais de GEE do setor de resíduos entre os anos de 1990 e 2005² fosse empregada para apoiar a elaboração desse Cenário. Na página de Internet da Cetesb (www.cetesb.sp.gov.br/biogas) encontram-se à disposição da sociedade a maior parte dos dados levantados e que podem ser publicados. Durante a preparação do Relatório de Referência pela Cetesb, foi formada uma Rede de Inventário de caráter permanente que contribui com dados e participa do fórum eletrônico de debates coordenado pela equipe técnica da Cetesb.

Na segunda parte, são discutidos os Cenários de Referência e o de Baixo Carbono estimados entre os anos de 2010 e 2030 do setor de resíduos sólidos, as possíveis mitigações de GEE e tecnologias implementadas nos diferentes cenários. A manutenção das condições definidas no Cenário de Referência de resíduos sólidos somada à captura e queima do CH₄ do aterro definem o Cenário de Baixo Carbono do setor de resíduos sólidos. Outras tecnologias como a incineração ou a redução das quantidades destinadas aos aterros também são consideradas e suas emissões estimadas. Além do Cenário de Baixo Carbono, essas outras tecnologias visando a redução das emissões de GEE são consideradas separadamente, de forma a permitir ao leitor avaliar o impacto na geração de GEE de cada tecnologia em separado.

Na terceira parte, são discutidos os Cenários de Referência e o de Baixo Carbono entre os anos de 2010 e 2030 dos setores de esgotos domésticos e efluentes industriais. A manutenção das atuais condições definidas no Cenário de Referência do setor de esgotos e efluentes somada à implantação de sistemas de tratamento anaeróbio dotados de dispositivos de captura e queima do CH₄ definem o Cenário de Baixo Carbono do setor de esgotos e efluentes. Essa digestão anaeróbia pode ser praticada pela implantação de lagoas anaeróbias, reatores de fluxo ascendente, de manto de lodo ou outros processos assemelhados e caracterizados pela ausência de oxigênio no processo. As demais tecnologias visando a redução das emissões de GEE são consideradas separadamente. Tanto na segunda parte quanto na terceira, são listados para resíduos sólidos, para os esgotos domésticos e para os efluentes industriais os cobenefícios associados às práticas de saneamento de baixo carbono.

Na quarta parte do documento discutem-se o Cenário de Baixo Carbono projetado, as suas hipóteses e os principais resultados. Uma análise econômica define custos, preço de incentivo e demais aspectos financeiros tanto para a implantação do Cenário de Baixo Carbono do setor de resíduos sólidos quanto para implantação do Cenário de Baixo Carbono dos setores de esgotos e efluentes.

Na quinta parte, estão as principais conclusões do estudo, na sexta parte, as Referências bibliográficas e, na sétima, os anexos.

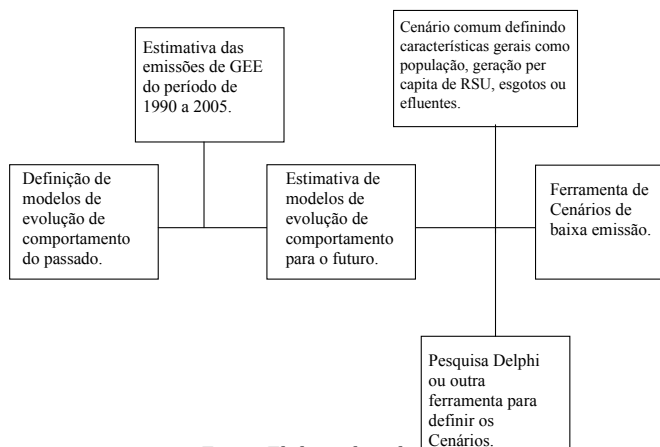
O método empregado para a elaboração desse Cenário de Baixo Carbono, tanto no setor de resíduos sólidos, quanto nos setores de esgotos e efluentes, é representado pela Figura 1, abaixo, a partir da definição de modelos matemáticos, na maioria lineares, a respeito do comportamento de dados no passado, como a quantidade de resíduos gerados por habitante, a quantidade de esgotos gerados por habitante, a quantidade de efluentes industriais, a composição dos resíduos, a composição dos esgotos e dos efluentes, a qualidade da operação dos aterros, a tecnologia de tratamento empregada, os níveis de recuperação de CH₄ e outras

2 O Relatório de Referência das emissões nacionais de gases de efeito estufa emitidos pelo tratamento de resíduos e efluentes dos anos de 1990 a 2005 foi preparado pela Cetesb em cooperação com o Ministério da Ciência e Tecnologia e Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Esse documento compõe a Comunicação Nacional das emissões de GEE.

informações que contribuem para a estimativa das emissões de GEE.

Assim, foram definidos os dados que alimentaram o método do IPCC (2000) empregado para a elaboração das estimativas de emissões desses Cenários de Baixo Carbono. Nesse método também foram obtidos fatores de emissão *default*, quando estes não foram encontrados na literatura nacional. A partir disso, foram elaboradas estimativas de comportamento daqueles mesmos dados do passado, projetando a estimativa das suas variações para o período entre os anos de 2010 e 2030. Com esses dados e premissas foram definidos os Cenários de Referência e os Cenários de Baixo Carbono do setor de resíduos.

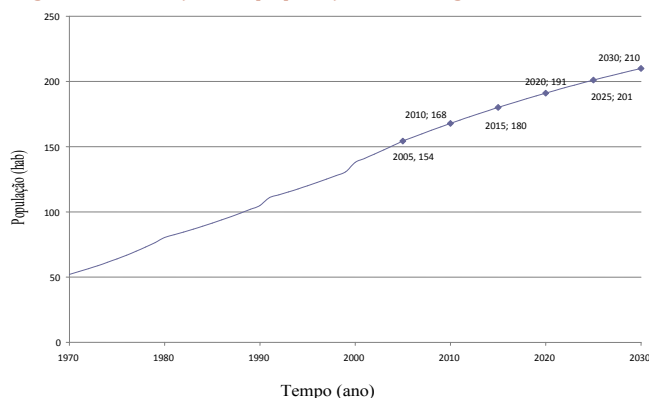
Figura 1 - Estratégia geral de elaboração do cenário 2030 das emissões de GEE do setor de resíduos, esgotos e efluentes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados de atividade empregados na elaboração desse Cenário foram obtidos da literatura nacional. A primeira premissa a ser considerada foi o crescimento populacional. Observa-se na Figura 2, que o Ministério das Minas e Energia estima para o ano de 2010 uma população de 168 milhões de habitantes em região urbana do país. No ano de 2030, são esperados 210 milhões de habitantes em regiões urbanas. A partir desses dados, foram estimadas, ano a ano, as populações de cada um dos mais de 5.500 municípios do país e as suas demais características, sempre que foram encontrados dados a esse respeito na literatura nacional.

Figura 2 - Evolução da população total segundo o PNE 2030



Fonte: IBGE, 1970, 1980, 1991 e 2000 e PNE, 2007

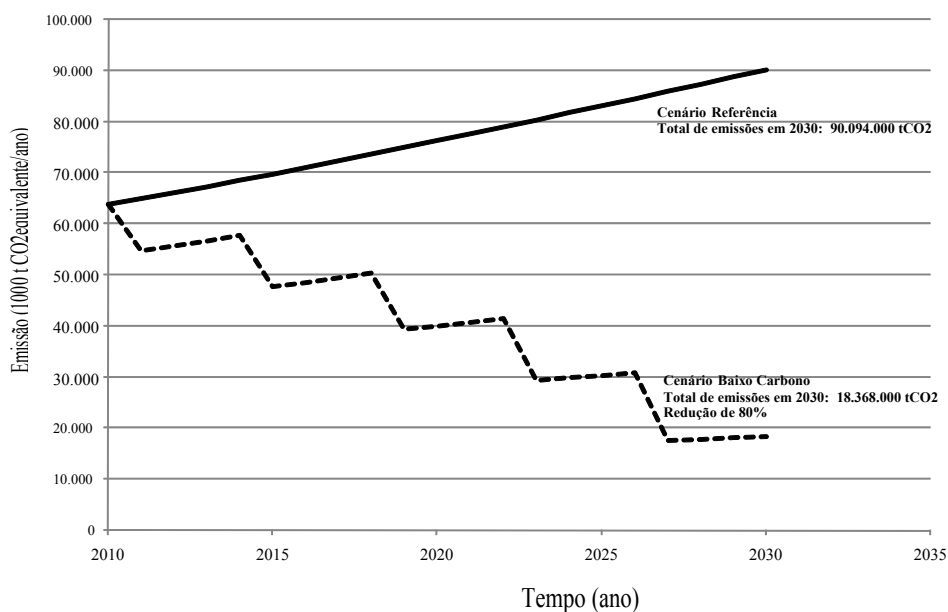
Considerando o roteiro sugerido na Figura 1, acima, foram definidos os modelos de representação da evolução das variáveis envolvidas e que influenciam na estimativa das

emissões no passado, as atuais políticas de saneamento e a expectativa de evolução de diferentes aspectos como o crescimento populacional, a urbanização, as taxas de geração de resíduo *per capita* e sua composição nas duas próximas décadas. Estes Cenários foram estimados.

Foram feitas as estimativas de emissões de GEE correspondentes à realidade da gestão de resíduos no país nos últimos vinte anos. Considerando o roteiro da Figura 1 e os dados representados em parte pela Figura 2, foram feitas as projeções que correspondem ao Cenário de Referência do setor de resíduos, de esgotos e de efluentes. Foram estimadas as possíveis emissões de GEE de diferentes tecnologias e, finalmente e após terem sido identificadas as de Baixo Carbono, foram estimadas as emissões e considerados os custos e necessidades de investimento para a implantação das alternativas de abatimento das emissões de GEE. Esses valores foram atualizados a uma taxa de desconto de 8 e 12% ao ano.

Os resultados indicam, como se observa na Figura 3, que as emissões totais de GEE do setor de resíduos podem chegar, de acordo com o Cenário de Referência, a aproximadamente 90.10MtCO₂e/ano, aumentando em mais de 40% o nível das emissões observadas em 2010. Com a adoção bem-sucedida do Cenário de Baixo Carbono proposto, 75%³ das emissões dos aterros poderiam ser abatidas com a simples implantação dos sistemas de coleta e queima e outros 5% de emissões poderiam ser evitados pela implantação de sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos com coleta e destruição de CH₄. Reduzindo assim, dos 90.10MtCO₂e/ano do setor para menos de 20.10MtCO₂e/ano

Figura 3 - Cenário de Baixo Carbono: emissões totais pelo tratamento de resíduos, esgotos e efluentes



Fonte: Elaborado pelo autor.

As conclusões desse Cenário que inclui reduções devidas ao tratamento de resíduos de esgotos e efluentes apontam para o baixo custo de implantação do Cenário de Baixo Carbono do setor de resíduos sólidos. Grande parte das emissões do setor se origina do gerenciamento de resíduos e 78% dessas emissões podem ser evitadas. Ao todo são 962,69tCO₂e que podem ser evitadas ao custo de US\$1,3/tCO₂e. As emissões que podem ser evitadas devido ao tratamento de esgotos domésticos e efluentes industriais somam 22% do total, o que corresponde a 30,40 e

3 De acordo com os projetos de MDL de aterros (MCT, 2009), a eficiência de captura do biogás é da ordem de 75%.

238,35tCO₂e.

Ao contrário do baixo custo observado para a implantação dos sistemas de coleta e queima do CH₄ nos aterros. O custo de implantação dos sistemas de tratamento anaeróbio com coleta e queima do CH₄ é da ordem de US\$930,38/tCO₂e para os sistemas de tratamento de esgotos domésticos e US\$103,30/tCO₂e para os sistemas de tratamento de efluentes industriais. Não estão incluídos nesses custos os cobenefícios associados à redução da poluição consequente do lançamento evitado de altas cargas orgânicas nos corpos d'água. Esses lançamentos que ocorrem hoje e que podem continuar acontecendo se for mantido o Cenário de Referência do setor devem-se à não coleta, que é da ordem de 50% dos esgotos ou não tratamento dos esgotos domésticos e efluentes industriais.

Dentre as alternativas consideradas na gestão de resíduos do país, considerou-se a possibilidade de uma taxa de aumento das quantidades de resíduos destinados aos aterros superior à taxa de aumento das quantidades de resíduos do Cenário de Referência. Esse aumento pode ser induzido pelo aumento no nível de renda da população, com o consequente aumento no nível de consumo e no nível de geração de resíduos; também pode ser consequência do aumento dos investimentos do governo em saneamento, como, por exemplo, a ampliação ou expansão dos serviços de coleta de resíduos. De acordo com a Abrelpe (2008), 15% dos resíduos não são coletados hoje. E a consequência desse aumento pode ser o aumento das emissões de GEE, como pode ser observado na Figura 18.

O Cenário de Baixo Carbono sugerido, que implica na manutenção das condições definidas no Cenário de Referência, acrescentando-se apenas a queima do CH₄, pode incluir algumas das características consideradas neste estudo e que podem, como no caso do aumento das quantidades de resíduos destinados a aterros, ter consequências ou cobenefícios ao saneamento e ao meio ambiente. É o resultado da projeção da variação de comportamentos específicos na gestão dos resíduos que influenciam nas emissões de GEE. Além disso, esses Cenários refletem a expectativa dos possíveis resultados da efetivação das atuais políticas públicas, programas e planos do governo na área de gestão de resíduos do Governo Federal. Além disso, são consideradas barreiras e mecanismos facilitadores que influenciarão na evolução do setor no período entre 2010 e 2030.

2. Introdução

Este documento foi elaborado para subsidiar a preparação de propostas de políticas públicas considerando a estimativa de emissão de gases de efeito estufa (GEE) e as necessidades de financiamento adicional necessário.

Ao mesmo tempo, a Cetesb apoiada por uma Rede de Inventário (veja mais detalhes em www.cetesb.sp.gov.br/biogas) do setor de resíduos desenvolveu ferramentas de elaboração de estimativas das emissões de GEE pelo tratamento de resíduos. Dados foram reunidos e continuam sendo discutidos pela Rede para permitir a melhor avaliação do comportamento das variáveis consideradas pelo método do IPCC (2000).

Os GEE emitidos pelo tratamento de resíduos são o CH₄, pela digestão anaeróbia da matéria orgânica contida tanto no resíduo sólido quanto nos esgotos domésticos e efluentes industriais, o CO₂, pela fração fóssil do resíduo sólido incinerado e o N₂O, também pela incineração de resíduo.

Considerando a evolução das variáveis envolvidas e que influenciam na estimativa das emissões no passado, as atuais políticas de saneamento e a expectativa de evolução de diferentes aspectos, como o crescimento populacional, a urbanização, as taxas de geração de resíduo per capita e sua composição nas duas próximas décadas, estes Cenário foram estimados.

O objetivo desses Cenários é avaliar as emissões de GEE das diferentes alternativas de tratamento de resíduos incluindo esse aspecto ambiental na tomada de decisão das tecnologias de tratamento de resíduos que devem ser aplicadas no Brasil.

Para o estudo do Cenário de Baixo Carbono para o ano de 2030 do tratamento de resíduos no Brasil, utilizaram-se as projeções da população urbana do PNE (2030). O PNE (2007) considera que a população urbana em 2005 foi de 154.343.300 habitantes e prevê uma população urbana em 2030 de 209.918.700 habitantes, com um crescimento de 36% no período de 25 anos. Esses refletem a expectativa dos possíveis resultados da efetivação das atuais políticas públicas, programas e planos do governo na área de gestão de resíduos do Governo Federal. Além disso, são consideradas barreiras e mecanismos facilitadores que influenciarão na evolução do setor no período entre 2010 e 2030.

3. Tratamento de resíduos sólidos urbanos

As opções técnicas de tratamento de resíduos, abordadas neste tópico, não pretendem esgotar a matéria no que se refere às inúmeras formas de tratamento de resíduos sólidos disponíveis na literatura. Serão descritas apenas as tecnologias de tratamento de RSU para as quais os métodos do IPCC, (2000 e 2006), apresentam dados e/ou orientações para o cálculo de emissões de GEE, onde se verifica a existência de defaults e, portanto, fatores de emissões pré-estabelecidos para cada tipo de tecnologia de tratamento de resíduos. Neste Cenário, as tecnologias de tratamento contempladas podem ser observadas resumidamente abaixo. A compostagem é considerada como uma opção de mitigação ou sequestro dos GEE, pois é comumente utilizada no Brasil.

3.1.Modos de tratamento

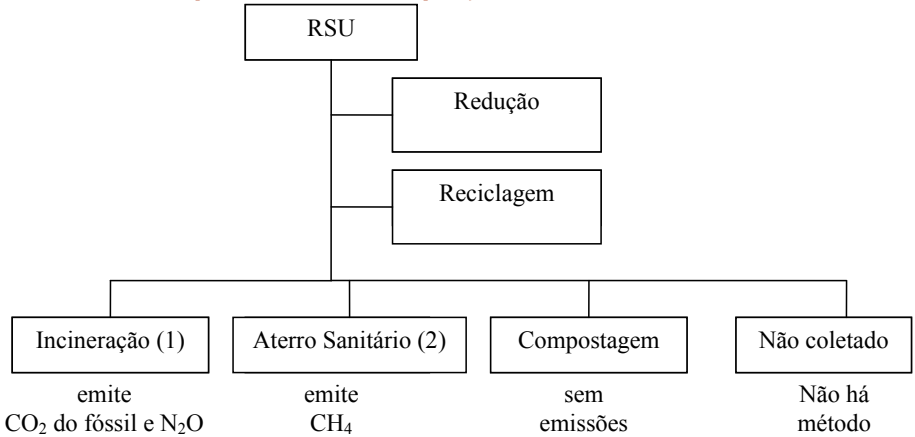
De acordo com o IPCC (2000) e como se observa na Figura 4, o aterramento e incineração dos resíduos sólidos emitem GEE. As demais alternativas como compostagem, reciclagem, aumento da taxa de coleta etc., implicam apenas em quantidades evitadas ou aumentadas de resíduos depositados nos aterros ou incinerados.

Para os RSU existe a possibilidade de tratamento por digestão anaeróbia em aterros sanitários ou o tratamento térmico a alta temperatura, sendo que neste último caso a incineração é o método mais difundido. Em relação à digestão anaeróbia em aterros sanitários, aborda-se não apenas a decomposição da matéria orgânica dos resíduos, mas também a possibilidade de aproveitamento do CH₄ gerado.

O método IPCC (2006) apresenta os seguintes tipos de incineração: contínua, semicontínua e batelada, sendo que cada uma destas três opções podem adotar as tecnologias em grelha ou leito fluidizado. Incinerador contínuo inclui incineradores sem necessidade de acionamentos e desligamentos diários. Por outro lado, incineradores semicontínuos ou batelada são aqueles que usualmente sofrem acionamentos ou desligamentos pelo menos uma vez por dia. Tais diferenças operacionais entre estes três tipos de incineradores são as razões para que cada um deles apresente dados distintos quanto a fatores de emissão de GEE.

Em resumo, a Figura 4, sintetiza as alternativas consideradas no modelo e que são a base para as estimativas das quantidades de GEE emitidas ou evitadas no Cenário 2030.

Figura 4 - Fontes de emissão de gases de efeito estufa pelo tratamento e disposição de resíduos sólidos



Fonte: Elaborado pelo autor

Observação:

1. As técnicas de incineração podem ser listadas conforme o equipamento empregado e listado a seguir:

- Incinerador contínuo com grelha ou leito fluidizado (emissões de CO_2 do fóssil e N_2O)
- Incinerador semicontínuo com grelha ou leito fluidizado (emissões de CO_2 do fóssil e N_2O) e
- Incinerador de batelada com grelha ou leito fluidizado (emissões de CO_2 do fóssil e N_2O).

2. Além da disposição em aterro sanitário ou tratamento em reator anaeróbico para posterior depósito em aterro com redução do DQO do RSU:

- Digestão anaeróbia (emissão de CH_4).

3.1.1. Aterro sanitário

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos (RSU):

“...consiste na técnica de disposição RSU no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se for necessário...”

(ABNT NBR 8419, 1984).

O tratamento de RSU em aterros sanitários se baseia na digestão anaeróbia (ausência de oxigênio livre) da matéria orgânica presente nos resíduos por meio de bactérias, até que seja atingida a sua estabilização.

O produto da digestão anaeróbia é o biogás, que é uma mistura de gases: o CH_4 , o gás carbônico (CO_2), o hidrogênio (H_2) e o ácido sulfúrico (H_2S). O CH_4 representa, em média, de 50 a 80% do volume total enquanto que o gás carbônico atinge faixas entre 50 a 20%. A composição do biogás purificado se assemelha à do gás natural combustível e dessa forma, o aproveitamento do biogás para fins energéticos se torna uma alternativa interessante (ALVES, 2000).

De acordo com o IPT/Cempre (2000), os aterros sanitários podem ser classificados em três tipos, que se baseiam na forma como são construídos:

- Método da trincheira ou vala: os resíduos são dispostos em valas abertas ao longo da área de disposição. Utilizados em terrenos que permitem a escavação do subsolo;
- Método da rampa: fundamenta-se na escavação da rampa, onde o lixo é disposto e compactado pelo trator e posteriormente coberto com solo. Empregado em áreas de boas condições de escavação e que possibilitem o reaproveitamento do solo como cobertura;
- Método da área: utilizados em regiões de topografia plana e lençol freático raso.

Ainda segundo IPT/Cempre (2000), a sequência operacional de um aterro sanitário se inicia com a chegada dos caminhões de resíduos na portaria do aterro sanitário. O caminhão é pesado, antes e depois da descarga, e segue para uma vistoria técnica para inspeção dos resíduos carregados, com o objetivo de direcionar o local de disposição, de acordo com o zoneamento do aterro sanitário.

Após o descarregamento dos resíduos, a compactação e regularização do resíduo deve ser feitas por meio de tratores de esteira ou tratores de rodas compactadoras. Ao fim do dia de

serviço, o volume de resíduos deve ser coberto com uma camada de solo apropriada, com altura média de 0,2m. A combinação da camada de resíduos e de solo recoberto é chamada de célula. A finalidade da cobertura é evitar proliferação de vetores de doenças, facilitar a movimentação de máquinas e veículos e tornar a superfície do aterro mais impermeável, dificultando a infiltração de águas pluviais na camada de resíduos (CEMPRE, 2000).

Para garantir condições ideais de operação, um aterro sanitário deve possuir sistemas de drenagem de: águas pluviais, líquidos percolados e biogás. O sistema de drenagem de águas pluviais tem por finalidade coletar as águas de chuva, impedindo que ocorra a infiltração até as camadas de resíduos depositadas. Em geral, este sistema é composto de canaletas de concreto associadas a escada de água e tubos de concreto.

O sistema de drenagem de líquidos percolados coleta e conduz o líquido percolado para tratamento, que pode ser realizado em uma estação de tratamento instalada no próprio aterro ou em unidades externas ao empreendimento. A finalidade deste sistema é impedir que o líquido percolado contamine o lençol freático ou outros corpos de água próximos. O sistema de drenagem de líquidos percolados constitui-se de drenos, que são compostos por linhas de canaletas escavadas diretamente no solo, ou sobre uma camada impermeável do aterro, preenchidas com material filtrante (CEMPRE, 2000).

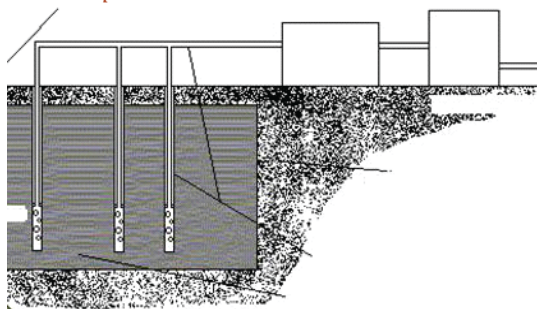
Segundo o Prosab (2003), o sistema de drenagem de biogás tem a função de coletar e tratar o biogás que é gerado pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica presente nos resíduos, com o objetivo de minimizar riscos potenciais que este gás inflamável pode ocasionar e também evitar a emissão de mau odor, causado principalmente pela presença de gás sulfídrico no biogás. A captação dos gases é feita por meio da instalação de drenos verticais que têm a sua base no fundo do aterro e a saída do biogás ocorre acima do topo da camada de cobertura. Os drenos, que se assemelham a uma chaminé, são constituídos por linhas de tubos perfurados, sobrepostos e envoltos por uma camisa de brita de espessura igual ao diâmetro do tubo utilizado (IPT/CEMPRE, 2000).

A utilização de drenos verticais é a prática mais comum e simples de captura do biogás, entretanto Henriques (2004) aborda que, alternativamente, o biogás pode ser coletado através de drenos horizontais que são instalados quando o lixo ainda está sendo depositado. A vantagem deste processo é que permite coletar o biogás desde o início de operação das camadas inferiores do aterro, sem ter que esperar que o mesmo seja totalmente coberto (CEMPRE, 2000).

No entanto, no Brasil ainda são apenas dois os aterros sanitários que aproveitam o CH₄ do biogás para a queima ou geração de energia, e a prática mais usual é a emissão direta do biogás para a atmosfera pela saída dos drenos coletores.

Um sistema padrão de coleta de biogás tem três componentes centrais: poços de coleta e tubos condutores, um compressor e um sistema de tratamento. Além disso, a maioria dos sistemas com recuperação energética possui um queimador para destruição do excesso de gás ou para uso durante os períodos de manutenção dos equipamentos (MUYLAERT et al, 2000; OLIVEIRA, 2000).

Figura 5 - Componentes centrais de um sistema de coleta de biogás



Fonte: Adaptado de Alves, 2000.

Os poços de coleta têm suas extremidades superiores conectadas a tubulações horizontais que transportam o biogás até um coletor principal. O biogás é succionado das células do aterro por bombas ou é conduzido pelo compressor até a planta de utilização por meio de pressão nos tubos de transmissão (WILLUMSEN, 2001). O compressor, neste caso, tem a função de capturar o biogás dos poços de coleta e também é utilizado, em geral, para comprimir o gás antes de entrar no sistema de recuperação energética.

O sistema de tratamento visa captar e descartar o condensado formado no sistema de coleta. Quando o biogás quente produzido pelo aterro sanitário passa pelo sistema de coleta, ele se resfria e forma um condensado, que se não for removido pode bloquear o sistema de coleta e diminuir a eficiência do processo de recuperação energética. O controle do condensado começa normalmente no campo do sistema de coleta, onde tubos inclinados e conectores são usados para permitir a drenagem em tanques ou armadilhas de coleta. Estes sistemas são normalmente completados por uma remoção de condensado pós-coleta. Os métodos para disposição do condensado são: descarga no sistema público de esgoto, sistema de tratamento local, ou recirculação para o aterro sanitário (MUYLAERT et al, 2000). Uma vez submetido ao processo de tratamento, o CH₄ está disponível para o consumo.

3.1.2. Incineração

Incineração é o método de tratamento que se baseia na utilização da decomposição térmica por oxidação, com o objetivo de tornar o resíduo menos volumoso, menos tóxico ou atóxico, ou em alguns casos, eliminá-lo (CETESB, 1993).

Segundo Lora (2002), a incineração, quando comparada ao tratamento de RSU por aterro sanitário, possui a vantagem de não apresentar problemas com geração e tratamento de lixiviados e de emissões gasosas permanentes que caracterizam os aterros sanitários. Por outro lado, a desvantagem deste tipo de tratamento é que acarreta maior investimento inicial e os custos de operação são significativamente maiores.

O tratamento de resíduos por incineração deve incluir sistemas de tratamento de gases poluentes, gerados a partir do processo de combustão de alguns elementos presentes nos resíduos sólidos. Na maioria dos casos, adota-se o uso de filtros de tecido ou filtros eletrostáticos (LORA 2002).

Incineradores de combustão em grelha.

Os incineradores de combustão em grelha podem incinerar RSU no estado bruto ou numa forma beneficiada, denominado combustível derivado de resíduos, resultado de um processo prévio de separação de materiais recicláveis do RSU, semelhante ao empregado na compostagem, gerando um material com dimensão menor e mais uniforme que o resíduo bruto, e mais adequado para a incineração (IPT/CEMPRE, 2000).

Uma usina com incineradores em grelha normalmente é composta de dois a três equipamentos de combustão operando em paralelo, cada um com capacidade variando de 50 a 100 t/dia. Estas instalações são construídas no próprio local e as mais recentes têm a câmara de combustão revestida com parede de água, visando a recuperação de energia, e sistemas de limpeza dos gases (IPT/CEMPRE, 2000).

O processo de incineração de RSU no estado bruto ocorre da seguinte maneira (IPT/CEMPRE, 2000): o RSU, depois de pesado, é descarregado em um fosso, onde o material é revolido por garras suspensas em pontes rolantes para homogeneização da carga. Este mesmo dispositivo carrega o silo de alimentação de onde o material é descarregado, por meio de êmbolos hidráulicos, para dentro da câmara de combustão do incinerador.

A grelha inclinada, do tipo basculante, desloca o resíduo através da câmara de combustão, provocando o seu revolvimento e a sua exposição às regiões de alta temperatura. Durante esse deslocamento, o material vai se aquecendo e passa por secagem, perda de compostos orgânicos voláteis, combustão do resíduo orgânico, e sai da câmara de combustão, ao fim da grelha, com uma

pequena quantidade de material orgânico ainda presente, na forma de carvão. Este tipo de grelha pode operar com materiais com dimensões variadas, o que o torna adequado à incineração de RSU em estado bruto.

Cerca de 60% do ar de combustão é introduzido por baixo da grelha e o restante entra por sobre a carga. O ar injetado, por baixo da grelha, normalmente pré-aquecido, tem a função de resfriá-la e auxiliar na secagem e combustão de RSU. O ar introduzido por sobre a grelha é injetado em alta velocidade para criar uma região de elevada turbulência e promover sua mistura com os gases e vapores combustíveis gerados durante a decomposição térmica. A temperatura na região sobre a grelha atinge cerca de 1200°C, decompondo a maioria dos compostos em CO₂ e água.

Os gases de combustão a alta temperatura, ao saírem dessa região, trocam calor com as paredes do incinerador e trocadores de calor, gerando vapor, que pode ser utilizado para gerar energia elétrica ou para fins de aquecimento. Os gases de combustão, então resfriados a cerca de 250°C, são enviados para os sistemas de tratamento de gases para remoção de gases ácidos, material particulado, dioxinas e furanos e metais pesados eventualmente presentes.

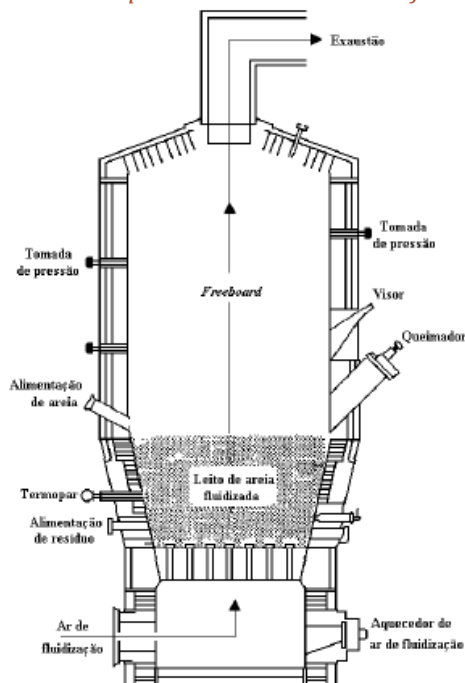
Ao fim da grelha, a fração orgânica do RSU deve estar quase totalmente consumida, restando uma fração predominantemente inorgânica, denominada cinza de fundo. Na prática, uma pequena fração orgânica ainda sai com as cinzas na forma de carvão. Estas cinzas são apagadas em um tanque de água e, depois de desagudadas, são enviadas para disposição final em aterros.

O vapor gerado pode ser utilizado para geração de vapor e/ou energia elétrica. O sistema de geração simultânea de vapor e energia elétrica é conhecido por cogeração.

Incineradores de leito fluidizado.

Um incinerador do tipo leito fluidizado é composto de uma câmara de combustão, uma placa distribuidora, um sistema para alimentação do resíduo e outro para o combustível auxiliar, como ilustrado na Figura 6 (OLIVEIRA, 2007).

Figura 6 - Exemplo de incinerador de leito fluidizado



Fonte: adaptado de Theodore e Reynolds, 1987.

Segundo IPT/Cempre (2000), nos incineradores de leito fluidizado, um material fino inerte, areia alumina ou carbonato de cálcio, é mantido em suspensão por uma corrente de ar injetado na base do leito, chamado de ar de fluidização. Este leito de areia em suspensão se comporta como um líquido e, no início de operação, ele é aquecido por queimadores auxiliares localizados acima do leito. Quando a temperatura atinge cerca de 400°C, inicia-se a alimentação do resíduo sólido, que pode ser feita acima ou dentro do leito. A agitação no interior do leito, por ser muito intensa, distribui o resíduo sólido de forma uniforme por todo o leito. As partículas de resíduo sólido alimentadas trocam calor de forma intensa com a areia, que constitui 95% da massa do leito, que aquece, seca e entra em combustão rapidamente. Atingida a temperatura de operação, em torno de 600°C, desligam-se os queimadores auxiliares. A partir daí, a operação consiste em alimentar continuamente o resíduo, retirando sempre a cinza gerada.

As cinzas do resíduo sólido são arrastadas e coletadas nos sistemas de limpeza de gases ou são removidas pela base do leito, por descargas programadas. Materiais de elevada densidade, como os metais, tendem a se acumular no fundo do leito, sendo removidos juntamente com descargas periódicas de fundo.

Os compostos orgânicos arrastados do leito, que podem estar na forma sólida ou gasosa, são queimados na região superior do leito de areia. Nesta região, que funciona como um pós-queimador, injeta-se ar secundário com elevada turbulência para a combustão dos orgânicos não queimados, elevando a temperatura destes gases até cerca de 900°C. A relação de ar secundário para ar primário geralmente é de 2/1. A temperatura no leito, a fim de evitar problemas de fusão e aglomeração de partículas de areia, é mantida em torno de 600°C.

Após passar pela região superior, os gases são enviados para os sistemas de recuperação de energia e tratamento de gases.

Incineradores de leito fluidizado são utilizados para incinerar resíduos municipais, agrícolas, hospitalares e petroquímicos (OLIVEIRA, 2007). No entanto, a aplicação mais difundida deste tipo de incineração ocorre para lodo de esgoto.

Estas unidades apresentam algumas desvantagens, como a necessidade de um beneficiamento prévio do resíduo, por peneiramento ou moagem, para que as partículas tenham no máximo 2,5 cm, a reposição constante de inertes, devido ao desgaste das partículas no leito, e uma dificuldade operacional maior.

Incineradores de leito fluidizado oferecem: altas razões gás-sólido, altas eficiências de transferência de calor, alta turbulência tanto na fase gasosa como na sólida, temperaturas uniformes através do leito e o potencial para neutralização no próprio local dos gases ácidos com cal ou carbonato.

3.2.Cenário de Referência – Resíduos sólidos

O Cenário de Referência de tratamento de RSU foi estimado considerando as premissas de crescimento populacional, variação da taxa de geração de resíduos por habitante, variação da composição dos resíduos no tempo e nas diferentes regiões do país. Todas essas considerações são explicadas detalhadamente no item 3.2.1 Resíduos sólidos urbanos, a seguir.

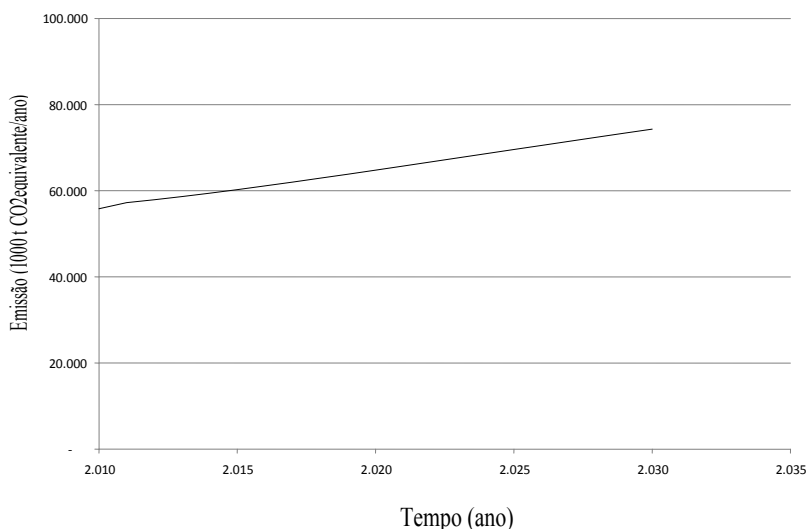
3.2.1. Resíduos sólidos urbanos

O Cenário de Referência do setor de RSU supõe a manutenção das condições atuais de saneamento do país. Neste documento, são citadas as várias iniciativas, principalmente em nível Federal, para modificar a situação atual. Todavia, essas medidas podem levar tempo para serem implantadas e, por essa razão, esse Cenário considera que se manterão as condições atuais.

O Cenário de Referência do tratamento de RSU é baseado nas hipóteses explicadas a seguir e resumido pela estimativa de emissões representada na Figura 7, abaixo. Nela pode se observar

que as emissões de CH₄ vão de aproximadamente 55 mil em 2010 para mais de 73 mil tCO₂e em 2030. Esse crescimento se dá de acordo com o crescimento populacional urbano previsto pelo Ministério das Minas e Energia (PNE, 2007). Assim como as demais variáveis envolvidas nessa estimativa e explicadas logo a seguir:

Figura 7 – Cenário 1-A ou Cenário de Referência do setor de resíduos sólidos urbanos



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 1, apresenta as emissões de GEE do Cenário de Referência do setor de RSU do anos de 2010, 2015, 2020, 2025 e 2030. No período entre os anos de 2010 e 2030, essas emissões aumentam 35,6%.

Tabela 1 - Emissões do Cenário de Referência devidas ao tratamento de efluentes

Ano	Emissões pelo tratamento de RSU (1000tCO ₂ e)
2010	54.200
2015	58.732
2020	63.630
2025	68.610
2030	73.473

O Cenário Referência das emissões de GEE do setor de resíduos sólidos foi estimado considerando as variáveis empregadas pelo método¹ do IPCC (2000). São exemplo de dados empregados: a população urbana (IBGE e EPE), a taxa de resíduos coletados per capita (Abrelpe), qualidade de operação do local de disposição do resíduo, composição, clima (Inmet) e fatores de emissão *default* do IPCC. Muitas informações também relevantes na discussão da gestão de resíduos não foram consideradas por não influírem objetivamente nas estimativas baseadas no método citado. Como por exemplo: prática de reciclagem ou compostagem, atuação de cooperativas de catadores, organização de campanhas de redução, reuso e reciclagem.

Além do Cenário de Referência do setor de RSU, são simuladas as aplicações de outras situações ou tecnologias isoladas de tratamento. Uma simulação é a do aumento da quantidade coletada de resíduos. Isso pode ser provocado pela melhoria na oferta dos serviços de coleta de

resíduos ou pelo aumento no nível de consumo desacompanhado de um programa eficaz que promova a redução na geração na fonte. Simula-se a redução da quantidade coletada. Tal redução pode ser induzida pelo agravamento das condições dos serviços de coleta de resíduos ou pela implantação de um programa bem-sucedido de coleta seletiva, reciclagem ou compostagem. É simulada a implantação de incineradores em algumas das regiões metropolitanas (RM) do país e, finalmente, o Cenário de Baixo Carbono implica apenas na inclusão da coleta e queima do CH_4 em todas as cidades do país, sendo que isso ocorre nas mesmas condições definidas no Cenário de Referência.

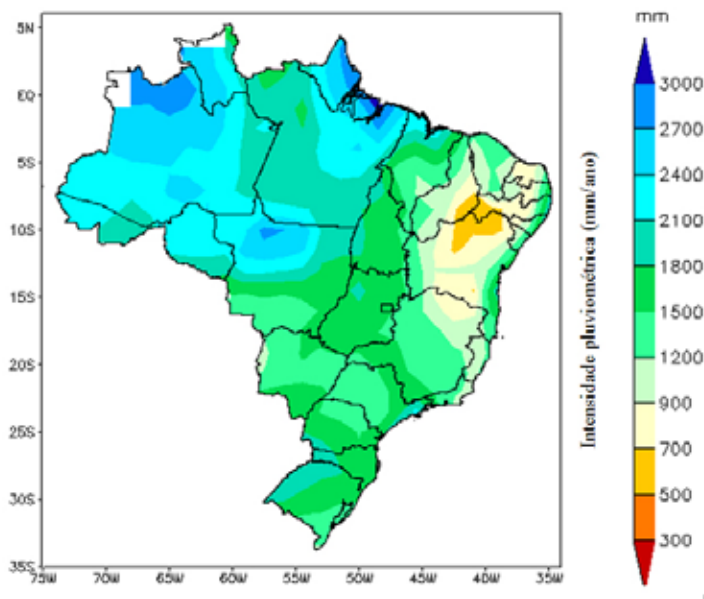
A seguir, o Cenário de Referência é explicado em detalhe a partir das variáveis definidas no método pelo IPCC (2000). Já o método é explicado no item 3.2.2 Métodos de cálculo, mais adiante neste documento.

O potencial de decaimento - "k".

O k e o A são variáveis que dependem do clima. Admite-se que os dados *default* do IPCC (2006) são os mais adequados para estimar as emissões nacionais. Para o estudo, utilizaram-se dados padrões para o k , sugeridos por Jensen e Pipatti, (2002) apud IPCC (2006), baseados em uma média ponderada da composição dos RSU, onde a degradação é diferente para cada tipo de resíduo e difere também para uma mistura de resíduos. Devido à insuficiência de dados sobre a composição dos resíduos na literatura brasileira e seu reflexo no k , foram adotados fatores de emissão *defaults* para resíduos misturados e estimados em função da zona climática e precipitação média.

Para determinar o regime de chuvas das diferentes zonas do Brasil, empregaram-se os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) com registros pluviométricos de 1960 a 1990. Os municípios discriminados na planilha do Inmet tiveram registrados os regimes de chuvas e encontram-se no Anexo I deste documento.

Figura 8 - Intensidade pluviométrica no Brasil⁴.



Fonte: Inmet, não datado.

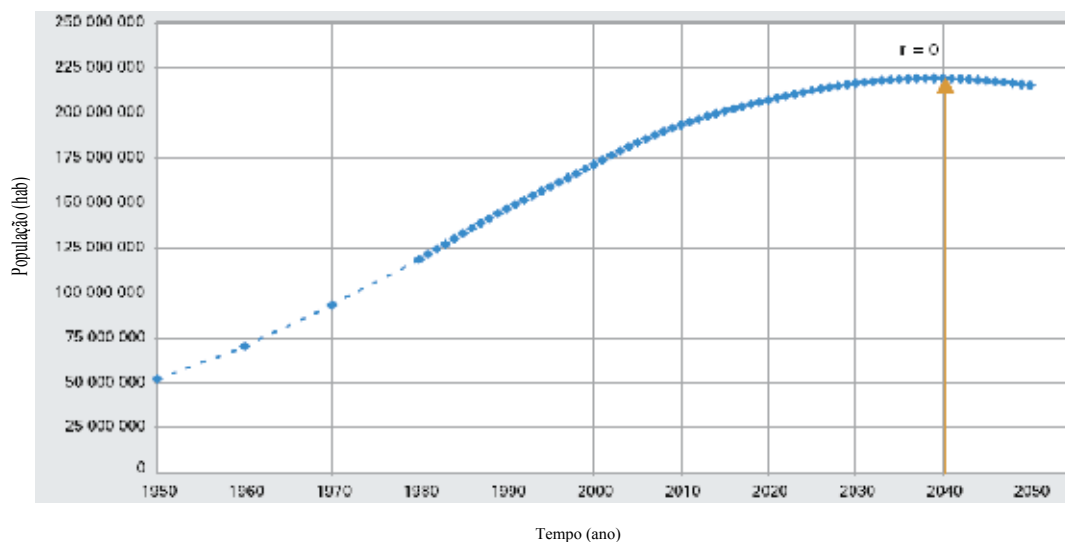
De acordo com a figura acima:

- Região Norte: MAP (Precipitação média anual) > 1000mm/a, portanto k igual 0,17.
- Região Nordeste: Variando onde MAP < 1000mm/a igual a 0,065 e MAP > 1000mm/a, portanto k igual a 0,17.
- Região Centro-Oeste: MAP > 1000mm/a, portanto k igual 0,17.
- Região Sudeste: MAP > 1000mm/a, portanto k igual 0,17.
- Região Sul: MAP > 1000mm/a, portanto k igual 0,09.

Quantidade de resíduo coletado – Rx

O Rx foi estimado empregando a população urbana dos Censos do IBGE de 1970, 1980, 1991 e 2000. A projeção da população dos anos de 2005 a 2030 foi adotada do PNE 2030 (2007, b, p. 38). Os anos intermediários entre 2001 e 2004 foram estimados por crescimento exponencial uniforme no período entre os dados de 2000 do Censo e de 2005 do PNE.

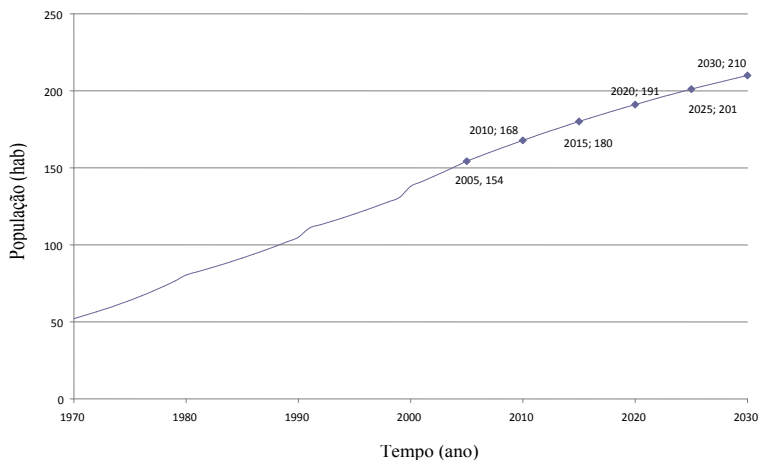
Figura 9 - Evolução da população total do Brasil de 1950 a 2050



Fonte IBGE, 2007.

Como se observa na Figura 9, no ano de 2030 estima-se uma população total da ordem de 220.000.000 habitantes. Já o PNE 2030 estima uma população urbana igual a 209.918.900 no mesmo ano. A Figura 10 reproduz a estimativa de evolução populacional que considera os censos e os dados do PNE 2030.

Figura 10 - Evolução da população total segundo o PNE 2030

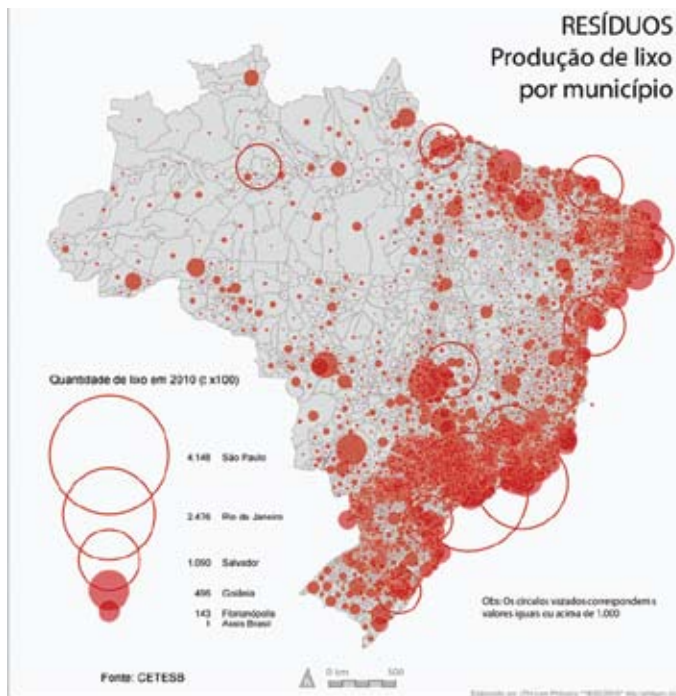


Fonte: IBGE (1970, 1980, 1991 e 2000) e PNE, 2007.

Geração de resíduos – RSU

A estimativa da geração de resíduos no Brasil foi feita empregando-se dados de geração *per capita* da Cetesb/SMA (1998) e da Abrelpe (2008) para o período entre 1970 e 2005. Os anos seguintes foram estimados pela continuidade da taxa de crescimento da geração de resíduos *per capita* e da população urbana de cada município. A Figura 11 ilustra produção de lixo por município estimada em 2010.

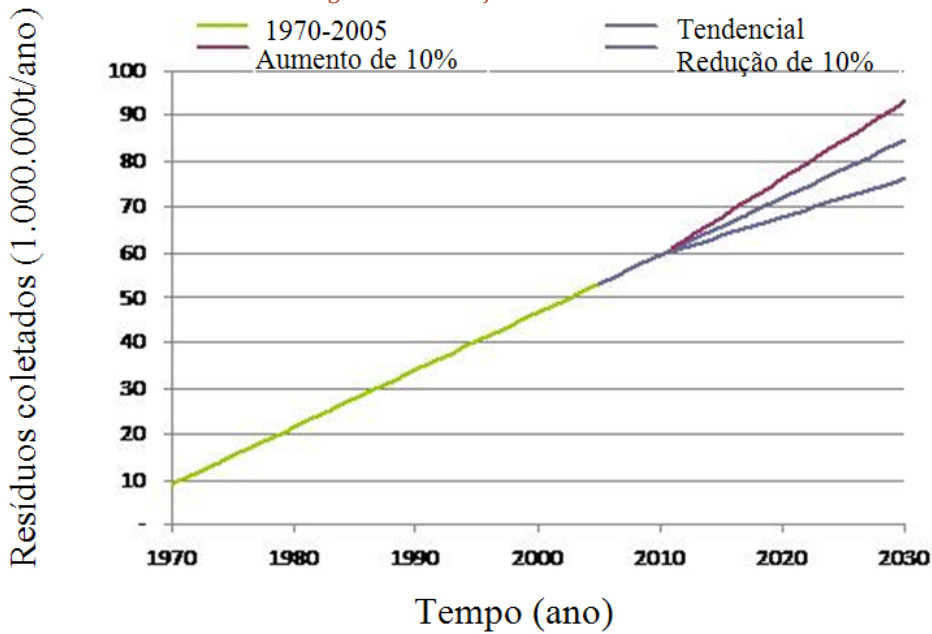
Figura 11: Produção de lixo por município (quantidade de lixo em 2010, 100 toneladas)



Fonte: CETESB, Brasil Estudo de Baixo Carbono do Banco Mundial

Adotou-se nesse Cenário que as medidas de estímulo à redução da geração na fonte, como programas de educação ambiental, cobrança pela geração ou programas de estímulo à reciclagem, podem induzir a redução na geração global de resíduos na ordem de 10%. Por outro lado, a simples melhoria nos serviços de coleta dos resíduos, pode aumentar em até 15% a quantidade de resíduos coletada, pois, como se sabe, hoje, cerca de 85% (ABRELPE, 2007) dos resíduos urbanos são coletados. Outros fatores como o aumento na renda ou o aumento nos padrões de consumo também podem contribuir para a elevação das quantidades de resíduos coletadas.

Figura 12 - Geração de resíduos



Dados do PNSB (2000) informam 80.000.000 t/ano em 2000 (1,6kg/hab.dia). Este documento foi revisado e seus números aperfeiçoados por estudos realizados pelo Ministério das Cidades e pelo Ministério do Meio Ambiente. Os dados da Abrelpe (2007) (0,9kg/hab.dia), elaborados posteriormente ao PNSB (2000) e que consideram as revisões e o contínuo trabalho de levantamento de informações que vem sendo feito pelo Ministério do Meio Ambiente e Ministério das Cidades, são mais confiáveis e, por essa razão, adotados para a elaboração deste cenário. Para os anos 70 foram considerados números da Cetesb (de 0,4 a 0,7kg/hab.dia). No período entre os anos de 1970 e 2005 foi estimada a variação linear da taxa da Cetesb para taxa da Abrelpe; nos anos seguintes, a melhor informação é gerada pela Abrelpe⁵.

Potencial de geração de CH₄ – Lo

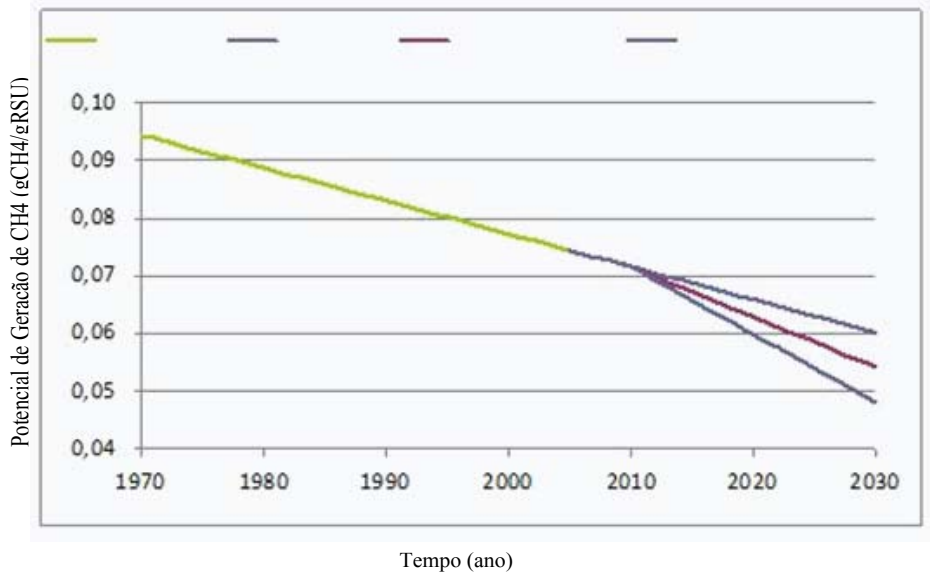
⁵ A Taxa RSU, para o ano de 2005, foi estimada para as 5 macrorregiões do país:

Região	Coefficiente angular	Coefficiente linear
Norte	0,000433	0,5064
Nordeste	0,000254	0,7054
Sudeste	0,000216	0,5864
Centro-Oeste	0,000384	0,6136
Sul	0,000357	0,5015

Fonte: ABRELPE, 2007.

A determinação da variação do potencial de geração de CH₄ foi feita a partir de uma amostra de 95 análises da composição de 47 diferentes municípios distribuídas desde 1970 até 2005. Com esses dados foram elaboradas estimativas da variação do comportamento dessa composição no tempo. Tal variação é expressa pela Figura 13. O Cenário de Referência é representado pela continuidade da redução deste potencial, verificado desde 1970 até 2005. A intensificação dos fatores, como a redução da presença percentual dos componentes que geram CH₄ no RSU ou o aumento da fração de inertes, que levaram a esta redução, poderia induzir a intensificação na redução da ordem 10 ou 20%. A suposição da redução de 10 ou 20% é resultado da discussão dos especialistas envolvidos na elaboração prospectiva do Cenário de Referência; não é sugerida por nenhuma outra publicação, apenas representa a expectativa dos especialistas.

Figura 13 - Potencial de geração de CH₄ - Lo



Tempo (ano)
Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando os dados reunidos, foi estimada a variação do L_0 de 1970 a 2005 para as cinco macrorregiões do país, de acordo com a Equação 1.

Equação 1 – Variação do L_0 de 1970 a 2005

$L_0(t) = \text{Coeficiente angular} \cdot t + \text{Coeficiente linear}$

onde:

$L_0(t)$	estimativa da variação do L_0 no tempo	$[GgCH_4/GgRSU]$
t	ano de estimativa	$[ano]$
Coeficiente angular	Coeficiente angular	$[GgCH_4/GgRSU.ano]$
Coeficiente linear	Coeficiente linear	$[GgCH_4/GgRSU]$

A Tabela 2, resume os dados estimados para aplicação na Equação 1, acima, para as cinco macrorregiões do país no período entre 1970 e 2005.

Tabela 2 – Variação do L_0 de 1970 a 2005 nas macrorregiões do Brasil e estimativa de L_0 médio do país

Região	Coefficiente angular	Coefficiente linear
	[GgCH ₄ /GgRSU.ano]	[GgCH ₄ /GgRSU]
Norte	-0,0009474001	1,9768323166
Sudeste	-0,0006538087	1,3855212029
Sul	-0,0007001260	1,4758037577
Nordeste	-0,0001240116	0,3212859891
Centro-Oeste	+0,0012000000	2,2899000000
Brasil	-0,0005687632	1,2147400398

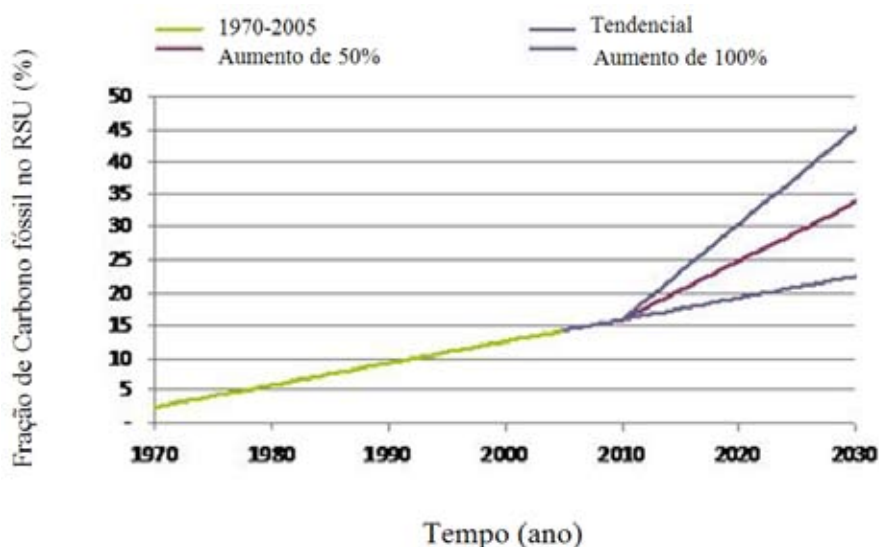
Fonte: Elaborado pelo autor. Exato

Assim, considerando serem apenas três os pontos que permitiram elaborar a caracterização da evolução do L_0 na região Centro-Oeste, optou-se por empregar para esta região a regressão média do país que incluiu todos os dados de todas as demais regiões. Com os dados desta tabela foram estimadas as emissões de CH₄ pela disposição de resíduos urbanos em aterros no período de 1990 a 2005.

Fração de Carbono fóssil do resíduo – CCW.FCF

Com a mesma coleção de dados empregada para determinar o L_0 , determinou-se a Fração de Carbono fóssil do resíduo para o período de 1970 a 2005. O período futuro foi definido pela simples continuidade da tendência observada no passado. Frações de Carbono fóssil em maior concentração podem ser verificadas com a intensificação das atuais práticas de emprego de embalagens, logística de distribuição de alimentos e bebidas, redução dos preços dos bens de consumo produzidos pela indústria petroquímica ou simples redução da fração de resíduos que possam ser caracterizados como biomassa.

Figura 14 - Fração de Carbono fóssil do resíduo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Fator de correção de Metano – MCF

O MCF varia em função da qualidade de operação dos locais de disposição dos resíduos sólidos. A Tabela 3 reproduz os dados *default* do IPCC (2000), que permitem estimar, a partir de uma breve descrição do local de disposição, o MCF.

Tabela 3 - Dados *default* do IPCC (2000) de MCF

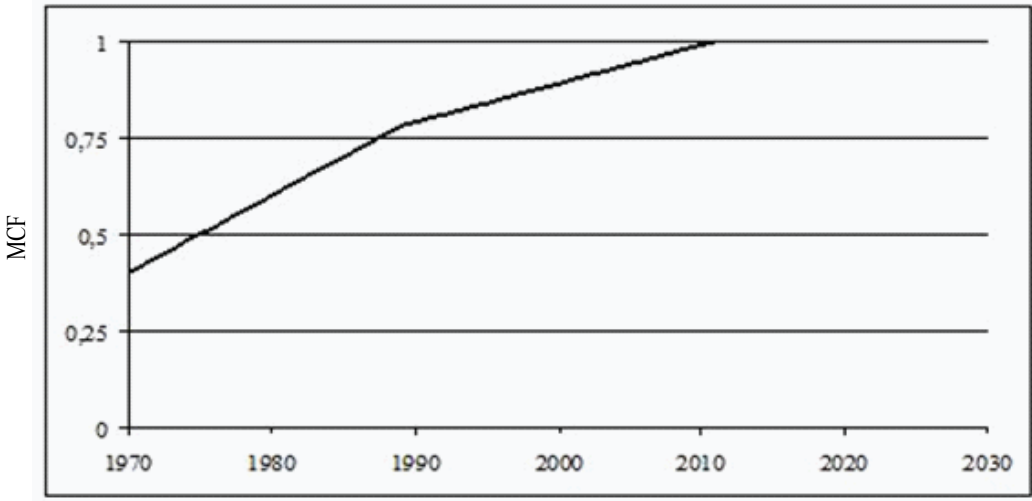
Características do local de disposição de RSU	MCF
Aterro sanitário	1,0
Aterro não gerenciado com mais de 5m de profundidade	0,8
Aterro não gerenciado com menos de 5m de profundidade	0,4
Depósito de lixo não classificado	0,6

Fonte: IPCC, 2000.

No Cenário de Referência estima-se que os municípios com população inferior a 200.000 habitantes em 2030 sempre terão locais de disposição de resíduos não gerenciados e com profundidade inferior a 5m. Portanto, com MCF igual a 0,4.

Os demais municípios, com população superior a 200.000 habitantes em 2030, têm MCF que evolui da pior condição em 1970 para uma condição intermediária em 1990 e, finalmente, a partir de 2010, para aterro sanitário. Neste aspecto a estimativa do Cenário de Referência é diferente do que define o método. Supõe-se que a transição de uma condição para a outra ocorre de modo gradual e contínuo ao longo de anos, enquanto que no método não há essa previsão. O MCF passa, de um ano para o outro, de 0,8 para 1 sem a previsão de aplicação de dados intermediários entre uma e outra estimativa.

Figura 15 - Qualidade da operação dos aterros do Brasil no período de 1970 a 2030

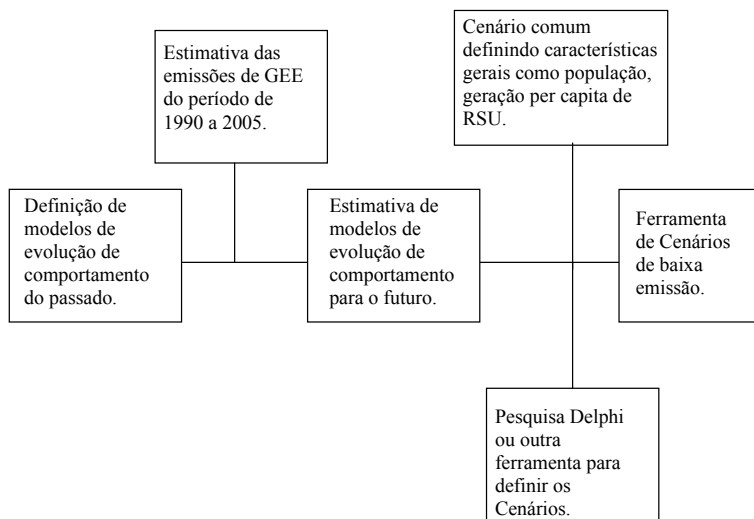


Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.2. Métodos de cálculo

A elaboração do “Cenário de baixas emissões de GEE do ano de 2030” pelo tratamento de resíduos empregou o método internacional de inventário do IPCC (2000) e o método descrito a seguir para a definição do Cenário de baixas emissões. Esse segundo método foi adaptado e aplicado como descrito a seguir.

Figura 16 - Estratégia geral de elaboração do cenário 2030 das emissões de GEE pelo tratamento de resíduos.



Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser observado na figura acima, o cenário 2030 tem início com a definição de modelos de evolução de comportamento relevantes para o estudo do passado recente. Esses modelos são regressões, na maioria lineares, da evolução da taxa de geração de resíduos por habitante urbano e composição do resíduo, destacando-se para tanto a capacidade de geração de CH_4 por unidade de massa de resíduo e fração de Carbono fóssil no resíduo. Definidos esses modelos, as alternativas possíveis de evolução são consideradas e avaliadas quanto à possibilidade de ocorrência no Cenário em estudo.

3.2.3 Estimativa de emissões de GEE pelo tratamento de resíduos

O método empregado para a estimativa das emissões de GEE pelo tratamento de resíduos do Cenário 2030 é o mesmo empregado para a elaboração do Relatório de Referência das emissões de GEE do setor de resíduos e que compõe a Comunicação Nacional. Para a obtenção de tal estimativa empregou-se o método do IPCC (2000).

Métodos para tratamento ou disposição de resíduos

O modelo desenvolvido pela Cetesb para a definição das quantidades de GEE que podem ser mitigadas e os recursos adicionais para o fomento ao Cenário de Baixo Carbono é descrito a seguir.

O modelo aplica o método do IPCC (2000) para estimar as emissões de GEE. São identificadas as atividades de tratamento e disposição de resíduos e efluentes que podem gerar esses gases.

No modelo, ainda de acordo com o método IPCC (2000), são considerados possíveis os

destinos aos resíduos sólidos descritos a seguir: a disposição em local de disposição de resíduos urbanos, que podem ser classificados como aterros sanitários, aterros não gerenciados com mais de 5m de profundidade e aterros não gerenciados com menos de 5m de profundidade. Nesses locais, a matéria orgânica contida nos resíduos emite CH₄ por períodos entre 30 e 50 anos. Essa é a prática mais comum no Brasil. Além disso, os resíduos podem ser incinerados, o que ocorre em fração insignificante em todo o território nacional. Essa incineração pode ser acompanhada, ou não, do emprego associado de tecnologias de recuperação do calor e geração de energia elétrica. Finalmente, a geração do resíduo pode ser evitada por programas de incentivo à minimização dos resíduos na fonte ou de incentivo à reciclagem ou de incentivo à compostagem.

Os RSU não são completamente coletados em todos os municípios do país. O que corresponde a um problema nas condições sanitárias mínimas das cidades brasileiras. Portanto, a melhoria nas condições de saneamento do país corresponde ao depósito de maiores quantidades de resíduos em locais adequados, minimizando assim os problemas decorrentes da poluição causada pelo resíduo não coletado.

No mesmo sentido, a melhoria na operação dos locais de disposição de resíduos pode provocar um aumento da geração de GEE. De acordo com o IPCC (2000), a emissão de gás de efeito estufa que uma mesma quantidade de resíduo geraria em um aterro sanitário cai para 80% em um aterro não gerenciado com mais de 5m de profundidade e para 40% em um aterro não gerenciado com menos de 5m de profundidade. Isso não significa que seja desejado um aterro não gerenciado em lugar de um aterro sanitário. Significa que as melhorias nos locais de disposição devem ser acompanhadas de medidas que viabilizem a coleta e destruição dos GEE emitidos por eles.

3.2.4 Compostagem

As emissões de GEE devidas à compostagem não são previstas pelo método IPCC (2000) que foi adotado como o método para a elaboração dos Cenários de Baixo Carbono e que também vem sendo empregado como base para os inventários de GEE do Brasil.

A compostagem comumente utilizada para tratamento de resíduos domiciliares e urbanos é a técnica da compostagem aeróbia, cuja decomposição é realizada por microorganismos que somente podem viver com a presença de oxigênio livre, ou seja, o processo de compostagem aeróbia necessita de uma aeração forçada (ventilação natural e/ou artificial) com presença de oxigênio (O₂), sem a presença de emissões antropogênicas de GEE em seu processo de digestão. Portanto, a compostagem é uma alternativa que retira a matéria orgânica do aterro e pode proporcionar a produção de composto orgânico de alta qualidade. Por tratar-se de um processo aeróbio, não produz gás de efeito estufa e implica na não emissão do CH₄ que seria gerado no aterro ao longo de algumas décadas.

Além disso, seguindo o método definido pelo IPCC (2000), não se encontra um método de estimativa de emissões devidas à compostagem. Apenas no IPCC (2006) existe um método, mas de fato, não está sendo utilizado, pois poderá gerar uma incoerência com o inventário nacional, já que este utiliza-se dos métodos: IPCC (1996) em sua primeira versão e IPCC (2000) em sua segunda versão ainda em curso.

Finalmente, as alternativas de gestão de resíduos são as práticas de redução da geração na fonte, reduzindo os desperdícios e alterando padrões de consumo, o reuso e a reciclagem, que podem contribuir significativamente para a redução de necessidades de insumos energéticos, matérias-primas e recursos naturais, reduzindo também as emissões de poluentes e a pressão sobre o ambiente.

3.2.5 Estimativa das emissões de GEE pela disposição em aterros

Neste Cenário, o método utilizado para a estimativa das emissões provenientes dos aterros é o de decaimento de primeira ordem, que pode ser encontrado no Guia de Boas Práticas publicado em 2000, pelo IPCC.

De acordo com o Guia de Boas Práticas em Inventário do IPCC (2000), a equação para a estimativa de emissões de CH_4 , do método de decaimento (Tier 2), é descrita a seguir, da Equação 2 até a Equação 7.

Equação 2 - Emissão de CH_4 pelo método de decaimento de primeira ordem – Tier 2

$$Q = \sum \left[(A \cdot k \cdot \text{RSU}t \cdot \text{RSU}f \cdot L_0 \cdot e^{-k(t-x)} - R) (1 - \emptyset) \right]$$

onde:

Q	= Quantidade de CH_4 gerado ao ano	[Gg CH_4 /ano]
A	= Fator de normalização para a soma	[adimensional]
k	= Constante de decaimento	[1/ano]
$\text{RSU}t$	= Quantidade total de resíduo gerado	[GgRSU/ano]
$\text{RSU}f$	= Fração de resíduo destinado ao aterro	[adimensional]
L_0	= Potencial de geração de CH_4	[Gg CH_4 /GgRSU]
t	= Ano do cálculo	[ano]
R	= Recuperação do CH_4	[Gg CH_4 /ano]
$\emptyset$	= Fator de oxidação	[adimensional]

A estimativa do A , empregado na Equação 2 é explicada a seguir:

Equação 3 - Fator de normalização para a soma

$$A = \frac{1 - e^{-k}}{k}$$

A estimativa da quantidade de resíduos destinada aos aterros (R_x), feita pelo produto entre $\text{RSU}t$ e $\text{RSU}f$ é feita pelo produto entre a TaxaRSU e a Pop_{urb} :

Equação 4 - Quantidade de resíduo aterrado

$$\text{RSU}t \cdot \text{RSU}f = R_x = \text{TaxaRSU} \cdot \text{Pop}_{urb}$$

onde:

R_x	= Quantidade de resíduo aterrado	[GgRSU/ano]
TaxaRSU	= Taxa de resíduo coletado per capita	[kgRSU/hab.dia]
Pop_{urb}	= População urbana	[hab]

A estimativa do L_0 empregado na Equação 2 é explicada a seguir:

6 Devido à dificuldade de se obterem os dados $\text{RSU}t$ e $\text{RSU}f$, estima-se, sem perda da qualidade da informação, a quantidade de resíduo aterrado (R_x) empregando dados mais acessíveis como TaxaRSU e Pop_{urb} .

Equação 5 - Potencial de geração de CH₄

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOCf \cdot F \cdot 16/12$$

onde:

<i>MCF</i>	= Fator de correção do metano referente ao gerenciamento dos locais de disposição	[adimensional]
<i>DOC</i>	= Carbono orgânico degradável	[gC/gRSU]
<i>DOCf</i>	= Fração do DOC que decompõe	[adimensional]
<i>F</i>	= Fração de CH ₄ no aterro	[adimensional] ³
<i>16/12</i>	= Razão de conversão de carbono (C) a CH ₄ (CH ₄)	[adimensional]

A estimativa do *DOC*, empregado na Equação 5, é explicada a seguir:

Equação 6 - Carbono orgânico degradável

$$DOC = (0,4 \cdot A) + (0,17 \cdot B) + (0,15 \cdot C) + (0,3 \cdot D)$$

onde:

<i>0,4</i>	= Carbono orgânico degradável da fração de resíduos correspondente a papéis e têxteis	[gC/gRSU]
<i>0,17</i>	= Carbono orgânico degradável da fração de resíduos proveniente de jardins, parques e outros putrescíveis não alimentares	[gC/gRSU]
<i>0,15</i>	= Carbono orgânico degradável da fração de resíduos correspondente a resíduos alimentares	[gC/gRSU]
<i>0,3</i>	= Carbono orgânico degradável da fração de resíduos correspondente a madeira e palha	[gC/gRSU]
<i>A</i>	= Fração do resíduo correspondente a papéis e têxteis	[adimensional]
<i>B</i>	= Fração do resíduo proveniente de jardins, parques e outros putrescíveis não alimentares	[adimensional]
<i>C</i>	= Fração do resíduo correspondente a resíduos alimentares	[adimensional]
<i>D</i>	= Fração do resíduo correspondente a madeira e palha	[adimensional]

A Estimativa do *DOCf*, empregado na Equação 5, é explicada a seguir:

Equação 7 - Fração do DOC que decompõe

$$DOCf = 0.014 \cdot T + 0,28$$

onde:

<i>T</i>	= Temperatura	[°C] ⁴
----------	---------------	-------------------

3 O IPCC sugere que o biogás ocorre com concentração igual a 50% de CH₄.
4 O IPCC sugere temperatura igual a 35°C, o que implica que o DOCf é igual a 0,77.

3.2.6 Estimativa das emissões de GEE por incineração

Equação 8 – Estimativa de emissão de CO₂ por incineração de resíduos sólidos

$$Q_{CO_2} = \sum_i (W_i \cdot CCW_i \cdot FCF_i \cdot E_i \cdot 44/12)$$

37

onde:

Q_{CO_2} = Quantidade de dióxido de carbono gerada ao ano [GgCO₂/ano]

i = RSU: Resíduo sólido doméstico

HW: Resíduo perigoso

CW: Resíduo hospitalar

SS: Lodo de esgoto

IW	= Massa de resíduo incinerado por tipo i	[GgRSU/ano]
CCW	= Carbono contido no resíduo tipo i	[gC/gRSU]
FCF	= Fração de Carbono fóssil no resíduo tipo i	[adimensional]
EF	= Eficiência de queima dos incineradores de resíduo tipo i	[adimensional]
44/12	= Conversão de C para CO ₂	[adimensional]

Equação 9 – Estimativa de emissão de N₂O por incineração de resíduos sólidos

$$Q_{N_2O} = \sum_i (W_i \cdot E_i) \cdot 10^{-6}$$

onde:

Q_{N_2O} = Quantidade de óxido nitroso gerada ao ano [GgN₂O/ano]

i = RSU: Resíduo sólido doméstico

HW: Resíduo perigoso

CW: Resíduo hospitalar

SS: Lodo de esgoto

IW	= Massa de resíduo incinerado por tipo i	[Gg/ano]
EF	= Fator de emissão i	[kgN ₂ O/Gg]

Como se sabe, o gerenciamento de resíduos sólidos pode ser feito com diferentes tecnologias além da disposição de resíduos em aterro ou incineração consideradas neste documento. Essas outras tecnologias também podem implicar em emissões de GEE.

A elaboração desse Cenário, empregando o método de inventário de 2000 do IPCC, considerou as tecnologias previstas naquele documento. Esse método, assim como o método de 1996, deve estar sendo empregado pelos países de todo o mundo para que sejam determinadas as emissões locais de GEE.

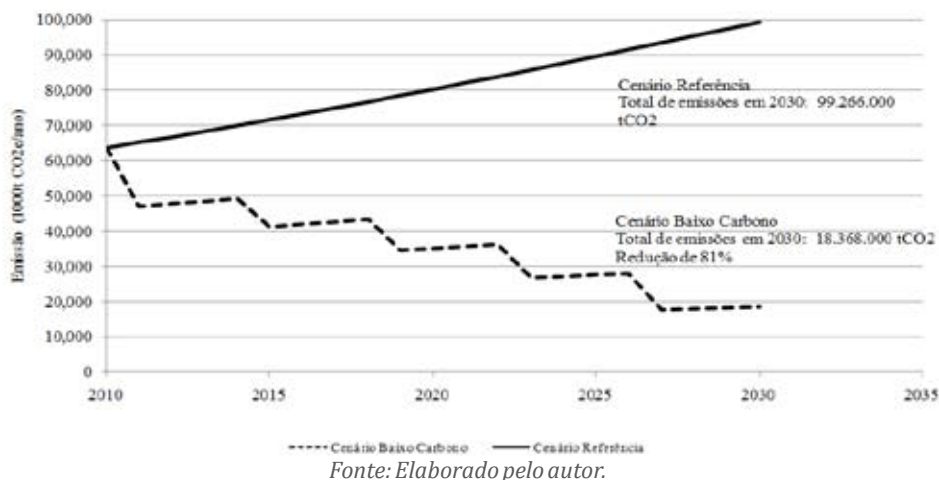
3.2.7 Resultados

Cenário 3-A: Queima do CH₄ com eficiência de coleta de 75% em todos os aterros do país

A queima do CH₄ é a alternativa que vem começando a ser praticada no país desde a entrada em vigor do Protocolo de Quioto. Antes disso, não se queimava CH₄ e, em abril de 2009, são 30 projetos de CDM com esta prática que tramitam na Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima. Todas as demais características que definiram o Cenário de Referência são mantidas, com exceção da destruição do CH₄ na taxa de 75% de capacidade de coleta no aterro. Esta é uma orientação dos projetos de CDM, sendo que ainda não há publicações nacionais confirmando esta informação.

Nota-se, como era de se esperar, que as emissões de GEE caem em 75% do total verificado sem esta prática e voltam a crescer acompanhando o crescimento populacional e demais características definidas também no Cenário de Referência. Neste Cenário, as reduções são de 73 para 18milGgCO₂e no ano de 2030, o que corresponde aos 75% de queima (Figura 17).

Figura 17 - Cenário 3-A: Queima do CH₄ com eficiência de coleta de 75% no aterro



3.2.8 Outras tecnologias e eventos

Nesta seção, são estimadas as emissões de GEE devidas à aplicação de quatro diferentes tecnologias ou eventos possíveis na gestão de resíduos no Brasil. Foi construída uma ferramenta de elaboração de cenários que permanece acessível na página de Internet da Cetesb (www.cetesb.sp.gov.br/biogas) e nesse documento são discutidos quatro cenários que reproduzem os efeitos da implantação dessas alternativas. Por exemplo, estima-se o possível aumento das quantidades de resíduos destinados aos aterros. Isso pode ser causado pela melhoria na oferta dos serviços de saneamento ou pelo aumento no nível de renda, consumo e consequente geração de resíduos.

Estima-se a possível redução das quantidades de resíduos destinadas aos aterros. Isso pode ser causado pela piora na oferta de serviços de saneamento, pela redução no nível de renda, consumo e consequente geração de resíduos ou pela aplicação de um programa de educação ambiental estimulando a redução da geração na fonte, o reuso e a reciclagem. Considerando o esgotamento das áreas para disposição de resíduos nas grandes metrópoles do país, estima-se a possível implantação de incineradores e, finalmente, com a manutenção das condições do

Cenário de Referência, estima-se a queima do CH₄ nos aterros. A implantação de cada tecnologia que é representada por esses Cenários ocorre separadamente com o objetivo de permitir a interpretação clara dos seus efeitos. A Tabela 4, resume os Cenários considerados.

Tabela 4 – Cenário *versus* tecnologia ou evento

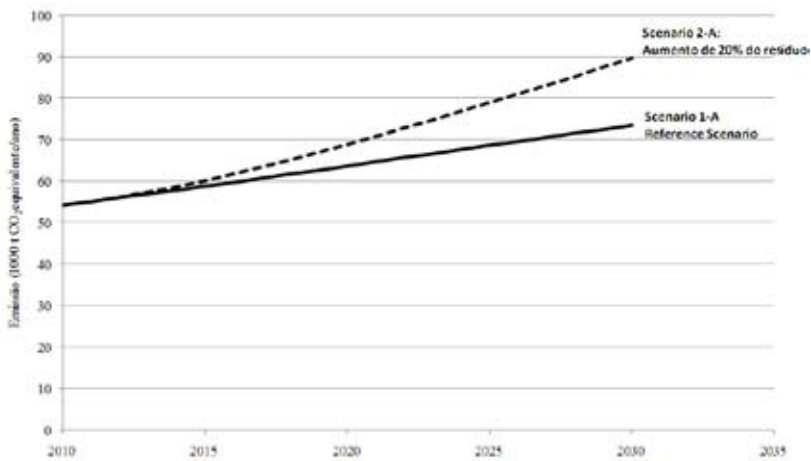
Cenário	Tecnologia ou evento
1-A	Cenário de Referência
2-A	Aumento de 20% na massa de resíduo que chega o aterro
3-A	Cenário de Baixo Carbono do setor de resíduos sólidos – Queima de CH ₄ com 75% de eficiência de coleta em 100% dos aterros do país
4-A	Incineração de 100% do resíduo nas RM com população superior a 3 milhões de habitantes
5-A	Redução de 20% da quantidade de resíduos destinados a aterros
6-A	Incineração de 100% dos resíduos nas RMs com população superior a 3.000.000 de habitantes, queima de CH ₄ nos aterros com população entre 100.000 e 3.000.000

Essas tecnologias ou eventos são considerados separadamente, não havendo, na maioria dos resultados apresentados, simultaneidade de eventos. O objetivo disso é avaliar individualmente, em relação ao Cenário de Referência, as emissões de GEE para as diferentes alternativas possíveis. Ainda sobre essas outras tecnologias, destaca-se que a estimativa das emissões devidas à sua ocorrência é feita mantendo-se todas as demais condições originais definidas no Cenário de Referência

Cenário 2-A: Aumento de 20% na massa de resíduo que chega o aterro

De acordo com a Abrelpe (2008), 15% do RSU do país não é coletado. Assim, a primeira possibilidade avaliada é o aumento da massa de resíduos destinados aos aterros. Esse evento pode ser provocado pelo aumento da eficiência de coleta dos serviços responsáveis por esta atividade. Como foi demonstrado, 15% do resíduo, hoje, não é coletado. Outro fator que pode influenciar neste aumento é a elevação na renda da população e consequente aumento nos níveis de consumo e geração de resíduos. Observa-se, portanto, o aumento de 73 para 89mil GgCO₂e no ano de 2030, na geração de GEE pelos aterros, que são, praticamente, a única alternativa de destinação de resíduos empregada no país.

Figura 18 - Cenário 2-A: Aumento de 20% na massa de resíduo que chega o aterro



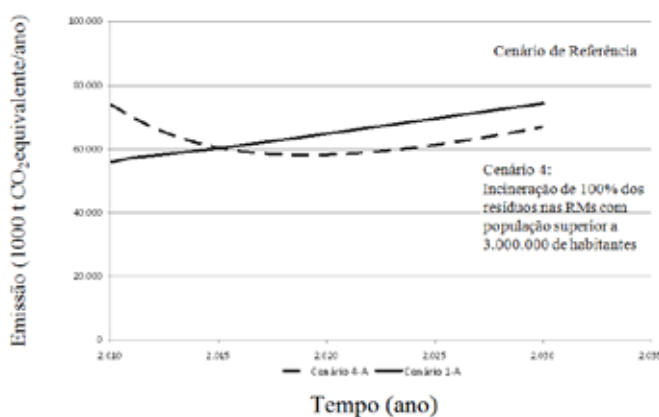
Fonte: Elaborado pelo autor.

Cenário 4-A: Incineração de 100% do resíduo nas RM com população superior a 3 milhões de habitantes

Outra alternativa considera o iminente esgotamento dos locais para instalação de aterros sanitários nas grandes RM do país. Uma alternativa que deve ser considerada é a incineração dos resíduos. Como pode se observar na Figura 14, a concentração de materiais fósseis no resíduo vem aumentando nos últimos anos e saiu de 3% em 1970 para 15% em 2005. O Cenário 4-A considera que essa tendência de aumento se manteve constante e que a fração fóssil nos resíduos continua aumentando linear e uniformemente até o ano de 2030.

O aumento dos níveis de emissões de GEE observado nos primeiros anos após a instalação dos incineradores e encerramento dos aterros dessas RM é explicado pela soma das emissões provocadas pela queima dos resíduos e pela continuidade das emissões dos aterros que devem se estender por algumas décadas após encerrado o aterro. Ao final do sexto ano desde o início da implantação dessa tecnologia, as emissões do Cenário 4-A, representado na Figura 19, se igualam às do Cenário de Referência, e, nos anos seguintes, observa-se a redução das emissões. Todavia, pode-se observar que a redução de 73 para 66 mil GgdeCO₂e, observada no ano de 2030, tende a diminuir, pois a suposta elevação na concentração de fração fóssil dos resíduos fará com que aumentem as emissões devidas à incineração.

Figura 19 - Cenário 4-A: Incineração de 100% do resíduo nas RM com população superior a 3 milhões de habitantes



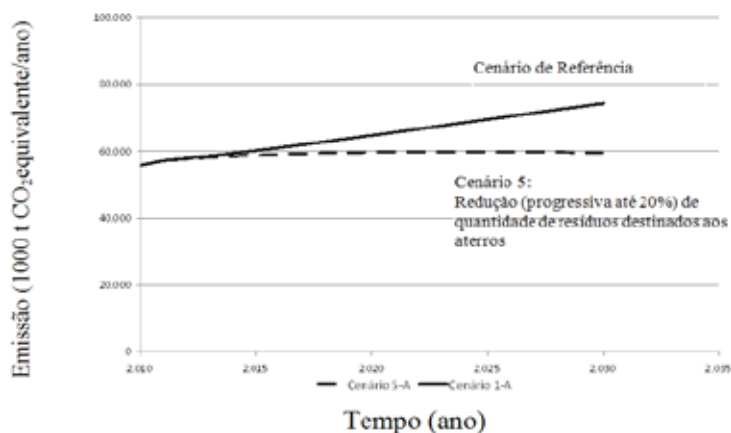
Fonte: Elaborado pelo autor.

Cenário 5-A: Redução de 20% da quantidade de resíduos destinados a aterros

Outra possibilidade é a redução na geração de resíduos. Essa redução pode ser causada por uma crise econômica que induza a reduções no consumo e, em consequência, à redução da geração de RSU ou pela implementação de programas de educação ambiental visando a redução da geração dos resíduos na fonte, a intensificação da prática de reciclagem pela separação, também na fonte, ou pelo incentivo ao consumo sustentável onde o cidadão gera menor quantidade de resíduo pela incorporação de práticas ambientais amigáveis na rotina diária. Esses eventos podem induzir à redução das quantidades de resíduos destinados aos aterros. No Cenário 5-A, representado na Figura 20, estimou-se uma redução da ordem de 20%, em 2030, que tem como consequência a redução das emissões de 73 para 59 mil GgdeCO₂e no ano de 2030.

Considerou-se que este tipo de atividade tenha ampla penetração, podendo alcançar todos os municípios do país, indistintamente.

Figura 20 - Cenário 5-A: Redução de 20% da quantidade de resíduos destinados a aterros

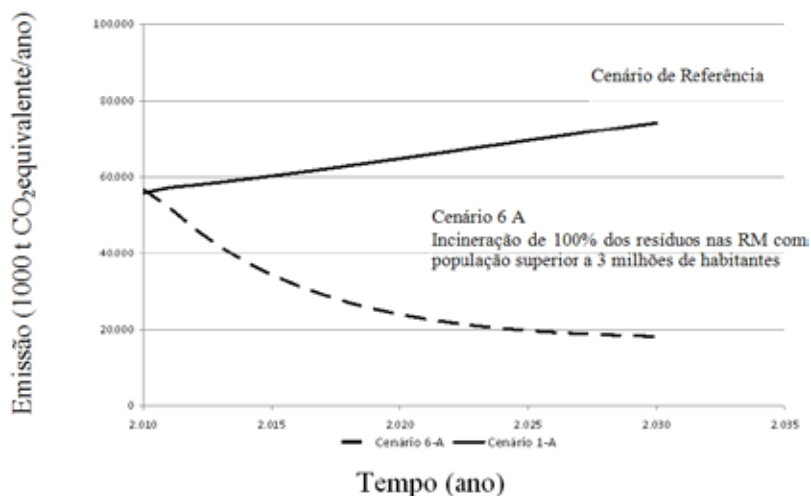


Fonte: Elaborado pelo autor.

Cenário 6-A: Incineração de 100% dos resíduos nas RM com população superior a 3.000.000 habitantes, queima de CH_4 nos aterros com população entre 100.000 e 3.000.000

No Cenário 6-A, representado na Figura 21, estimou-se incineração de 100% do resíduo nas RM com população superior a 3.000.000 de habitantes (como no cenário 4-A) e nas cidades com população entre 3.000.000 e 100.000 haveria queima de CH_4 de aterro com eficiência de 75%. Além das considerações acima, haveria 100% de reciclagem de resíduos fósseis⁹ nas cidades brasileiras.

Figura 21 – Cenário 6-A: Incineração de 100% dos resíduos nas RM com população superior a 3.000.000 de habitantes, queima de CH_4 nos aterros com população entre 100.000 e 3.000.000



Fonte: Elaborado pelo autor.

⁹ São resíduos fósseis os plásticos diversos, espumas, isopor, peças automotivas, borrachas, velas e parafinas.

Finalmente, deve-se lembrar que a adoção das diferentes tecnologias ou eventos considerou as mesmas hipóteses do Cenário de Referência.

3.2.9 Incertezas (RSU)

Sem considerar a incerteza da variável de meia vida do processo de geração de CH_4 (k), a incerteza global da estimativa de emissão de GEE desse estudo de RSU é da ordem de 41%. As faixas de incertezas e a incerteza considerada neste estudo referentes a cada uma das variáveis consideradas no método do IPCC (2000) do setor de resíduos são reproduzidas na Tabela 5.

Tabela 5 – Incertezas das estimativas do setor de RSU

Estimativas das incertezas associadas com os default e parâmetros no método FOD para a emissão de CH_4 nos LDRSM	
Dados de emissões e fatores de emissão	Incertezas
Quantidade total de resíduo gerado (RSU) e fração de Resíduo destinado ao aterro (RSU)	Específico de cada município: > $\pm 10\%$ (<-10%, >+10%. O valor absoluto do intervalo de incerteza é maior que 10%.) para municípios com qualidade maior de dados. Para locais com pouca qualidade nos dados a incerteza pode ser maior que o dobro. Empregado nessa estimativa = 10%
Carbono orgânico degradável (DOC)	-50%, +20% Nessa estimativa = 35%
Fração de carbono orgânico degradável (DOC_f) = 0,77	-30%, +0% Empregado nessa estimativa = 15%
Fator de correção do CH_4 (MCF) = 1.0 = 0.4 = 0.6	-10%, +0% -30%, +30% -50%, +60% Empregado nessa estimativa = 5%
Fração de CH_4 gerado nos aterros (F) = 0.5	-0%, +20% Empregado nessa estimativa = 10%
CH_4 recuperado (R)	A incerteza dependerá de como é estimada a quantidade de CH_4 recuperada e queimada (flared) ou utilizada, mas a incerteza tende a ser relativamente pequena comparada com outras incertezas se a medição for no local. Empregado nessa estimativa = 0%
Fator de oxidação (OX)	Incluir OX na análise de incerteza se um dado diferente de zero for usado para o OX. Neste caso a justificativa para um dado diferente de zero deve incluir considerações de incertezas. Empregado nessa estimativa = 0%
Meia vida (k) = 0,05	-40%, +300% Empregado nessa estimativa = 0%

Fonte: Adaptado IPCC (2000).

3.3. Outras opções de mitigação

Além da alternativa proposta no Cenário de Baixo Carbono, outras tecnologias podem ser empregadas visando a mitigação das emissões de GEE pelos resíduos e seu tratamento. Dentre elas pode-se citar a redução da geração na fonte e a compostagem, discutidas mais detalhadamente a seguir.

3.3.1. Redução da geração na fonte

A redução da geração de resíduos na fonte é a opção de maior relevância em termos de sustentabilidade. Essa alternativa de mitigação é a mais desejável; contudo, está vinculada a fatores socioculturais que não dependem apenas de soluções técnicas, econômicas ou ambientais isoladas. A redução da geração na fonte é o cenário ideal que pode ser incentivado em paralelo à alternativa identificada no Cenário de Baixo Carbono. Assim, a reciclagem deve ser considerada como uma opção de mitigação.

3.3.2. Compostagem

A difusão da compostagem é outra opção de mitigação que deve ser considerada, principalmente em municípios com população inferior a 100.000 habitantes. Essa prática demanda iniciativas de educação ambiental visando a separação dos resíduos e a viabilização da coleta seletiva com o mínimo custo e otimização da qualidade do composto. Trata-se de um processo aeróbio que não emite o CH_4 . O método do IPCC de 2006 estima as emissões de N_2O pela compostagem. O método empregado para a elaboração desse Cenário foi o IPCC (2000), que não considera essas emissões. Nos projetos de MDL, por sua vez, a atividade de compostagem é considerada uma atividade que provoca a redução das emissões de GEE. Isso porque o RSU que seria levado ao aterro e ao longo de anos emitiria CH_4 para a atmosfera, não mais é destinado ao aterro, evitando, assim essas emissões.

3.3.3. Coleta e queima do biogás

A coleta e queima do biogás evita a emissão do CH_4 . Destaca-se que a queima do biogás pode ser feita em um queimador, em aquecedores, secadores, fogões, caldeiras, motores, lâmpadas, geladeiras a gás ou qualquer outra aplicação energética. A coleta e queima do biogás necessita de um sistema de coleta que pode ser de dois diferentes tipos de concepção: o sistema passivo ou o sistema de exaustão forçada.

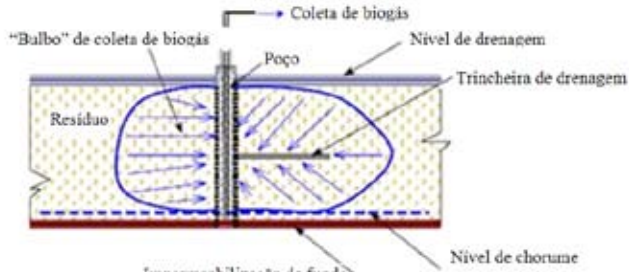
No sistema passivo, o biogás é diretamente queimado no topo dos poços (cabeça do poço), com uma eficiência de combustão de até 90%. A quantidade de biogás que chega nestes poços está localizada no entorno da estrutura. Ele é drenado naturalmente. A Figura 22 ilustra o bulbo (região) de influência do poço dentro da massa de resíduo. Consequentemente, a eficiência de destruição de biogás varia de 5% a 20% do total de gás de aterro produzido, dependendo ainda do tipo e condições da área (em operação ou não). Esta alternativa é praticada no Brasil.

Figura 22 - Exemplo de um poço de drenagem para sistema passivo



No sistema de exaustão forçada, o biogás é coletado por exaustão forçada, promovida pelos sopradores instalados no sistema. O aterro pode ser coberto com PVC ou material impermeável similar para prevenir que o biogás saia pela superfície do aterro. Consequentemente, a eficiência de coleta pode ficar entre 70% e 80% em relação ao total de gás de aterro produzido, dependendo do tipo e condições da área (em operação ou não). Além disso, a eficiência de queima está entre 98% e 99%. A Figura 23 ilustra o bulbo de influência quando se utiliza este sistema.

Figura 23 - Exemplo de um poço de drenagem para sistema de exaustão forçada

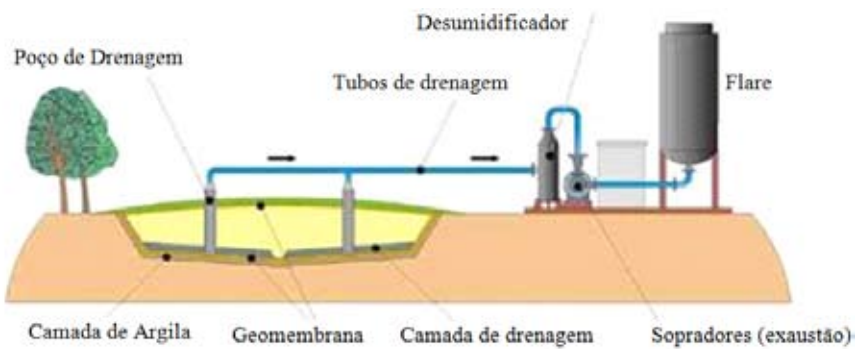


Fonte: ESSENCIS, 2004

O sistema de coleta com exaustão forçada necessita dos seguintes dispositivos:

- Poços igualmente distribuídos no aterro para extrair biogás por exaustão forçada (pressão negativa) com sopradores;
- Uma rede de tubos conectados ao topo dos poços transportando o biogás até a unidade de tratamento;
- Um equipamento para tratar o biogás, retirando toda umidade antes de passar pelos sopradores e então ser enviado para queima e
- Eventualmente, uma cobertura integral de material impermeável, como PVC ou similar, sobre a massa de resíduos.

Figura 24 - Exemplo de um sistema de exaustão forçada com seus dispositivos



Fonte: ESSENCIS, 2004

3.3.4. Outros benefícios

O Cenário de Baixo Carbono deste estudo implica em benefícios econômicos, ambientais, sanitários e sociais. A seguir, são enumerados outros benefícios que podem ser proporcionados pela gestão adequada de resíduos urbanos e adotados simultaneamente ao Cenário de Baixo Carbono.

A universalização dos serviços de coleta ocorre em sintonia com outras melhorias de infra-estrutura de saneamento básico do país e é caracterizada pelo suprimento de 100% da demanda pelos serviços (PMSS II, 2003).

Os benefícios da universalização dos serviços de limpeza urbana e saneamento básico se refletem diretamente na saúde da população, e, no caso específico da gestão de resíduos, práticas adequadas de coleta e destinação visam controlar o lançamento indevido de lixo nos solos, corpos d'água e vias públicas. Pretende-se com estas medidas evitar a ocorrência de impactos ao meio físico, tais como a contaminação do local receptor e obstrução dos pontos de captação de águas pluviais (bueiros).

O aperfeiçoamento do serviço de operação do aterro e manutenção das definições de projeto são atividades fundamentais para assegurar uma boa qualidade operacional do aterro. Boas práticas gerenciais são necessárias para evitar o risco de contaminação do solo e das águas subterrâneas através da geração de líquidos percolados e também por uma questão de precaução contra riscos de incêndio, tendo em vista o caráter de explosão espontânea do CH₄. A ampliação da prática de recuperação e queima do biogás distingue o aterro bem operado daquele que ainda não atingiu esse grau de qualidade, elevando o aterro que tem essa atividade para uma classe acima dos demais.

A redução de geração na fonte está dentro de um conjunto de medidas adotadas para a prevenção da poluição, que prega a minimização da geração de rejeitos, ao contrário de políticas de “fim-de-tubo”, onde a preocupação se concentra em técnicas de tratamento final dos rejeitos. Podem ser citadas diversas ações para a redução de geração na fonte, como, por exemplo, a utilização de embalagens mais eficientes que sejam compatíveis com as alternativas de tratamento dos RSU e a adoção de tecnologias limpas nos processos produtivos (CEMPRE, 2000). De acordo com Kiely (1997), a redução na fonte é o meio mais efetivo de minimizar a geração de resíduos e aquela que sempre deve ser considerada inicialmente. Os incentivos para a sua adoção recaem em: redução dos custos com tratamento e disposição final, evitar o risco de multas por não atendimento da legislação no que se refere a padrões de emissões, minimização e controle de desperdícios, entre outros.

O reuso ou reutilização implica em evitar que os materiais e produtos sejam destinados para disposição final e, dessa forma, possam ser reusados (praticamente sem transformação) para o mesmo fim originalmente estabelecido (CEMPRE, 2000). Um exemplo bastante difundido de reuso é a reutilização de garrafas de vidro de bebidas que após o uso inicial são recolhidas, lavadas adequadamente, preenchidas e novamente fornecidas para o consumo. A reciclagem é o resultado de uma série de atividades pelas quais materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos (IPT/CEMPRE, 2000). Segundo Cempre (2000), a reciclagem pode ser subdividida em reciclagem interna ou externa, sendo que no primeiro caso, os materiais voltam para o processo produtivo original. Exemplo: aparas de papel pré-consumo, ao invés de serem descartadas, são reaproveitadas no processo de manufatura. A reciclagem externa prevê que os materiais ou produtos descartados sofram algum processo industrial de transformação, a fim de que sejam obtidos novos produtos (reciclados) que desempenham a mesma função ou uma outra, potencial. Pode ser citado, como exemplo, as reciclagens de latas de alumínio e garrafas PET, que uma vez submetidos ao processo de reciclagem, podem se transformar, respectivamente, em novas latas de alumínio e camisetas. Estas três medidas apresentam benefícios ambientais em comum, configurados na forma de redução do consumo de recurso naturais, da não necessidade de incineração ou de ocupar espaço em locais de disposição final. Por sua vez, o reuso e a reciclagem podem trazer benefícios econômicos e sociais adicionais, como a geração de empregos diretos e indiretos, possibilitando assim um maior índice de inclusão social para populações de baixa renda.

A compostagem é conhecida como um processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal. Esse processo tem como resultado final um produto – o composto orgânico – que pode ser aplicado ao

solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente (IPT/CEMPRE, 2000). A utilização da prática de compostagem apresenta inúmeras vantagens, podendo ser citadas: a redução do volume de resíduos a ser destinado aos aterros sanitários, o aproveitamento agrícola da matéria orgânica e a eliminação de patógenos. O tratamento térmico, com ou sem geração de energia, pode ser classificado como sendo de alta ou de baixa temperatura. No primeiro caso, as temperaturas atingem temperaturas acima de 500°C e é empregado principalmente para destruir ou remover fração orgânica do resíduo. No tratamento térmico a alta temperatura ocorrem reduções significativas de massa e volume, além de assepsia. As opções de tratamento térmico a baixa temperatura ocorrem a aproximadamente 100°C e têm por objetivo principal a assepsia do resíduo. A massa e a fração orgânica praticamente não se alteram, podendo, no entanto, ocorrer redução significativa no volume (IPT/CEMPRE, 2000). Os principais pontos positivos do tratamento térmico de resíduos estão associados à redução significativa (em massa e volume) dos resíduos a serem descartados, esterilização de materiais perigosos, neutralização, bem como à possibilidade de aproveitamento energético.

A geração de energia com o CH_4 recuperado pode ocorrer tanto em aterros sanitários quanto em estações de tratamento de efluentes, locais estes onde ocorre a digestão anaeróbia da matéria orgânica contida, respectivamente, nos resíduos e efluentes. O biogás, por ter uma concentração elevada de CH_4 em sua composição, apresenta-se como um potencial combustível para queima e geração de energia. A queima, por si só, do biogás, na saída dos drenos coletores verticais, é mais vantajosa do que lançá-lo diretamente na atmosfera, dado que o potencial do CH_4 para agravar o impacto ambiental das mudanças climáticas globais é mais de duas dezenas maior que o do gás carbônico. Porém, o aproveitamento do CH_4 recuperado para fins energéticos se mostra uma ação ainda mais benéfica, ao verificar-se o ganho econômico que a instalação pode alcançar com a produção de energia para o próprio consumo ou, em caso de excedente, a comercialização desta quantidade.

3.4. Cenário de Baixo Carbono – Resíduos sólidos

O Cenário de Baixo Carbono do setor de resíduos apresentado neste estudo refere-se a uma única opção tecnológica: a coleta e queima do CH_4 . Outras práticas podem e devem ser implementadas na gestão de RSU. Tais práticas de gestão podem ser a redução da geração na fonte, a coleta seletiva, a reciclagem, o reuso, a compostagem, a universalização da oferta dos serviços ou a destruição térmica.

O Cenário de Baixo Carbono considera apenas a queima do CH_4 nos aterros. Todavia isso não significa que são desaconselhadas as outras práticas de gestão de resíduos; apenas opta-se pela simplificação e avaliação isolada dessa prática. No item 3.2.7 Outras tecnologias, são consideradas as demais opções e as contribuições dessas tecnologias, isoladamente. Na prática, espera-se que essas alternativas sejam aplicadas simultaneamente, gerando diferentes impactos nas emissões de GEE que assim podem ser observados um a um.

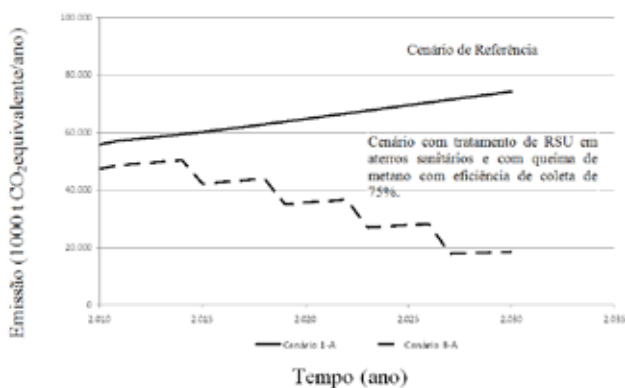
As emissões de GEE devidas à incineração são estimadas no item 3.2.7 Outras tecnologias e eventos. Observa-se que as emissões devidas à queima de resíduos fósseis fazem com que esta seja uma alternativa que, além de não poder ser aplicada indiscriminadamente no país, pode implicar, no curto prazo, em aumento das emissões de GEE, nos próximos 20 anos em redução. No entanto, cuidados devem ser tomados, pois o aumento da concentração de fósseis nos resíduos, como se observa na Figura 14, pode fazer com que essa prática seja tão intensiva em termos de emissões de GEE quanto a prática atual definida no Cenário de Referência, que pode ser observado resumidamente na Figura 7.

3.4.1. Cenário de Baixo Carbono do setor de resíduos sólidos urbanos

A queima do CH_4 é a alternativa que vem começando a ser praticada no país desde a entrada em vigor do Protocolo de Quioto. Antes disso, não se queimava CH_4 nos aterros do Brasil, e, em abril de 2009, são 30 projetos de CDM com essa prática que tramitam na CIMGC. Todas as demais características que definiram o Cenário de Referência são mantidas, com exceção da destruição do CH_4 na taxa de 75% de capacidade de coleta no aterro. Esta é uma orientação dos projetos de CDM, sendo que ainda não há publicações nacionais confirmando esta informação.

Na Figura 25 nota-se que as emissões de GEE podem cair, ao longo dos próximos 20 anos, em 75% do total verificado sem essa prática no Cenário de Referência. No mesmo período, as emissões do Cenário de Referência estão crescendo, acompanhando o crescimento populacional e demais características definidas no item 3.2 Cenário de Referência. No Cenário de Baixo Carbono, as reduções são de 73 para 18 mil GgCO_2 e no ano de 2030, com a sua possível aplicação em todos os aterros do Brasil, com ou sem aproveitamento energético¹⁰ do CH_4 queimado.

Figura 25 - Cenário 3-A: Queima do CH_4 com eficiência de coleta de 75% no aterro



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.2. Consolidação

O Cenário de Referência para o setor de RSU leva em conta a realidade do país em 2007, retratada por publicações do IBGE, Abrelpe e Ministério do Meio Ambiente e Ministério das Cidades e faz algumas considerações para o período entre 2010 e 2030 que, acredita-se, sejam as mais prováveis e que, portanto, devem representar com maior fidelidade o Cenário de Referência para o ano de 2030 nesse setor.

De acordo com a Abrelpe (2008), cerca de 15% do resíduo gerado não é coletado. Sem discutir as razões que levam a esse fato, considera-se que nesse período essa fração se manterá constante e mantida assim no Cenário de Referência representado na Figura 26.

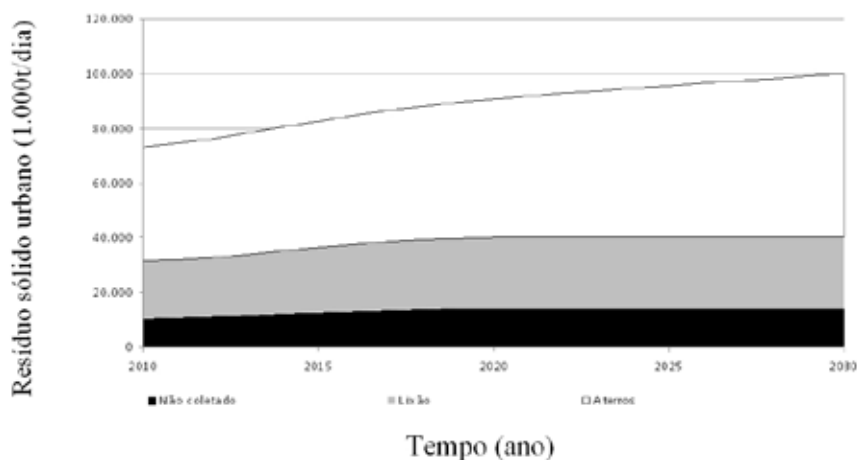
De acordo com a mesma Abrelpe (2008), do resíduo coletado em 2007, 38,6% são destinados a aterros sanitários, 31,8% são destinados a aterros controlados e 29,6% são destinados a lixões. Na segunda metade desta década, medidas cada vez mais promissoras da parte do Governo Federal vêm sugerindo a real preocupação e o propósito de se criarem condições para a melhoria da operação dos aterros, principalmente daqueles que servem populações

10 - 1GW é a potência que pode ser instalada e que equivale à queima dos 2,6 GgCH_4 ou os 55 GgCO_2 equivalentes.

superiores a 50.000 habitantes. Assim, o Cenário de Referência considera que, a partir de 2010, permanecendo constante até o ano de 2030, todas as cidades com população superior a 200.000 habitantes serão atendidas por aterros sanitários (ver a Tabela 3). Da mesma forma, considera-se que as cidades com população inferior a 200.000 habitantes não serão atendidas por aterros sanitários (ver também a Tabela 3). Assim, O Cenário de Referência estima que a fração dos resíduos correspondente a esses municípios com população inferior a 200.000 habitantes permanecerá atendida por lixões em todo o período entre os anos de 2010 e 2030.

De acordo com o IBGE (2000), as frações somadas de resíduos destinados à incineração e à compostagem são inferiores a 1% do total do resíduo urbano coletado, sendo, portanto, insignificantes. Da mesma forma, como se observa na Figura 26, o Cenário de Referência do setor de resíduos considera essas frações nessa ordem de grandeza e constante por todo o período entre os anos de 2010 e 2030.

Figura 26 – Distribuição dos serviços e tratamento do RSU no Cenário de Referência



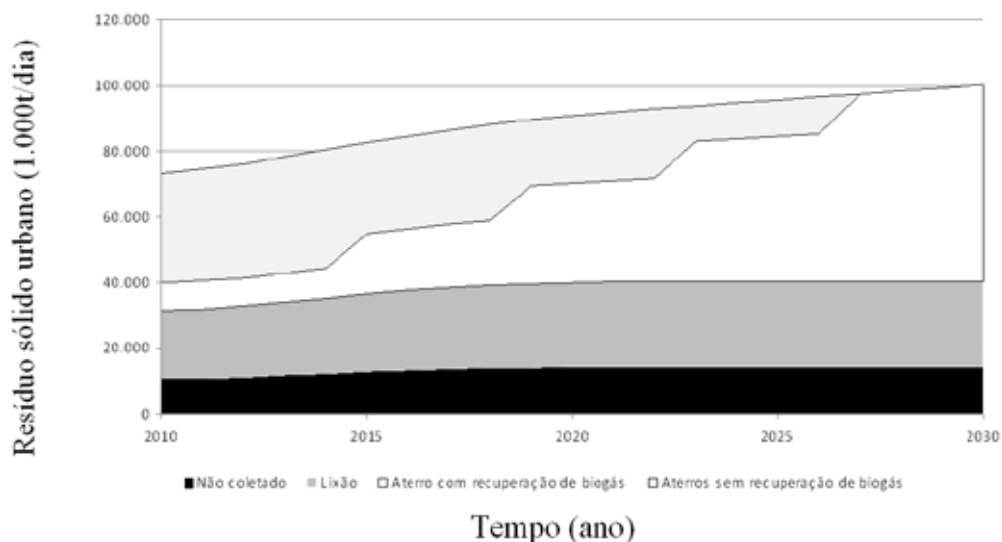
Fonte: Elaborado pelo autor.

O Cenário de Baixo Carbono do setor de resíduos preserva todas as hipóteses adotadas no Cenário de Referência, com exceção da prática de coleta e queima de CH_4 nos aterros sanitários, que passa a ser praticada cada vez em mais larga escala, chegando a 100% dos aterros sanitários do país em 2030. Foi arbitrado que esse crescimento deve ocorrer linearmente saindo de 0% em 2010 e chegando a 100% em 2030.

Esse Cenário de Baixo Carbono não descarta, em nenhuma hipótese, as demais tecnologias de redução de emissões, como a prática de educação ambiental visando a redução da geração na fonte, a reciclagem e o reuso – tecnologias que facilitem o emprego de produtos mais amigáveis ao meio ambiente e de compostagem.

Sabe-se que o esgotamento das áreas para a instalação de novos aterros é uma realidade nas RM do país. O licenciamento ambiental e o rigor no controle da operação dessas instalações vêm onerando cada vez mais a prática de disposição de RSU em aterros. Baseados nisso, alguns sanitaristas acreditam que seja inevitável a adoção dessa prática nas principais RM do país já nos próximos anos. O Cenário de Baixo Carbono apresentado na Figura 27, não incluiu essa tecnologia, mais com o propósito de permitir a compreensão isolada do impacto da adoção da queima de CH_4 . Para avaliar as demais tecnologias possíveis de serem aplicadas, veja o item 3.2.7 Outras tecnologias e eventos.

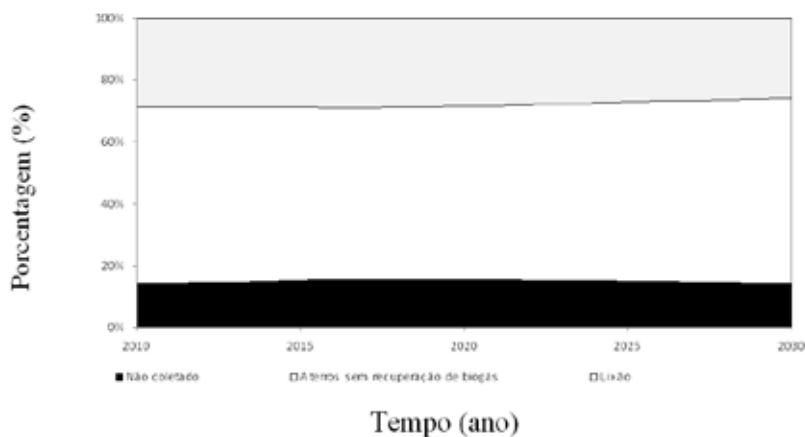
Figura 27 - Distribuição dos serviços e tratamento do RSU no Cenário de Baixo Carbono



Fonte: Elaborado pelo autor.

Adicionalmente, pode se ter uma idéia da distribuição percentual dos serviços de saneamento do setor de RSU no Cenário de Referência e no Cenário de Baixo Carbono observando-se as Figura 28 e Figura 29. Observam-se pequenas variações na distribuição das quantidades de RSU destinadas a aterros provocadas pelo simultâneo crescimento populacional, crescimento na geração de RSU, transição de lixões para aterros e quantidades não coletadas estimadas pelo modelo desenvolvido pela Cetesb, que apenas conformam a hipótese adotada.

Figura 28 - Distribuição do percentual dos serviços e tratamento do RSU no Cenário de Referência

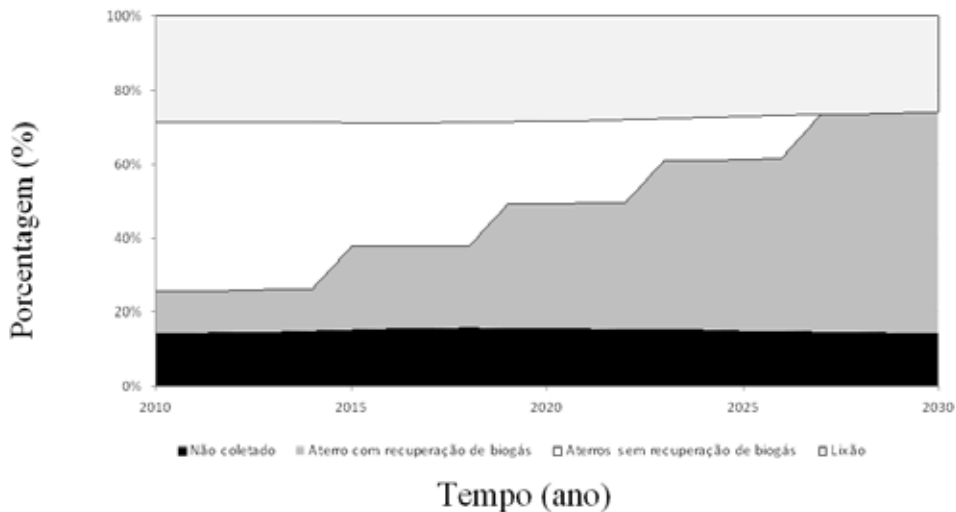


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 29 reafirma a distribuição dos serviços de saneamento do país e adotada no Cenário de Referência representado na Figura 28. A diferença entre as duas situações reside apenas na

captura e destruição do CH₄ nos aterros, que no ano 2030 são 100% dotados de sistemas de coleta e queima.

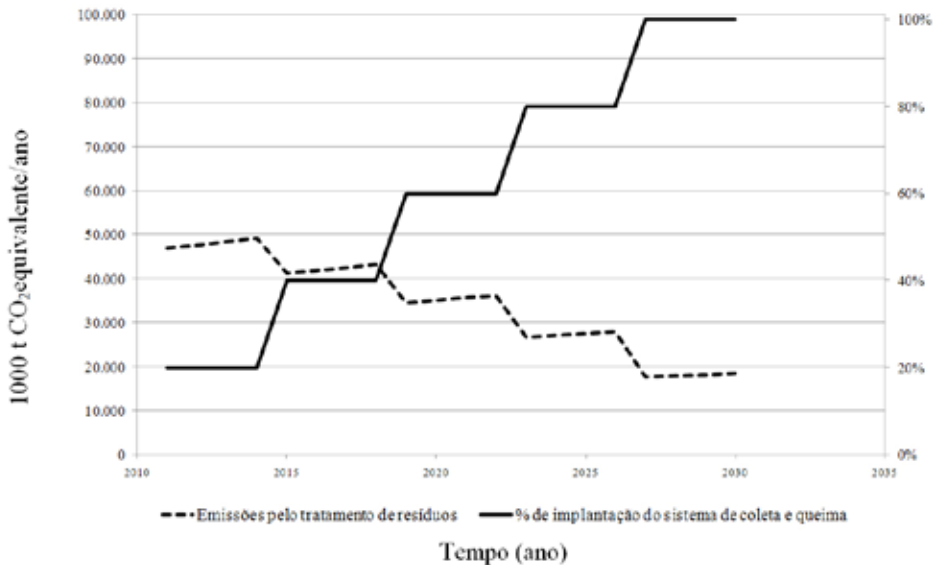
Figura 29 - Distribuição do percentual dos serviços e tratamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

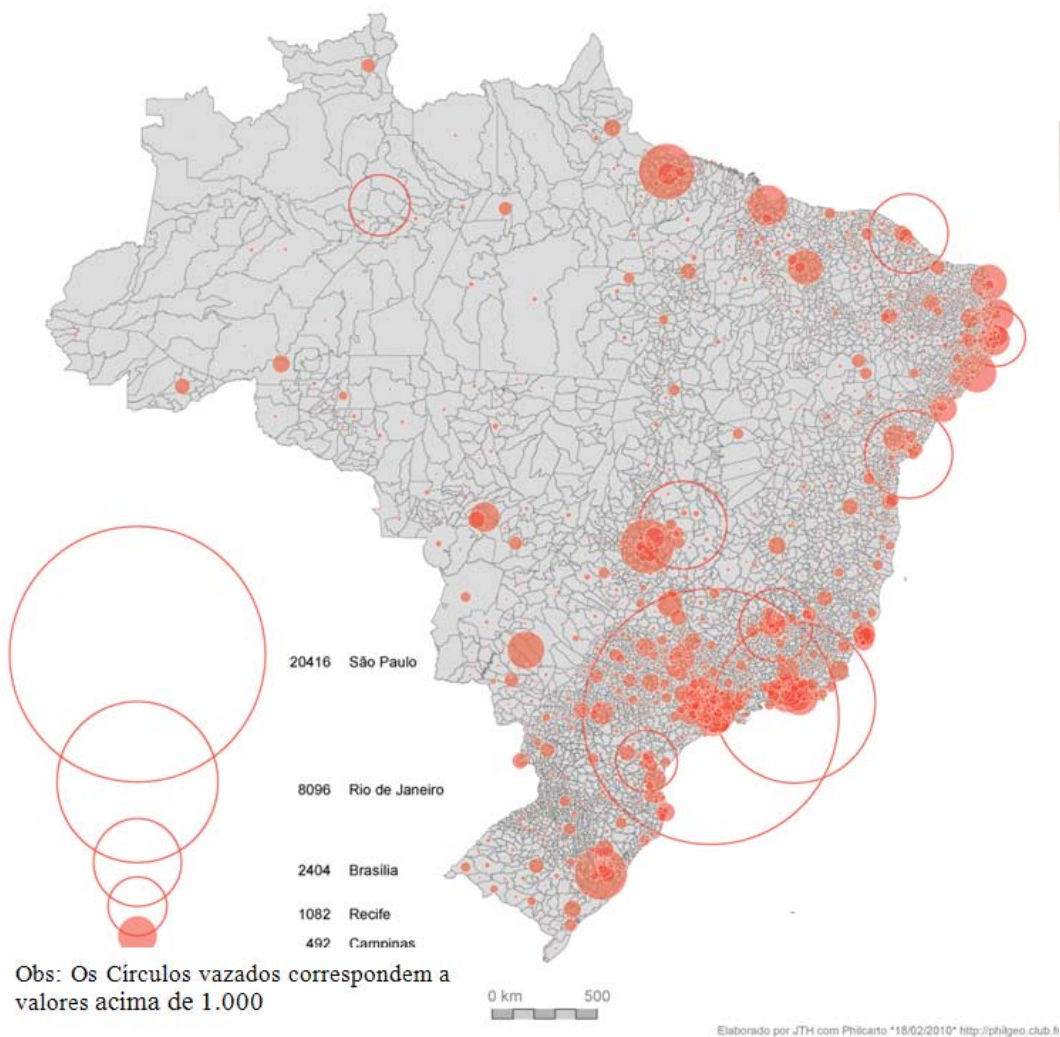
O resultado do Cenário de Baixo Carbono do setor de RSU é apresentado na Figura 30. Ao mesmo tempo em que aumenta o percentual de implantação dos sistemas de captura e queima do CH₄ as emissões caem, em períodos de implantação de cinco anos, até que, em 2030, 100% dos aterros contam com sistemas de coleta e destruição do CH₄, reduzindo em 75% as emissões totais do Cenário de Referência do setor de resíduos. As Figuras 31 e 32 ilustram as emissões estimadas por município nos Cenários de Referência e Baixo Carbono em 2030.

Figura 30 - Cenário de Baixo Carbono de 2010 até 2030



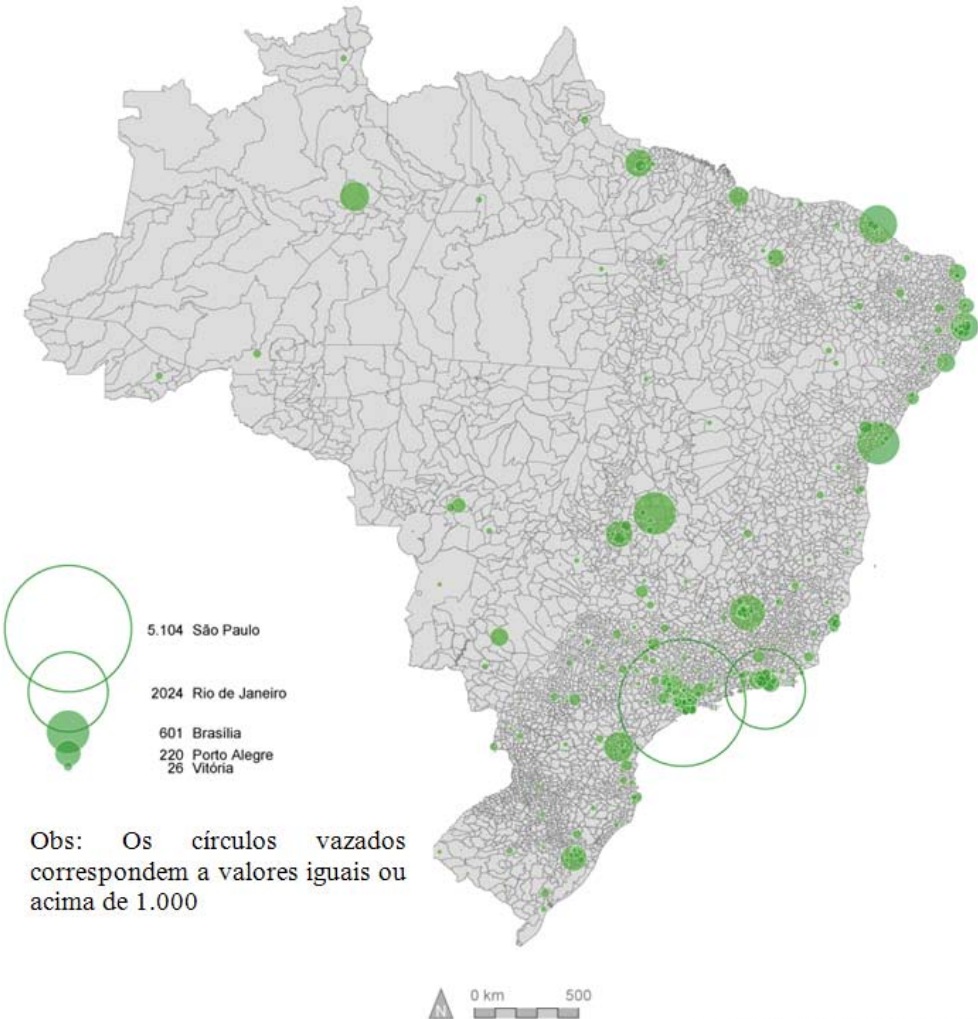
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31: Resíduos: Emissões (Mt CO2e) por município – Cenário de Referência 2030



Fonte: CETESB, Brasil Estudo de Baixo Carbono do Banco Mundial

Figura 32: Resíduos: Emissões (Mt CO₂e) por município – Cenário de Baixo Carbono 2030



Fonte: CETESB, Brasil Estudo de Baixo Carbono do Banco Mundial

As emissões evitadas no Cenário de Baixo Carbono, que em 2010 são zero, aumentam para 18GtCO₂e em 2015, 29GtCO₂e em 2020, 41GtCO₂e em 2025, chegando a 55GtCO₂e em 2030, o que corresponde a 75% das emissões dos aterros e observadas no Cenário de Referência (Tabela 6).

Tabela 6 - Emissões evitadas no Cenário de Baixo Carbono de RSU

Ano	Emissões evitadas em relação ao Cenário de Referência ou 1-A (1000tCO ₂ e)
2010	0
2015	17.620
2020	28.633
2025	41.166
2030	55.105

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.3. Barreiras e propostas de superação

Na Tabela 7 são resumidas as principais barreiras e ações do setor de saneamento ambiental para o Cenário de Baixo Carbono. Essas barreiras vão desde a limitação técnica e operacional dos municípios para operar adequadamente os aterros, incluindo o esgotamento das áreas para instalação e licenciamento ambiental de novos aterros. Observam-se além, dos aspectos preventivos, os aspectos corretivos e de governança que devem nortear autoridades e demais partes interessadas nesse tema.

Tabela 7 - Barreiras e ações de mitigação para aterros sanitários

Ações de mitigação Barreiras	Preventivas	Corretivas	de Governança
Técnico-ambientais			
Capacitação técnica.	Os municípios carecem de recursos humanos e capacitação técnica, necessitando de Programas Regionais de assistência técnico-operacional.	Adequação e recuperação ambiental de sítios de disposição de RSU que estão ativos e inadequados.	Regularização com licenciamento ambiental dos aterros sanitários ativos, tornando-os plenamente adequados.
Disponibilidade de áreas ambientalmente adequadas.	Análise socioambiental nas escolhas de áreas para logística e tratamento de resíduos.	Aplicação no incentivo de concepções técnicas (ex. compostagem em condições aeróbias) visando o tratamento da parcela da composição "orgânica" dos resíduos.	Redução e reutilização dos resíduos, com segregação e coleta seletiva, notadamente da parcela da composição "fóssil".
Aplicação de técnicas em sistemas de coleta, queima, recuperação e/ou aproveitamento energético do CH ₄ .	Troca de experiências entre entidades especializadas e que operam sistemas afins (empresas privadas nacionais e internacionais, órgãos governamentais, ONGs etc.).	Execução de sistemas eficientes e eficazes, com vista à viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental.	Proposição de exigências técnicas nos órgãos e agências ambientais na execução e operação de sistemas afins nos procedimentos de licenciamento ambiental.
Econômico-jurídicas			
Investimentos e recursos econômicos insuficientes.	Adequação e aquisição de equipamentos em sistemas de medição (pesagem com aferição e calibragem) e caracterização gravimétrica dos resíduos.	Incremento considerável no valor dos investimentos de forma sistemática ao longo dos próximos 20 anos.	Controle e fiscalização no fomento e aplicação de recursos econômicos afins em seus diversos programas e planos existentes.
Mecanismos facilitadores e legais de cobrança e tributação.	Proposição de um novo mecanismo de medição e acompanhamento na quantificação e geração <i>per capita</i> dos resíduos.	Alteração do sistema de tributação e de pagamentos pelos serviços de coleta e tratamento de resíduos.	Integração dos mecanismos de fomento institucional entre os setores de saneamento, meio ambiente, recursos hídricos e energia com a questão das mudanças climáticas.
Socioculturais			
	Promoção do consumo consciente, coleta seletiva e logística reversa dentro do ciclo de vida em toda cadeia produtiva de geração de resíduos.	Incremento considerável na coleta seletiva através de parcerias com cooperativas e ONGs de forma sistemática ao longo dos próximos 20 anos.	Mecanismos de alteração com isenção na tributação em toda cadeia produtiva nos serviços de coleta seletiva e logística reversa de resíduos, notadamente da parcela da composição "fóssil".

Assim como na discussão anterior a respeito das barreiras relacionadas aos aterros, na Tabela 8, são discutidas as barreiras e possíveis ações de caráter preventivo, corretivo e de mitigação sobre a potencial instalação da tecnologia de incineração nas maiores RM do país.

Tabela 8 - Barreiras e ações de mitigação para incineração

Ações de mitigação Barreiras	Preventivas	Corretivas	de Governança
Técnico-ambientais			
Conhecimento tecnológico.	Os formadores de opinião e especialistas no setor possuem ainda carência no conhecimento tecnológico e nas consequências ambientais na operação de sistemas afins.	Esclarecimento e capacitação das partes interessadas e agentes envolvidos quanto à aplicação e operação de sistemas afins, principalmente levando-se em conta seus efeitos adversos à saúde pública e ambiental, decorrentes das emissões atmosféricas com potencial presença de substâncias passíveis de toxicidade e efeitos sinérgicos.	Envolvimento técnico das agências ambientais e organismos licenciadores no encaminhamento técnico da questão analisando o contexto da sustentabilidade nas grandes metrópoles e RM.
Econômico-jurídicas			
Investimentos com valores elevados.	Os estudos de viabilidade para sistemas de tratamento afins somente se justificam em ambientes urbanos com população superior a 3.000.000 habitantes.	Proposição na implantação de alta tecnologia em sistemas afins com inserção de sistemas de alta eficiência em exaustão, controle e mitigação na emissão de gases e efluentes atmosféricos.	Capacitação em desenvolvimento de projetos e planejamento a longo prazo nas municipalidades. Necessidade do setor público e privado de aprimoramento do conhecimento e uso da estrutura jurídica e institucional, assim como os procedimentos necessários para o acesso a fontes de financiamento disponíveis (ex: dentro de prazos estipulados, etc.)
Mecanismos facilitadores e legais de cobrança e tributação.	Proposição de um novo mecanismo de medição e acompanhamento na quantificação e geração <i>per capita</i> dos resíduos.	Alteração do sistema de tributação e de pagamentos pelos serviços de coleta e tratamento de resíduos.	Integração dos mecanismos de fomento institucional entre os setores de saneamento, meio ambiente, recursos hídricos e energia com a questão das mudanças climáticas.
Socioculturais			
	Promoção do consumo consciente, coleta seletiva e logística reversa dentro do ciclo de vida em toda cadeia produtiva de geração de resíduos.	Incremento considerável na coleta seletiva através de parcerias com cooperativas e ONGs de forma sistemática ao longo dos próximos 20 anos.	Mecanismos de alteração com isenção na tributação em toda cadeia produtiva nos serviços de coleta seletiva e logística reversa de resíduos, notadamente da parcela da composição "fóssil".

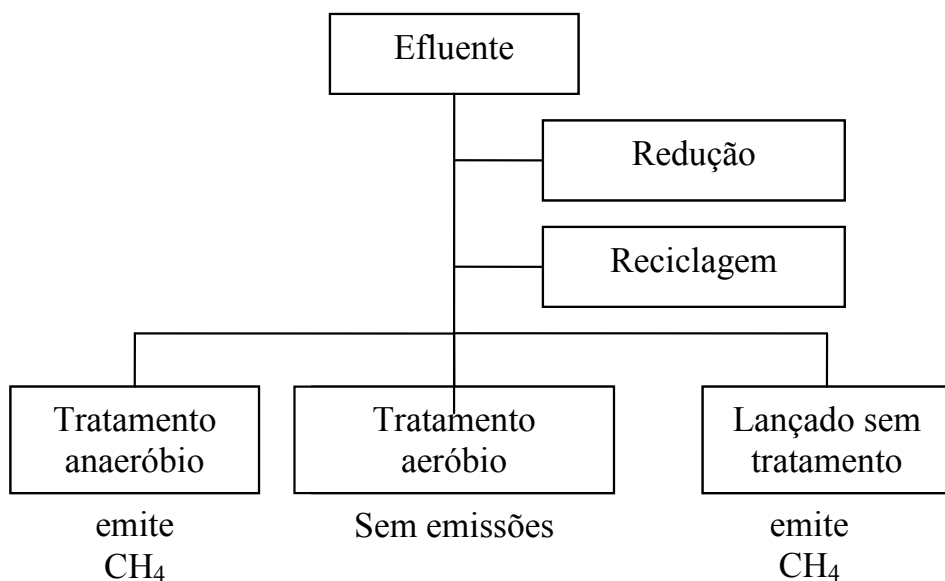
4. Tratamento de esgotos e efluentes

Assim como no Cenário de emissões pelo tratamento de resíduos sólidos, as opções técnicas de tratamento de efluentes, abordadas neste tópico, não pretendem esgotar a matéria no que se refere às inúmeras formas de tratamento de efluentes disponíveis na literatura. Serão descritas apenas as tecnologias de tratamento de efluentes para as quais os métodos do IPCC, (2000 e 2006), apresentam dados e/ou orientações para o cálculo de emissões de GEE, onde se verifica a existência de *default* e, portanto, fatores de emissões pré-estabelecidos para cada tipo de tecnologia de tratamento de efluentes.

O modelo desenvolvido para a definição das quantidades de GEE que podem ser mitigadas e os recursos adicionais para o fomento ao Cenário de Baixo Carbono é descrito a seguir. O modelo aplica o método do IPCC (2000) para estimar as emissões de GEE. São identificadas as atividades de tratamento e disposição de resíduos e efluentes que podem gerar esses gases.

Águas residuárias são divididas em esgotos domésticos e efluentes industriais. Da mesma forma, o modelo considera as fontes de emissão de GEE pelo tratamento de efluentes, descritas pela Figura 33, que também podem ser diferenciadas por tipo de tratamento e por tipo de gás de efeito estufa. Neste Cenário, as tecnologias de tratamento contempladas podem ser observadas resumidamente a seguir.

Figura 33 - Fontes de emissão de GEE pelo tratamento de efluentes

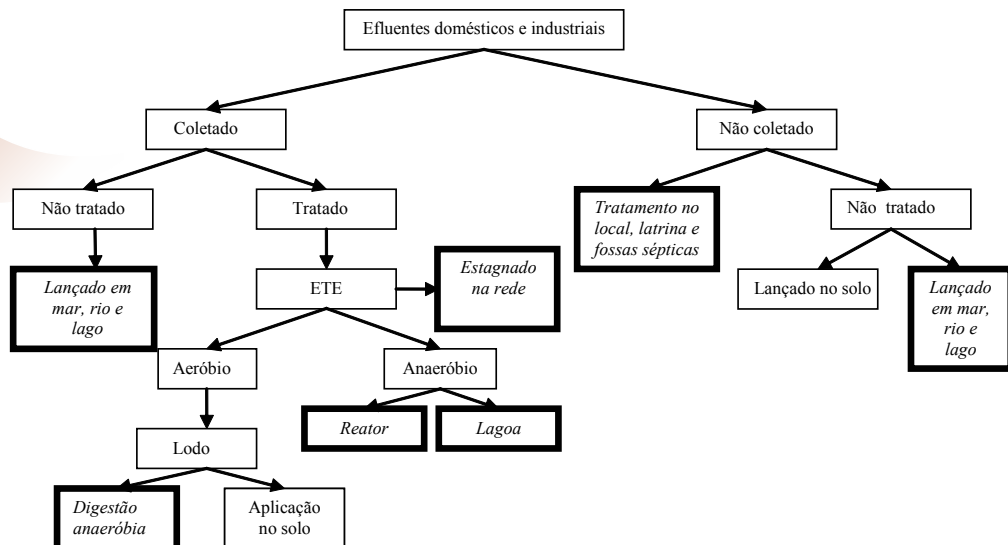


Fonte: Elaborado pelo autor

4.1. Modos de tratamento

Os tipos de tratamento anaeróbico de efluentes previstos pelo IPCC (2000) são listados na Figura 34:

Figura 34 - Fontes de esgotos e efluentes, sistemas de tratamento e emissões potenciais de CH_4



Nota: O texto em itálico e o quadro em negrito indicam uma possível fonte de emissão de CH_4

Fonte: IPCC, 2000.

4.1.1. Lagoa anaeróbia

As lagoas anaeróbias constituem-se em uma forma alternativa de tratamento, onde a existência de condições de respiração anaeróbia é essencial. Estes sistemas têm sido utilizados como tratamento primário em esgotos e efluentes industriais, predominantemente orgânicos, com altos teores de DBO, como frigoríficos, laticínios, bebidas, papel e celulose.

As lagoas anaeróbias são usualmente profundas, ou seja, profundidade superior a 2m, e são utilizadas seguidas de sistemas aeróbios, como lagoas facultativas (sistema australiano) ou filtros biológicos, além dos lodos ativados. O tempo de detenção varia entre 3 a 6 dias e a carga volumétrica entre 0,1 a 0,3 kgDBO/m³.dia (VON SPERLING, 1998).

4.1.2. Digestor anaeróbio

Os digestores anaeróbios de lodo são utilizados principalmente para estabilização de lodos primários e secundários, oriundos de tratamento de esgotos e, também, para o tratamento de efluentes industriais com elevada concentração de sólidos suspensos. Usualmente são constituídos por tanques circulares cobertos, em concreto armado, com diâmetros variando de 6 a 38m e profundidades entre 7 e 14m. Dependendo da existência de dispositivos de mistura e do número de estágios, três configurações principais de digestores têm sido aplicadas: (1) digestor anaeróbio de baixa carga; (2) digestor anaeróbio de um estágio e alta carga; (3) digestor anaeróbio de dois estágios e alta carga (CHERNICHARO, 2000).

4.1.3. Reator anaeróbio

Os reatores anaeróbios são utilizados para tratamento primário de esgotos e efluentes industriais específicos, ou seja, predominantemente orgânicos, com altos teores de DBO, como

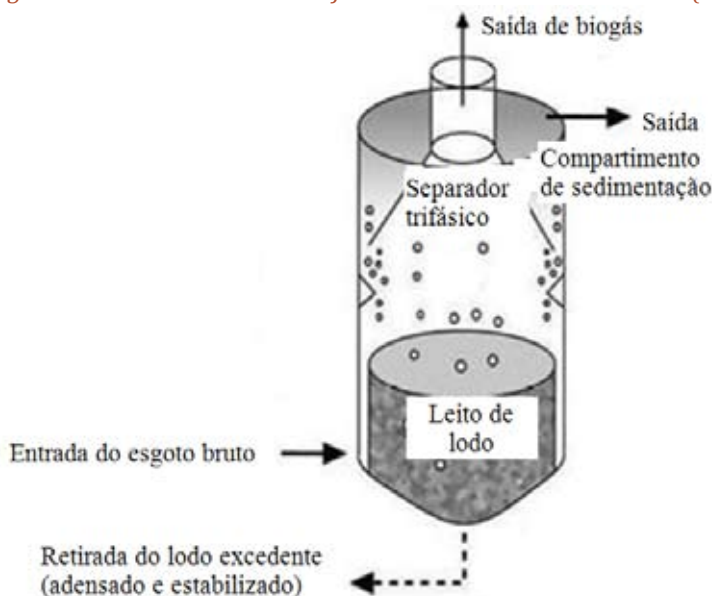
efluentes de frigoríficos, de laticínios, de indústrias de bebidas, de papel e celulose.

Existem diversas configurações de reatores anaeróbios, podendo-se destacar os reatores anaeróbios de leito: fixo (filtros anaeróbios), rotatório (biodisco anaeróbio), expandido e fluidizado. Os reatores anaeróbios de leito fluidizado (Ralf) têm um processo de tratamento anaeróbio de crescimento bacteriano aderido com materiais de suporte, criando um biofilme uniforme ao redor de cada partícula ou material de suporte com cargas volumétricas elevadas entre 20 e 30 kgDQO/m³.

57

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (Rafa) atualmente são os mais utilizados onde o processo consiste de um fluxo hidráulico ascendente de esgotos através de um leito de lodo denso e de elevada atividade bacteriana com crescimento disperso no meio. A estabilização da matéria orgânica ocorre em todas as zonas de reação (leito e manta de lodo), sendo a mistura do sistema promovida pelo fluxo ascensional do esgoto e das bolhas de gás. O esgoto entra pelo fundo do sistema e o efluente deixa o reator através de um decantador interno localizado na parte superior do reator. Um dispositivo de separação de gases e sólidos, localizado abaixo do decantador, garante as condições para a sedimentação das partículas que se desgarram da manta de lodo, permitindo que estas retornem à câmara de digestão, ao invés de serem arrastadas para fora do sistema. Portanto, existe a geração do biogás conforme mostra a Figura 35.

Figura 35 - Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo (Rafa).



Fonte: Chernicharo, 2000.

4.2. Cenário de Referência – Tratamento de esgotos e efluentes

O Cenário de Referência de tratamento de esgotos e efluentes foi estimado com as mesmas considerações e premissas de crescimento populacional citadas no item 3.2.1 Resíduos sólidos urbanos do capítulo sobre Tratamento de resíduos sólidos deste documento.

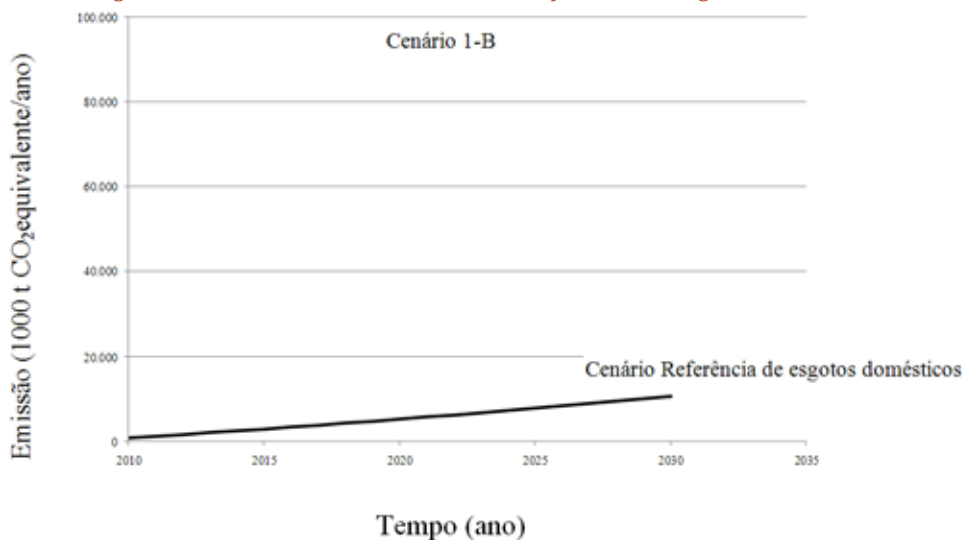
Da mesma forma, todavia com muito mais simplicidade, definiram-se os Cenários de Referência dos setores de esgotos e efluentes. A geração da carga orgânica nos esgotos pelo ser humano é uma característica que sofre poucas mudanças com a variação da renda ou região. As variáveis que interferem neste processo são, no caso do Brasil, a taxa de coleta, o tipo de tecnologia empregada

para tratamento do esgoto coletado e o emprego ou não de recursos de contenção e destruição do CH_4 gerado pelos processos anaeróbios. Já a geração de carga orgânica nos efluentes gerados pelos processos industriais variam sem que se possa definir um modelo que represente essa variação no tempo ou por aplicação tecnológica. Cada caso tem suas peculiaridades e não é possível, com o nível de informações de que se dispõe atualmente, definir um modelo matemático que permita simular as variações tecnológicas e seus potenciais de geração de carga orgânica ou CH_4 pelo processo de tratamento que pode acompanhar o processo produtivo. Os Cenários 1-B e 1-C, que podem ser observados na Figura 36 e na Figura 37, representam os Cenários de Referência dos setores de tratamento de esgotos domésticos e efluentes industriais, respectivamente.

4.2.1. Esgotos domésticos

O Cenário de Referência, representado pela Figura 36, reflete a implantação dos planos de saneamento básico do Governo Federal com a universalização dos serviços de coleta e tratamento dos esgotos até 2030. Em 2010 os indicadores de coleta giram em torno de 50% e os índices de tratamento dos esgotos, não superam os 10% da fração coletada (PNSB, 2000). Ao mesmo tempo, mantém-se a expectativa de aumento populacional, constituindo este o Cenário de Referência do presente estudo. Destaca-se que a expansão dos serviços de tratamento foi concebida visando a concepção tecnológica combinada com tecnologia de reatores anaeróbios procedido de sistemas de lodos ativados para o tratamento dos esgotos. Isso significa que 33% da carga orgânica deve ser removida por processo aeróbio e os demais 67% por processo anaeróbio em reator de lodos. O lodo de ambos os processos, uma vez estabilizado é encaminhado aos aterros sanitários para disposição final. Assim se estimam as emissões desse Cenário de Referência.

Figura 36 - Cenário de 1-B ou Cenário de Referência de esgotos domésticos



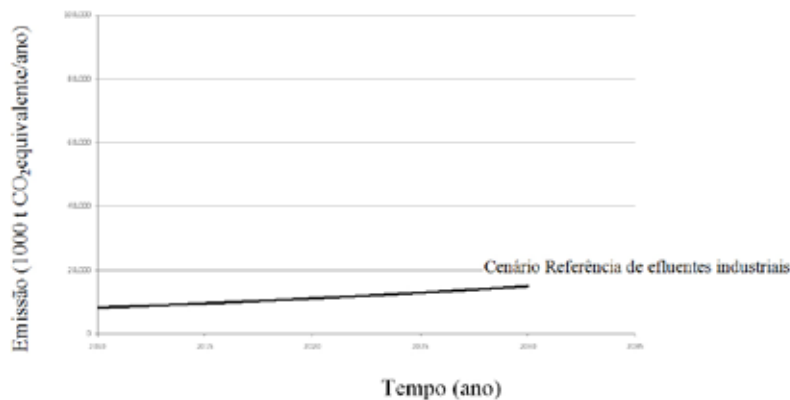
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2. Efluentes industriais

Para o tratamento de efluente industrial, a carga orgânica nos efluentes varia consideravelmente, dependendo do setor de atuação da empresa. Setores como alimentos e bebidas já queimam o CH_4 do biogás nos tratamentos anaeróbios desde a década de 1980.

O Cenário de Referência, representado na Figura 37, reflete a continuidade da geração e queima do CH_4 no efluente industrial com índices de tratamento anaeróbio em torno de 20% (PNSB, 2000).

Figura 37 - Cenário de 1-C ou Cenário de Referência de efluentes industriais

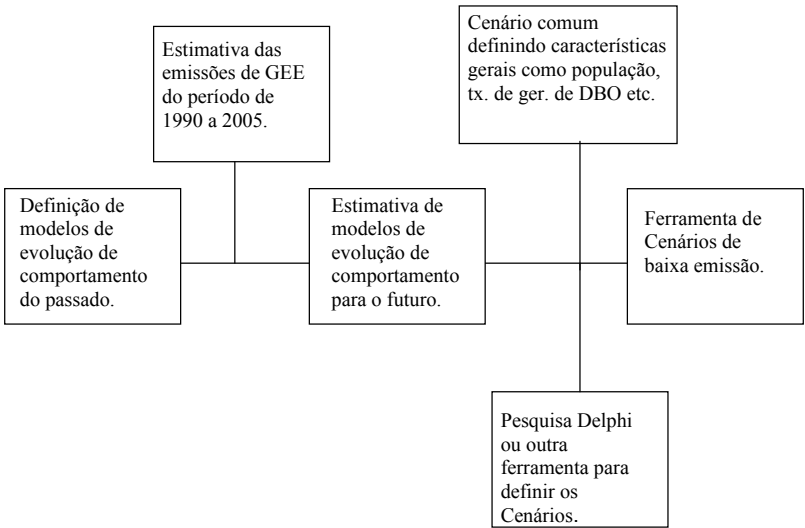


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3. Métodos de cálculo

A elaboração do “Cenário de baixas emissões de GEE do ano de 2030” pelo tratamento de efluentes empregou o método internacional de inventário do IPCC (2000) e o método descrito a seguir para a definição do Cenário de baixas emissões. Este segundo método foi adaptado e aplicado como descrito na Figura 38.

Figura 38 - Estratégia geral de elaboração do Cenário 2030 das emissões de GEE pelo tratamento de efluentes.



Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser observado na Figura 38, o Cenário 2030 tem início com a definição de modelos de evolução de comportamento relevantes para o estudo do passado recente. Esses modelos são regressões, na maioria lineares, da evolução da taxa de geração de carga orgânica por habitante, tecnologias de tratamento de efluentes, etc.

Definidos esses modelos, as alternativas possíveis de evolução são consideradas e avaliadas quanto à possibilidade de ocorrência no Cenário em estudo.

4.2.4. Estimativa de emissões de GEE pelo tratamento esgotos e efluentes

O método empregado para a estimativa das emissões de GEE pelo tratamento de resíduos e efluentes do Cenário 2030 é o mesmo empregado para a elaboração do Relatório de Referência das emissões de GEE do setor de resíduos e que compõe a Comunicação Nacional. Para a obtenção de tal estimativa empregou-se o método do IPCC (2000).

O Cenário inclui a estimativa das emissões de CH₄ da degradação anaeróbica da carga orgânica que ocorre em ETE com processos anaeróbios de Reatores e Lagoas, ETE com processo aeróbio e anaeróbio, como os processos que incluem a digestão anaeróbica de lodo. Não foram estimadas as emissões geradas pela degradação anaeróbica da carga orgânica que ocorre em mar, rios e lagos, assim como os processos identificados como tratamento no local, como as latrinas e fossas sépticas.

A seguir, são descritos os modelos empregados para a estimativa das emissões de GEE, adotados do IPCC (2000) e empregados nesse Cenário.

Equação 10 – Estimativa de emissão de CH₄ por tratamento anaeróbio de esgotos e efluentes

$$\text{Emissões} = TOW \cdot EF - R$$

onde:

<i>Emissões</i>	= Quantidade de CH ₄ gerada ao ano	[GgCH ₄ /ano]
<i>TOW</i>	= Esgoto ou efluente orgânico total	[kgDBO/ano]
<i>TOW_{dom}</i>	= Esgoto doméstico orgânico total	[kgDBO/ano]
<i>TOW_{ind}</i>	= Efluente industrial orgânico total	[kgDBO/ano]

Equação 11 - Estimativa do esgoto e efluente orgânico total

$$TOW_{dom} = P \cdot D_{dom}$$

onde:

<i>P</i>	= População ⁵	[1.000 pessoas]
<i>D_{dom}</i>	= Componente orgânico degradável do esgoto doméstico	[kgDBO/1.000pessoas.ano]

Equação 12 - Estimativa do esgoto e efluente orgânico total

$$TOW_{ind} = Prod \cdot D_{ind}$$

<i>Prod</i>	= Produção industrial	[produto/ano]
<i>D_{ind}</i>	= Componente orgânico degradável do efluente industrial	[kgDBO/produto] ou [kgDQO/produto]

Equação 13 – Estimativa do Fator de emissão para esgotos e efluentes

$$EF = B_0 \cdot \text{Média ponderada dos MCF}$$

onde:

<i>B₀</i>	= Capacidade máxima de produção de CH ₄	[kgCH ₄ /kgDBO] ou [kgCH ₄ /kgDQO]
----------------------	--	--

Equação 14 – Média ponderada dos MCF

$$\text{Média ponderada dos MCF}_i = \sum_x (B'_{i,x} \cdot MCF_x)$$

⁵ Para os fins deste inventario, foi considerada a população urbana.

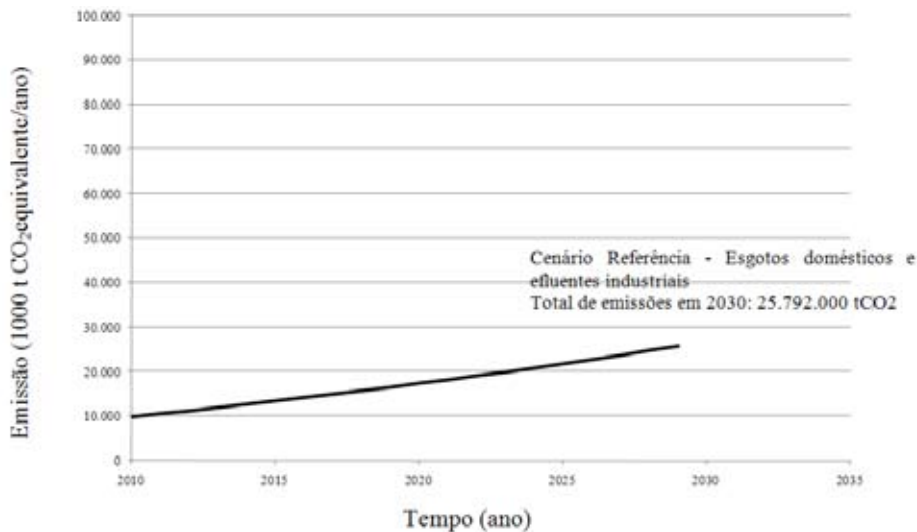
onde:

<i>Média ponderada dos MCF</i>	<i>= Fração de DBO que degrada anaerobiamente</i>	<i>[adimensional]</i>
<i>WS_{i,x}</i>	<i>= Fração de esgoto ou efluente do tipo “i” tratada usando o sistema “x”</i>	<i>[adimensional]</i>
<i>MCF_x</i>	<i>= Fator de conversão de CH₄ do sistema “x” tratando o esgoto ou efluente “i”</i>	<i>[adimensional]</i>
<i>R</i>	<i>= Recuperação do CH₄</i>	<i>[GgCH₄/ano]</i>

4.2.5. Resultados

O Cenário de Referência das emissões do tratamento de esgotos domésticos e efluentes industriais é representado pela Figura 39. O total das emissões aumentou de 9.174.000 em 2010 para 25.792.000 tCO₂e em 2030.

Figura 39 – Cenário de Referência das emissões pelo tratado de esgotos domésticos e efluentes industriais



Fonte: Elaborado pelo autor.

A 9 resume a evolução das emissões de 2010 a 2030 em 1.000tCO₂e, que nesse período quase que triplicam.

Tabela 9 - Emissões do Cenário de Referência devidas o tratamento de esgotos domésticos e efluentes industriais

Ano	Emissões pelo tratamento de esgotos domésticos e industriais (1.000tCO ₂ e)
2010	9.174
2015	12.612
2020	16.505
2025	20.886
2030	25.792

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.6. Incertezas (esgotos e efluentes)

A incerteza da estimativa das emissões de GEE do setor de esgotos é da ordem de 42% e do setor de efluentes é da ordem de 63%. Ambas são definidas pelo método do IPCC (2000) de acordo com os dados *default* reproduzidos na Tabela 10 e Tabela 11.

Tabela 10 – Incertezas das estimativas do setor de efluentes domésticos

Estimativas das incertezas associadas com os <i>default</i> e parâmetros para a emissão de CH ₄ nos sistemas de tratamento de efluentes domésticos.	
Dados de emissões e fatores de emissão	Incertezas
População humana	± 5% Empregado nessa estimativa: 5%
DQO/pessoa	±30% Empregado nessa estimativa: 30%
Capacidade máxima de produção de CH ₄ (B ₀)	±30% Empregado nessa estimativa: 30%
Fração tratada anaerobiamente	A incerteza deve ser determinada por julgamento de especialistas, respeitando o fato de que isto é uma fração e incertezas não podem estar fora do intervalo de 0 a 1.

Fonte: Adaptado IPCC (2000).

Tabela 11 – Incertezas das estimativas do setor de efluentes industriais

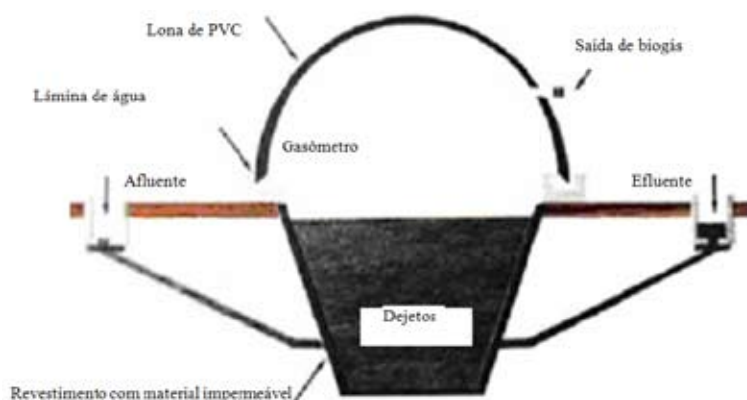
Estimativas das incertezas associadas com os <i>default</i> e parâmetros para a emissão de CH ₄ nos sistemas de tratamento de efluentes industriais.	
Dados de emissões e fatores de emissão	Incertezas
Produção industrial	± 25%. Usar julgamento de especialistas atentando para a qualidade da fonte de dados para a determinação de intervalos de incerteza mais exatos. Empregado nessa estimativa: 25%
Efluente/unidade produtiva DQO/unidade de efluente	Estes dados podem ser bastante incertos, uma vez que o mesmo setor pode usar diferentes procedimentos de tratamento de efluentes, em diferentes países. O produto dos parâmetros deve possuir menor incerteza. O dado de incerteza pode ser atribuído diretamente a kg DQO/t de produto. -50%, 100% é sugerido. Empregado nessa estimativa: 50%
Capacidade máxima de produção de CH ₄ (B ₀)	±30% Empregado nessa estimativa: 30%
Fração tratada anaerobiamente	A incerteza deve ser determinada por julgamento de especialistas, respeitando o fato de que isto é uma fração e incertezas não podem estar fora do intervalo de 0 a 1.

Fonte: Adaptado IPCC (2000).

4.3. Opções de mitigação

Nas lagoas anaeróbias para tratamento de efluentes líquidos, uma prática comum é a cobertura desse sistema com manta de PVC ou PEAD para conter os gases emitidos e promover a coleta e queima do CH_4 . Todavia, este sistema tem apresentado baixa eficiência de captação de biogás (< 30%) proporcionando a fuga de gases em termos operacionais. Diversas atividades de projeto de CDM no setor privado, em indústrias com alta taxa de carga orgânica, têm sido objeto de validação e registro na UNFCCC. A Figura 40 representa uma lagoa anaeróbia com o sistema de coleta de biogás fabricado com manta de lona de PVC.

Figura 40 - Lagoas anaeróbia com coleta do biogás



Fonte: ECOINVEST, 2006

Os reatores anaeróbios de efluentes líquidos, digestores anaeróbios de lodo e digestores anaeróbios de resíduos, em geral, necessitam de sistemas de coleta de biogás. Esses sistemas são formados pelos seguintes componentes:

1. Tubulações de captação no topo de cada sistema de digestão anaeróbia;
2. Válvulas de alívio de pressão e vácuo;
3. Coletor de gás de lagoas, digestores e/ou reatores até o queimador;
4. Vasos de selagem;
5. Separador de sedimentos;
6. Corta-chamas;
7. Instrumentos e controles;
8. Queimador aberto e/ou enclausurado e
9. Queimador elevado.

A tubulação de captação coleta o gás no topo dos sistemas de digestão anaeróbia e deve possuir luvas conectadas que permitam a instalação de um manômetro para eventuais verificações. O material dos coletores pode ser de PVC, PP ou PAD ou material metálico.

Na saída do biogás de cada sistema de digestão deve ser instalado um vaso de selagem dimensionado para permitir a passagem de gás numa única direção, impossibilitando assim a interligação das fases gasosas. O vaso deverá ser instalado no topo de cada sistema, sendo feito em aço inoxidável. Para eliminar espuma¹², sedimentos e materiais que possam ser arrastados

¹² Escuma: camada de gordura que se forma e flutua no sistema de tratamento de esgotos e efluentes.

pelo biogás, deve ser prevista a instalação de um separador de sedimentos no coletor principal, o qual deve incluir um sifão, uma válvula de dreno e um visor de nível. Esse sistema deve ser fabricado totalmente em aço inoxidável.

Após o separador de sedimento, o biogás deve escoar para uma área onde é efetuada sua combustão. O coletor deverá ser totalmente aéreo, com inclinação para o separador ou vaso de selagem do queimador, e não deve possuir pontos baixos que possibilitem o acúmulo de condensado.

O queimador mais eficiente em termos de destruição do H_2S , NH_3 , mercaptanas, compostos orgânicos voláteis e CH_4 é o do tipo enclausurado. Nele, a combustão ocorre numa câmara fechada, isolada termicamente e em condições controladas de temperatura. Ao manter uma temperatura de combustão constante e superior a 800°C (mediante o controle da entrada de ar em excesso) e tempo de residência superior a 0,5 segundo, todos os compostos são convertidos em óxidos correspondentes e água, eliminando dessa maneira o mau cheiro que caracteriza alguns deles. A eficiência de destruição usualmente excede os 99%, razão pela qual este tipo de queimador é o preferido nos projetos de CDM.

4.3.1. Outros benefícios

A sugestão do Cenário de Baixo Carbono deste estudo implica em benefícios econômicos, ambientais, sanitários e sociais que podem ser observados por esse Cenário e também pelas outras diferentes práticas de gestão de efluentes. A seguir, são enumerados alguns benefícios que podem ser proporcionados por essas práticas que não compõem esse Cenário de Baixo Carbono, mas que devem ser adotados simultaneamente ao Cenário de Baixo Carbono. As práticas descritas a seguir já foram abordadas no item 3.3.4 Outros benefícios. Dessa forma, serão apresentados apenas os benefícios relativos à gestão de esgotos e efluentes.

A expansão dos serviços de esgotamento se reflete diretamente na saúde da população, podendo ser citado o fato de que melhorias nestes sistemas evitam a disseminação de vetores que causam doenças, diminuindo as externalidades. Destinar os esgotos e efluentes para sistemas de tratamento preserva a qualidade dos mananciais que abastecem à população.

O aperfeiçoamento da operação dos sistemas de tratamento de efluentes visa o desenvolvimento de melhores técnicas, que proporcionem um tratamento do esgoto cada vez mais eficiente e seguro.

A redução de geração na fonte. O aumento da geração de efluentes requer a construção de novas instalações de tratamento ou a ampliação da capacidade operacional das existentes, o que demanda um elevado investimento, público e privado. É preferível investir na redução de geração na fonte, prática esta que beneficia tanto os sistemas de tratamento, acarretando menores custos operacionais, quanto a qualidade dos mananciais, uma vez que reduz a quantidade do efluente tratado a ser lançado nos mesmos.

O reúso da água: segundo Mierzwa e Hespagnol (2005), algumas atividades toleram água com grau inferior ao da potável ou daquela utilizada em muitos processos industriais. Neste contexto, o reúso de água aparece como uma prática de gestão importante para reduzir a pressão sobre os recursos hídricos, mas que deve ser adotada juntamente com a abordagem de redução de geração na fonte. O uso de efluentes tratados ou não para fins como irrigação, uso industrial e fins urbanos não potáveis é um dos componentes do gerenciamento de águas e efluentes e é um instrumento para a preservação dos recursos naturais e controle da poluição (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

A geração de energia com o CH_4 recuperado pode ser também aplicável a sistemas de tratamento de efluentes.

4.4. Cenário de Baixo Carbono – Tratamento de esgotos e efluentes

O Cenário de Baixo Carbono do setor de tratamento de esgotos e efluentes considera a hipótese de aumento das taxas de coleta e tratamento anaeróbico com a respectiva e proporcional instalação de sistemas de coleta e queima do CH_4 gerado. A escolha da tecnologia de tratamento de esgotos e efluentes é feita considerando-se critérios ambientais, técnicos, operacionais e econômicos. Além da tecnologia anaeróbia, os processos aeróbios ou a combinação das tecnologias anaeróbia e aeróbia também podem ser empregados para ao tratamento de esgotos e efluentes.

Como é de amplo conhecimento, a geração de biogás pelo tratamento de esgotos e efluentes só ocorre nos processos anaeróbios. Os processos aeróbios não incluem as bactérias metanogênicas e, dessa forma, não emitem o CH_4 do biogás.

Portanto, foram descartadas outras possíveis tecnologias, diferentes da anaeróbia, porque essas não implicam em emissões relevantes de gases de efeito estufa e não são consideradas pelo método do IPCC (2000).

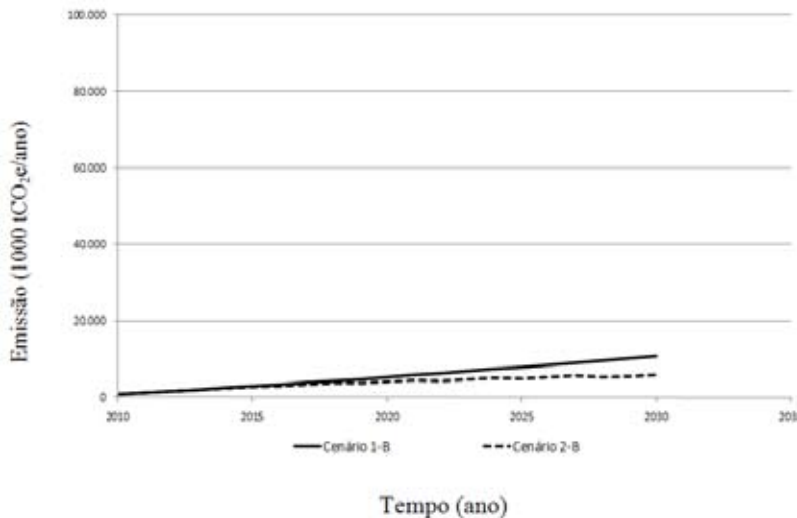
Assim, o Cenário de Referência do setor de esgotos domésticos (1-B) é mostrado na Figura 36 e o Cenário de Referência do setor de efluentes industriais (1-C) é mostrado na Figura 37. A seguir, o Cenário de Baixo Carbono do setor de esgotos domésticos (3-B) é mostrado na Figura 43 e o Cenário de Baixo Carbono do setor de efluentes industriais (3-C) é mostrado na Figura 44. Os Cenários de Baixo Carbono materializam a implantação do tratamento anaeróbico com captura e queima de 100% do CH_4 gerado, o que resulta na elevação das quantidades tratadas com completo abatimento das emissões.

Cenário de Baixo Carbono de esgotos domésticos

O Cenário de Baixo Carbono do setor de tratamento de esgotos domésticos considera a manutenção das premissas do Cenário de Referência, que é a hipótese de universalização, até o ano de 2030 dos serviços de coleta e tratamento dos esgotos domésticos elevando para 100% ambos indicadores: de coleta e tratamento. Além da manutenção do Cenário de Referência, o Cenário de Baixo Carbono trata da mesma situação, apenas com a inclusão de sistemas de coleta e queima do biogás gerado.

No Cenário 2-B são mantidas as premissas do Cenário de Referência. Além da manutenção do Cenário de Referência o Cenário 2-B inclui sistemas de coleta e queima do biogás na ordem de 50% dos sistemas instalados. A eficiência de queima dos queimadores é de 90% de queima do metano (Figura 41).

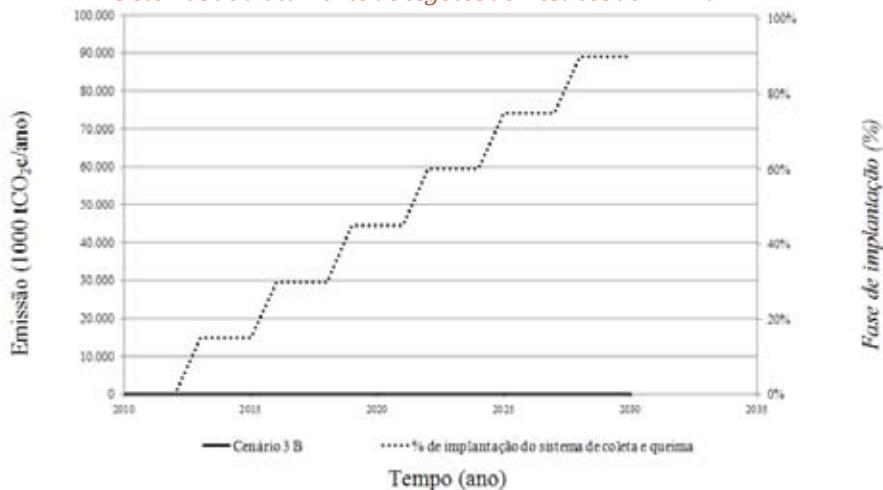
Figura 41 - Cenário 2-B: intermediário onde o Cenário de Referência é mantido e sistemas de coleta e queima de biogás são instalados progressivamente em 50% das instalações de tratamento de esgotos. Essas instalações iniciam em 0% em 2010 atingindo 50% em 2030. A eficiência de queima dos queimadores é de 90%.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Cenário 3-B, (de Baixo Carbono), que reproduz o Cenário de Referência, com a universalização dos serviços de coleta e tratamento dos esgotos domésticos, incluindo a instalação de sistemas de coleta e queima do biogás com eficiência de 90% de queima em todos os sistemas de tratamento de esgotos. A eficiência estimada dos sistemas de coleta e queima do biogás é de 90%, limitando assim, em 90% a redução que se implanta progressivamente desde 0% em 2010 até 100% em 2030. Anexo ao digestor anaeróbico de lodos está presente um queimador que opera com eficiência de queima em torno de 90% do metano. Isso implica uma emissão residual de 10% do total de metano emitido no Cenário de Referência. Este é o Cenário de Baixo Carbono para o setor de esgotos domésticos (Figura 42).

Figura 42 - Cenário 3-B: Coleta e queima do biogás gerado em parte dos sistemas de tratamento de esgotos domésticos de 2010 a 2030



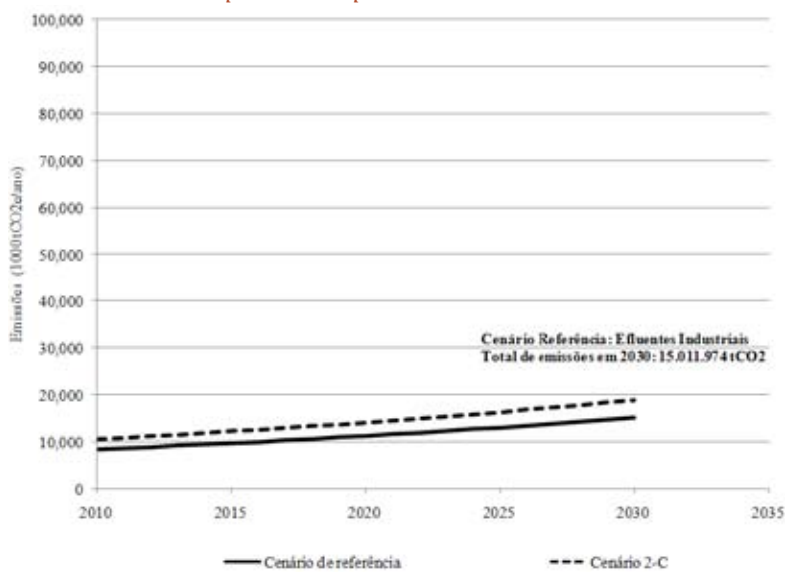
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.1. Cenário de Baixo Carbono de efluentes industriais

O Cenário de Baixo Carbono do setor de tratamento de efluentes industriais considera a manutenção das premissas do Cenário de Referência, levando-se o crescimento da produção industrial em 3% a.a. até o ano de 2030 com fração de tratamento de efluentes industriais em 50% pelo sistema anaeróbico. Além da manutenção do Cenário de Referência, o Cenário de Baixo Carbono trata da mesma situação, apenas com a inclusão de sistemas de coleta e queima do biogás gerado na ordem de 50% de queima de biogás.

No Cenário 2-C (Figura 43) são mantidas as premissas do Cenário de Referência. Além da manutenção do Cenário de Referência o Cenário 2-C inclui sistemas de coleta e queima do biogás na ordem de 50% dos sistemas instalados. A eficiência de queima dos queimadores é de 90% de queima do metano.

Figura 43 - Cenário 2-C: intermediário onde o Cenário de Referência é mantido e sistemas de coleta e queima de biogás são instalados progressivamente em 50% das instalações de tratamento de esgotos. Essas instalações iniciam em 20% em 2010 atingindo 100% em 2030. A eficiência de queima dos queimadores é de 90%.



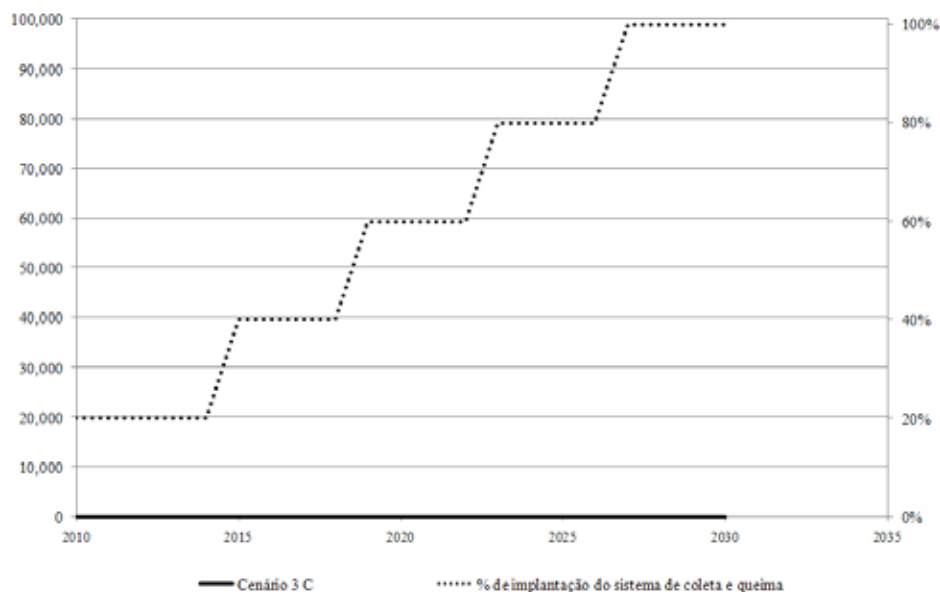
No cenário 2-C, que pode ser interpretado para qualquer fração de esgoto tratado pelo processo anaeróbico, 100 por cento do CH₄ gerado é destruído.

O cenário 3-C (Figura 44) representa o cenário de baixo carbono do setor de efluentes industriais. Este cenário pressupõe a instalação de sistemas de digestão anaeróbica com a captura e queima de CH₄. A instalação destes sistemas aumenta por um fator de 20 por cento até 2014, 40 por cento entre 2015 e 2018, 60 por cento entre 2019 e 2022, 80 por cento até 2026 e, finalmente, 100 por cento em 2030.

No cenário 3-C as premissas do Cenário de Referência são mantidas. Além da manutenção do Cenário de Referência, incluindo a instalação de sistemas de coleta e queima do biogás com eficiência de 100% de queima do gás gerado. Anexo ao digestor anaeróbico de lodos está presente um queimador que opera com eficiência de queima em torno de 90% do metano.

O primeiro Cenário de Baixo Carbono simulado para o setor de efluentes industriais sugere um aumento significativo nas emissões de CH₄.

Figura 44 - Cenário 3-B: Coleta e queima do biogás gerado em parte dos sistemas de tratamento de efluentes industriais de 2010 a 2030



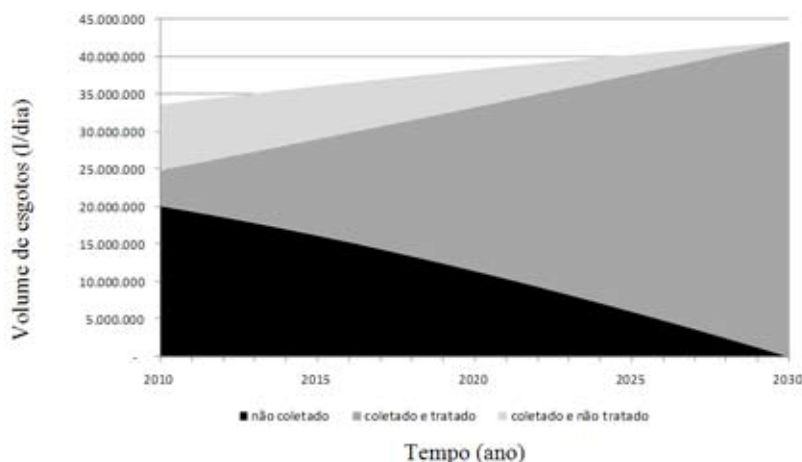
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2. Consolidação

O Cenário de Referência para o setor de esgotos e efluentes leva em conta a realidade do país em 2007, retratada por publicações do IBGE, Ministério do Meio Ambiente e Ministério das Cidades e faz algumas considerações para o período entre 2010 e 2030 que se acredita sejam as mais prováveis e que, portanto, devem representar com maior fidelidade o Cenário de Referência para o ano de 2030 nesse setor.

De acordo com a PNSB do IBGE (2000), cerca de 60% do esgoto não é coletado, sendo lançado diretamente nos corpos de água ou tratados em sistemas como fossas ou latrinas. Os demais 40% do esgoto são coletados. Todavia, apenas 14% são tratados e esses tratamentos podem ser divididos em processos aeróbios ou anaeróbios. Observando a (Política Nacional de Saneamento) PLANSAB, o (Plano de Aceleração do Crescimento) PAC Saneamento e as demais diretrizes estabelecidas no final da primeira década do século 21 pelo Governo Federal, considera-se que no período entre os anos de 2010 a 2030 deverá ocorrer a universalização dos serviços de coleta e tratamento dos esgotos domésticos, o que implica na coleta e tratamento de 100% dos esgotos gerados nas áreas urbanas do país. Sendo esse o Cenário de Referência. O Cenário de Baixo Carbono, inclui ao Cenário de Referência a coleta e queima do metano com eficiência de 90%. A 5 representa o Cenário de Baixo Carbono que mantém o Cenário de Referência, alterando a quantidade de metano emitido.

Figura 45 - Distribuição dos sistemas de tratamento de esgotos domésticos no Cenário de Baixo Carbono

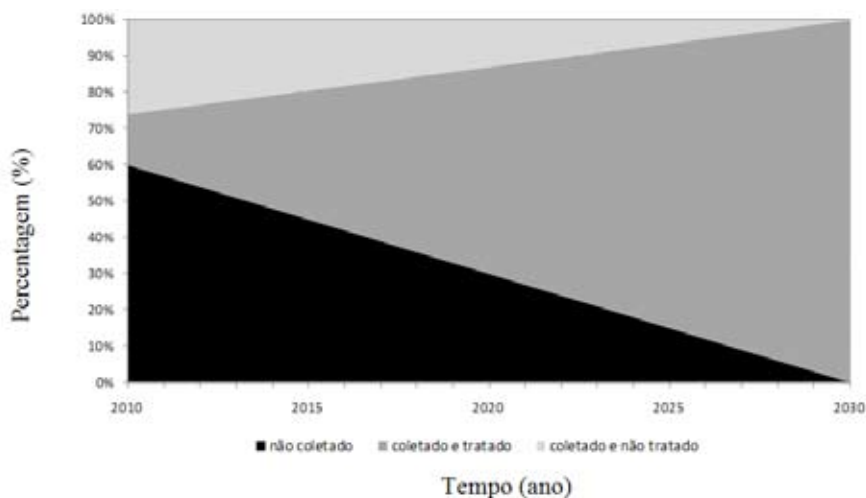


Fonte: Elaborado pelo autor.

O Cenário de Baixo Carbono do setor de esgotos e efluentes, representado na Figura 46, preserva todas as hipóteses adotadas no Cenário de Referência, com exceção da instalação nas estações de tratamento de esgotos dos sistemas de coleta e queima do biogás com eficiência de queima da ordem de 90%. Essas instalações serão implantadas progressivamente, saindo de 0% em 2010 e chegando a 100% em 2030.

Esse Cenário de Baixo Carbono não descarta, em nenhuma hipótese, as demais tecnologias de redução de emissões como a prática de educação ambiental visando a redução da geração na fonte e o reúso da água.

Figura 46 - Distribuição percentual dos sistemas de tratamento de esgotos domésticos no Cenário de Baixo Carbono

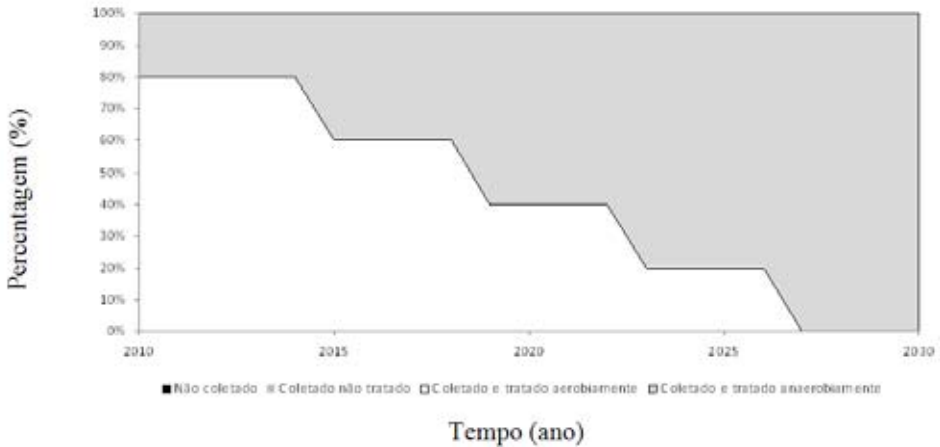


Fonte: Elaborado pelo autor.

O Cenário de Baixo Carbono do setor de efluentes industriais, a exemplo do que ocorre no levantamento de dados do setor materializado no Relatório de Referência das emissões nacionais

de GEE dessa atividade do período de 1990 a 2005, não inclui todas as atividades da economia. O método do IPCC (2000) recomenda que sejam eleitas três das principais atividades geradoras de carga orgânica e que sejam levantados dados apenas dessas atividades para a definição das emissões nacionais. Da mesma forma, considerou-se que, por força de lei, todo efluente gerado é tratado por processo aeróbio ou anaeróbio. Assim, enquanto o Cenário de Referência é representado por processos aeróbios e anaeróbios sempre com coleta e queima de biogás, o Cenário de Baixo Carbono apenas sugere a ampliação da prática de tratamento por processo anaeróbio com coleta e queima do biogás. Não implicando em aumento ou redução das emissões de GEE, uma vez que, de acordo com a CETESB essas emissões de metano já não ocorrem hoje (Figura 47).

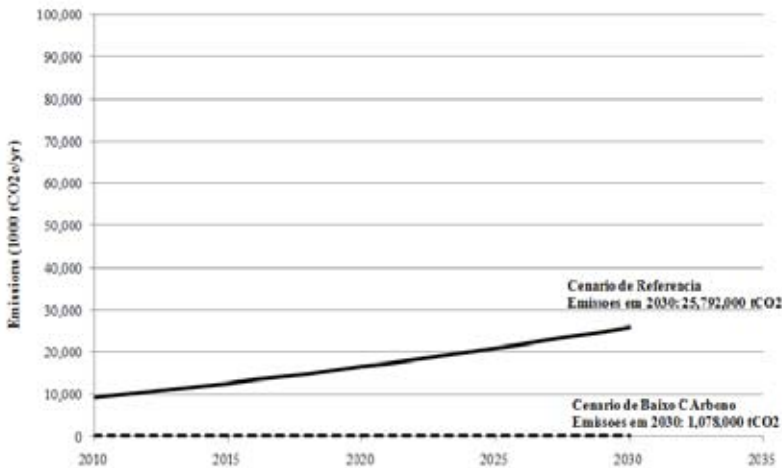
Figura 47 - Distribuição percentual dos sistemas de tratamento de efluentes industriais no



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Cenário de Referência do setor de esgotos e efluentes é sumarizado e representado na Figura 48. O crescimento observado nas emissões do Cenário de Referência reflete apenas o crescimento da população e da economia do país. A implantação do Cenário de Baixo Carbono tem como consequência a redução das emissões devidas ao tratamento anaeróbio de esgotos domésticos e da recuperação e queima do CH₄ gerado por essa prática.

Figura 48 - Cenário de Baixo Carbono pelo tratamento de esgotos e efluentes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, as emissões observadas em 2010, podem cair para zero, mesmo com o aumento populacional e da atividade econômica.

4.4.3. Barreiras e propostas de superação

A seguir, na Tabela 11, estão resumidas as principais barreiras e ações de mitigação preventivas, corretivas e de governança do setor de saneamento ambiental para um Cenário de Baixo Carbono.

Tabela 12 - Barreiras e ações de mitigação para tratamento de efluentes

Ações de mitigação Barreiras	Preventivas	Corretivas	de Governança
Técnico-ambientais.			
Aplicação de técnicas em sistemas de coleta, queima, recuperação e/ou aproveitamento energético do CH ₄ .	Troca de experiências entre entidades especializadas e que operam sistemas afins (empresas privadas nacionais e internacionais, órgãos governamentais, ONGs etc.).	Execução de sistemas eficientes e eficazes, com vista à viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental.	Proposição de exigências técnicas nos órgãos e agências ambientais na execução e operação de sistemas afins nos procedimentos de licenciamento ambiental.
Econômico-jurídicas			
Incremento nos investimentos e recursos econômicos.	Adequação das concepções de sistemas de tratamento com geração de gases de efeito e fomento em sistemas de coleta, queima, recuperação e/ou aproveitamento energético do CH ₄ .	Incremento considerável no valor dos investimentos de forma sistemática ao longo dos próximos 20 anos.	Controle e fiscalização no fomento e aplicação de recursos econômicos afins em seus diversos programas e planos existentes.
Socioculturais	Promoção do reuso de água e técnicas de produção mais limpa visando a melhoria da capacidade de suporte dos corpos d'água.	Incremento considerável no controle de perda e racionalização no consumo de água visando empreendimentos sustentáveis.	Mecanismos de alteração com incentivo na tributação para empreendimentos que se utilizam de técnicas de reuso de água e produção mais limpa.

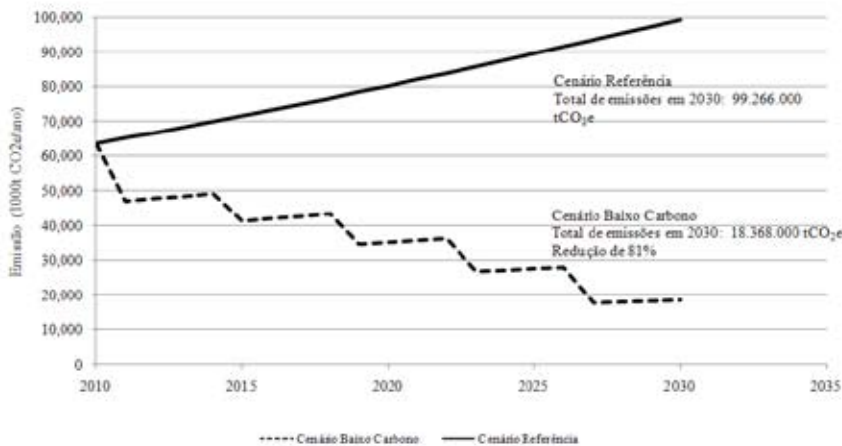
Fonte: Elaborado pelo autor.

5. Consolidação do Cenário de Baixo Carbono

5.1. Síntese do Cenário de Baixo Carbono

O Cenário de Baixo Carbono das emissões de GEE pelo tratamento de resíduos se materializa pela simples queima das emissões de CH₄ pelo tratamento anaeróbio do conteúdo orgânico dos resíduos urbanos, esgotos domésticos e efluentes industriais. Mantendo a prática de disposição de resíduos em aterros, as emissões de CO₂ pela incineração da parte fóssil dos resíduos urbanos e as emissões de N₂O pela incineração de resíduos urbanos também podem ser consideradas evitadas. Observando a Figura 19 deste documento, é possível observar a relevância das emissões de N₂O, principalmente, CO₂ devidas à emissão dos resíduos urbanos.

Figura 49 - Cenário de Baixo Carbono: emissões totais pelo tratamento de resíduos, esgotos e efluentes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 13 – Cenário de Baixo Carbono: emissões totais pelo tratamento de resíduos, esgotos e efluentes

Ano	Emissões totais pelo tratamento de resíduos, esgotos e efluentes	Emissões evitadas em relação ao Cenário de Referência
	(1000tCO ₂ e)	
2010	63.374	0
2015	46.894	24.451
2020	39.465	40.670
2025	30.034	59.462
2030	18.368	80.897

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Tabela 12, a prática de coleta e queima do CH₄ dos aterros e ETes, pode fazer

com que as emissões evitadas em 2030 cheguem a 3.400tCH_{4e} o que equivale a uma potência de 1,5GWe.

5.1.1. Resultados por Estados

A tabela 15 resume as emissões totais de GEE pelo tratamento de resíduos, esgotos e efluentes dos anos de 2010 e 2030. Em 2010, as emissões totais dos Estados da Região Norte equivalem a 2.212tCO_{2e} (4,80%); as emissões somadas dos Estados da Região Nordeste equivalem a 8.010tCO_{2e} (17,39%); as emissões somadas dos Estados da Região Centro-Oeste equivalem a 3.139tCO_{2e} (6,81%); as emissões somadas dos Estados da Região Sudeste equivalem a 29.255tCO_{2e} (63,50%) e da Região Sul a 3.454tCO_{2e} (7,50%). O Estado de São Paulo sozinho é responsável por 39,49% das emissões nacionais. Finalmente, as emissões dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais equivalem a 62,82% das emissões nacionais.

Tabela 14 - Cenário de Baixo Carbono - Emissões por Estado pelo tratamento de resíduos

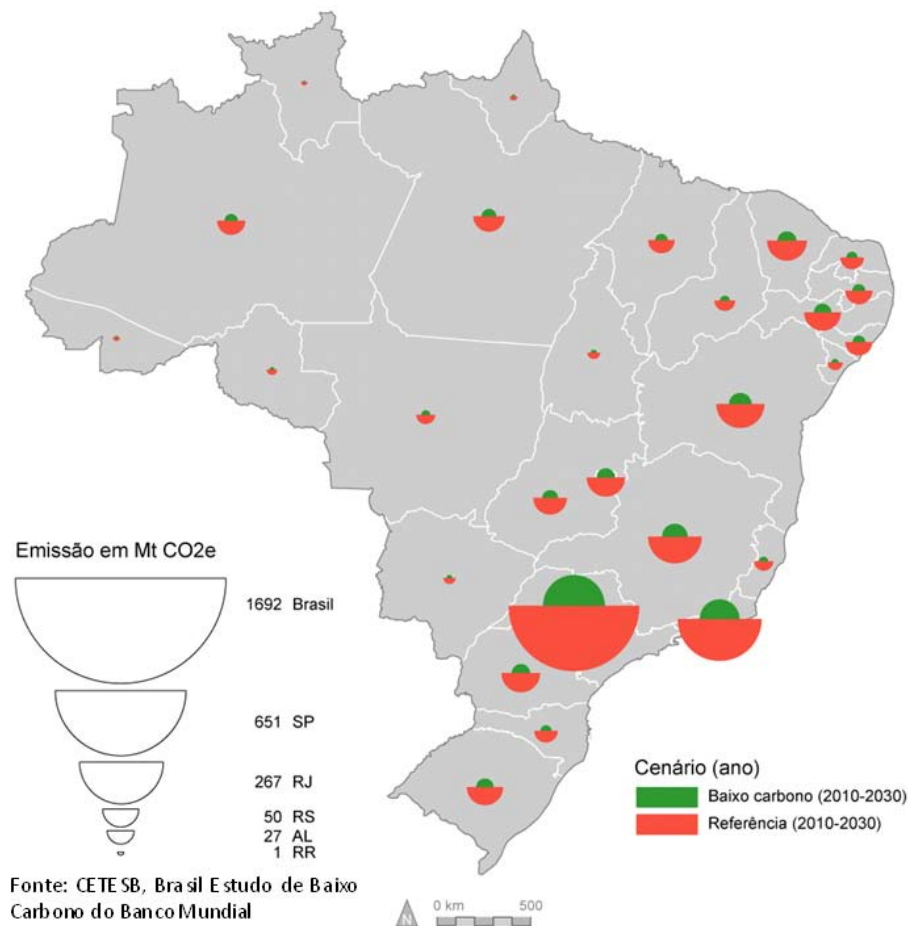
Estado	Emissões por Estado		Porcentagem de emissões	
	2010	2030	2010	2030
	(1000tCO _{2e})		(%)	
AC	52	25	0,1%	0,1%
AL	842	299	1,6%	1,6%
AM	986	315	1,8%	1,7%
AP	62	31	0,1%	0,2%
BA	2.484	1.016	4,6%	5,5%
CE	1.716	705	3,2%	3,8%
DF	1.763	601	3,3%	3,3%
ES	371	176	0,7%	1,0%
GO	1.329	461	2,5%	2,5%
MA	759	308	1,4%	1,7%
MG	3.628	1.160	6,7%	6,3%
MS	166	63	0,3%	0,3%
MT	435	141	0,8%	0,8%
PA	1.171	400	2,2%	2,2%
PB	853	316	1,6%	1,7%
PE	1.473	603	2,7%	3,3%
PI	462	187	0,9%	1,0%
PR	1.851	597	3,4%	3,2%
RJ	9.015	2.776	16,6%	15,1%
RN	592	245	1,1%	1,3%
RO	120	51	0,2%	0,3%
RR	36	19	0,1%	0,1%
RS	1.582	551	2,9%	3,0%
SC	630	231	1,2%	1,3%
SE	244	102	0,4%	0,6%
SP	21.405	6.918	39,5%	37,7%
TO	175	71	0,3%	0,4%
Total	54.200	18.368	100,0%	100,0%

Fonte: Elaborado pelo Autor

Finalmente, a Figura 50 mostra a redução das emissões de GEE desde o Cenário de Referencia ao Cenário de Baixo Carbono do tratamento de resíduos. Os Estados com maiores

emissões, destacados pela maior espessura da faixa de emissões são: São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Bahia.

Figura 50: Emissões totais (Mt CO₂e) de resíduos e efluentes domésticos e indústrias Cenário Referência e de Baixo Carbono, 2010-2030



5.2. Análise econômica

Como pode ser observado na Tabela 14 e de acordo com o Ministério das Cidades (2008), os municípios com população superior a 100.000 habitantes, os grandes municípios, as metrópoles e RM, são prioritários dentre os gastos públicos no setor de resíduos. A Tabela 16 resume esse entendimento quando observam-se os valores destinados pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) – Saneamento em 2007, que correspondem a, pelo menos, R\$ 40 bilhões entre 2007 e 2010.

Tabela 15 - Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) - Saneamento (2007)

Recursos Federais					
Modalidade		Comprometidos		Desembolsados	
		(R\$)	(%)	(R\$)	(%)
Abastecimento de água	Financiamento	1.356.682.425,97	25,96	570.331.986,50	28,79
	Orçamentário	1.302.562.980,27		445.539.053,57	
	Total	2.659.245.406,24		1.015.871.040,07	
Esgotamento sanitário	Financiamento	2.494.808.061,55	37,77	515.480.031,47	19,70
	Orçamentário	1.374.614.778,70		179.654.162,18	
	Total	3.869.422.840,25		695.134.193,65	
Drenagem urbana	Financiamento	725.272.894,66	9,15	54.048.762,42	6,84
	Orçamentário	211.676.587,17		187.237.245,59	
	Total	936.949.481,83		241.286.008,01	
RSU	Financiamento	17.664.400,00	0,86	25.373.699,61	1,72
	Orçamentário	70.214.971,00		35.447.731,68	
	Total	87.879.371,00		60.821.431,29	
Saneamento integrado	Financiamento	247.524.345,42	9,93	492.629.982,12	21,22
	Orçamentário	769.530.290,90		256.317.187,11	
	Total	1.017.054.636,32		748.947.169,23	
Pró-municípios	Orçamentário	1.108.337.717,61	10,82	565.756.657,47	16,03
	Total	1.108.337.717,61		565.756.657,47	
Outras	Financiamento	462.483.737,59	5,53	60.299.337,71	5,70
	Orçamentário	103.574.951,54		140.665.224,35	
	Total	566.058.589,13		200.964.562,06	
Total		10.244.948.142,38	100,00	3.528.781.061,78	100,00

Fonte: Ministério das Cidades, (Resultados Projeções e Ações - 2008).

O tratamento de esgotos domésticos deve considerar que o Brasil demanda ainda de um montante considerável de investimento para coleta e tratamento de esgotos. Estima-se que no setor de efluentes domésticos existe a necessidade de fomento nos próximos 20 anos da ordem de R\$94 bilhões para a área de coleta e tratamento de esgotos, contra aproximadamente R\$6 bilhões para a área de coleta e tratamento de resíduos sólidos urbanos, visando à universalização dos serviços.

Para o setor privado, o montante pode ser muito variável, dependendo da política corporativa a ser adotada pelos setores produtivos. A iniciativa privada tem investido em tratamento de efluentes industriais decorrente de atuações de comando e controle das agências ambientais, sobretudo, de forma voluntária em atendimento aos requisitos de sistemas de gestão ambiental e responsabilidade socioambiental ou em projetos de CDM, que têm contribuído para a melhoria do fluxo de caixa destes projetos.

Os custos de abatimento para o Cenário de Baixo Carbono no setor de resíduos são estimados com base nos custos de implantação de opções de mitigação por habitante de acordo com levantamentos em órgãos oficiais e projetos recentes realizados pela iniciativa privada e também pelo setor público.

Para a estimativa dos custos de abatimento foram empregadas estimativas de custos de

investimento e estabeleceu-se que os custos de O&M são na ordem 10% do valor destes custos de investimento. Da mesma forma, foram estimados os custos de investimento para os sistemas de tratamento e abatimento de emissões de gases de efeito estufa do Cenário de Referência e de Baixo Carbono.

Analisando os resultados dos custos marginais de abatimento e de intensidade de capital de investimento, pode-se concluir que no tratamento de esgotos domésticos estes são relativamente maiores em relação ao tratamento de resíduos sólidos e de tratamento de efluentes industriais. Essa conclusão não é inédita.

5.3. Custos e benefícios

Para a realização deste levantamento foram utilizadas as mais recentes e confiáveis informações da literatura nacional. Todavia, este estudo não teve acesso a um número suficiente de dados que permitisse o levantamento rigoroso e detalhado dos custos, da maneira como foram estimadas as emissões de GEE. A discussão sobre os custos e benefícios relacionados à aplicação do Cenário de Baixo Carbono estão divididas em três itens: 5.3.1 Resíduos sólidos, logo abaixo, 5.3.2 Incineração e 5.3.3 Esgotos domésticos e efluentes industriais. Além disso, os dados de custos e benefícios, na sua maioria não incluem os benefícios indiretos¹³ associados à melhoria nas condições sanitárias. Esses benefícios indiretos são reais, porém faltam dados na literatura nacional a esse respeito para que tais informações possam ser devidamente consideradas.

Alguns benefícios, dentro de um Cenário de Baixo Carbono, são oriundos de alguns objetivos que serão direta ou indiretamente beneficiados no âmbito da Política Nacional de Saneamento, e que promovam:

- ✓ mecanismos para universalização (equidade) dos serviços – refere-se a assegurar procedimentos e garantias de serviços para todos os consumidores/usuários no setor de saneamento, especificamente, aqui, na área de resíduos;
- ✓ o incremento no fomento e nos investimentos, dado que existe uma insuficiência da capacidade do Poder Público de novos investimentos para atender a demanda – refere-se à possibilidade de regimes de concessão e de parceria público-privada aplicados ao setor de saneamento, transformando a participação do Poder Público em agente de fiscalização e regulação;
- ✓ novos mecanismos facilitadores que diminuam as externalidades negativas do setor de saneamento no horizonte de curto e médio prazo;
- ✓ ações relacionadas ao bem-estar e à qualidade de vida da comunidade;
- ✓ a eficiência técnica utilizando-se sistemas que proporcionem a sustentabilidade e a inovação tecnológica;
- ✓ a qualidade dos serviços e a aplicação de conceitos que promovam a gestão e o gerenciamento do ciclo de vida destes serviços em cada sistema de tratamento.

Enfim, os benefícios na aplicação de recursos econômicos nos Cenários de Baixo Carbono para o setor de resíduos, tendem a se configurar como instrumentos particularmente eficazes para a internalização das externalidades, isto é, para a incorporação dos custos dos serviços

13 Em um estudo realizado pela Cetesb, ainda na década de 1990, na Baixada Santista, em uma comunidade dividida em duas metades: uma com esgotamento canalizado e a outra com o esgotamento a céu aberto, levantaram-se os registros de casos de doenças, consultas, exames e internações médicas, além do uso medicamentos. Foram levantados os custos associados aos problemas de saúde das duas metades das populações. Em conclusão, estimou-se que o investimento na implantação do sistema de esgotamento canalizado na segunda metade daquela comunidade proporcionaria ganhos com as reduções de casos de problemas de saúde.

e dos danos ambientais (e respectiva reparação) diretamente nos preços dos bens, serviços e atividades que estão na sua origem, contribuindo para a aplicação do princípio do poluidor-pagador e para a integração das políticas ambientais nas políticas econômicas.

Nesse sentido, estas ações devem proporcionar incentivos, tanto aos consumidores como aos produtores, para que alterem o seu comportamento na direção de uma utilização dos recursos mais eficiente do ponto de vista ecológico, para estimular a inovação e as mudanças estruturais e reforçar o cumprimento das leis.

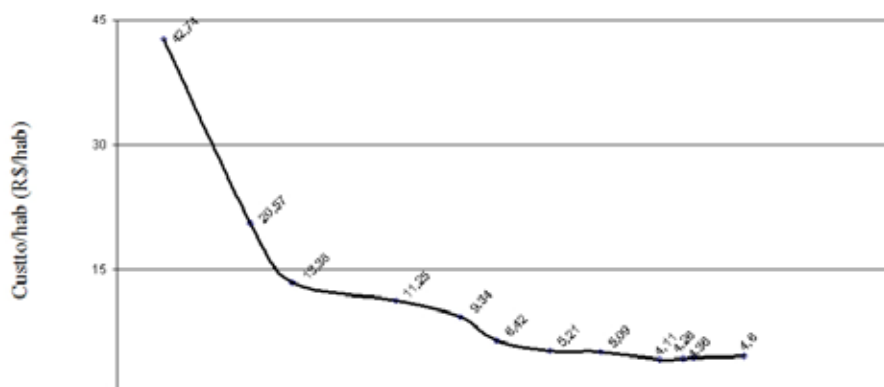
Além disso, podem gerar receitas suscetíveis de serem utilizadas no financiamento ambiental ou para reduzir os impostos sobre o trabalho, o capital e a poupança, tornando-se instrumentos políticos eficazes para enfrentar as atuais prioridades ambientais, geradas por fontes de poluição “difusas” como são as emissões de GEE.

5.3.1. Resíduos sólidos

A necessidade de aumento do valor dos investimentos nos próximos 20 anos no setor de resíduos sólidos é evidente e a previsão do PAC - Saneamento é insuficiente. Como exemplo disso, pode-se avaliar que os custos médios de investimento para recuperação de um sítio ativo e inadequado de disposição de resíduos sólidos, visando atender a todas as premissas técnicas e requisitos legais aplicáveis na concepção de um sistema de tratamento de RSU adequado, é de R\$10,00 a R\$15,00/habitante, dependendo do porte do município, como pode ser observado no estudo efetuado pelo MMA no Estado de Minas Gerais (Figura 51).

Considerando-se o valor médio presente de investimento reajustado para 2030 (R\$30,00/habitante), o investimento para este tipo de empreendimento seria em torno de R\$4,0 bilhões até 2030 (para uma amostra aproximada de 140 milhões de habitantes), ou melhor, em 20 anos o investimento anual deveria ser no mínimo R\$200 milhões/ano, sem contar os recursos para coleta, capacitação, educação, etc. Enfim, para mitigação de uma área inadequada de disposição de resíduos serão necessários investimentos na média em todo Brasil da ordem de US\$13,64/habitante.

Figura 51 - Custo de implantação de aterro sanitário (R\$/habitante) no Estado de Minas Gerais



Fonte: MMA/GTZ/CEF/CETEC

Por outro lado, para mitigação ou sequestro desses sistemas de tratamento de RSU, os valores de investimentos são decorrentes dos sistemas de coleta, queima, recuperação e aproveitamento energético de CH_4 nos aterros sanitários. Para isso, foram considerados dados de experiências reais, conforme a Tabela 15, dos projetos de CDM no Brasil.

Foram considerados os dois aterros no município de São Paulo – o Aterro Bandeirantes, que

recebeu até 2007 cerca de 6.000tRSU/dia e o Aterro São João, que recebe aproximadamente 7.000tRSU/dia. Os dois aterros implantaram sistemas de coleta, queima, recuperação e aproveitamento energético de energia do CH_4 .

Tabela 16 - Custos de investimento em sistemas de mitigação de emissões de CH_4 em aterros sanitários no Brasil (2005)

Incineração	Custo de investimento de coleta e queima de CH_4	Custo de investimento de recuperação e aproveitamento energético	Quantidade de RSU disposto	População equivalente	Custo de investimento per capita de coleta e queima de CH_4	Custo de investimento per capita de aproveitamento energético
	(R\$)	(R\$)	(t/dia)	(hab)	(R\$/hab)	(R\$/hab)
Bandeirantes	23.702.016*	45.625.000*	6.000	5.000.000	4,74	9,13
São João	14.004.659*	42.700.000*	7.000	6.000.000	2,33	7,12

(*) Dados levantados dos projetos de CDM dos Aterros sanitários de São Paulo (Bandeirantes e São João).

Considerando-se o valor líquido presente médio do investimento reajustado em 2030 igual a R\$13,00/habitante para implantação de sistemas de coleta e queima sem recuperação e aproveitamento energético de CH_4 de aterro e somando-se este investimento com os da adequação dos aterros sanitários, tem-se que o investimento médio para implantação de aterros com sistemas de coleta e queima de CH_4 está em torno de R\$3,88 bilhões em 2030 (para uma amostra aproximada de 140 milhões de habitantes), para atender a deficiência e a demanda futura sem contar os recursos para transferência tecnológica, capacitação e educação.

Considerando-se o valor líquido presente médio de investimento reajustado em 2030 em R\$26,00/habitante para implantação de sistemas de coleta e queima sem recuperação e aproveitamento energético de CH_4 de aterro e somando-se este investimento com os da adequação dos aterros sanitários, tem-se que o investimento médio para implantação de aterros com sistemas de coleta, queima, recuperação e aproveitamento energético de CH_4 está em torno de R\$7,76 bilhões em 2030 (para aproximadamente 140 milhões de habitantes), para atender a deficiência e a demanda futura sem contar os recursos para transferência tecnológica, capacitação e educação.

Os custos médios de investimento necessários no Brasil para implantação do tratamento e disposição final de RSU em aterros sanitários podem ser observados na Tabela 16.

Tabela 17 - Custos de implantação de aterro sanitário por habitante reajustados para 2030

Sistema	Investimento (R\$/hab)
Aterro sanitário convencional	30,00 ⁽¹⁾
Aterro sanitário com sistema de coleta e queima de CH ₄	13,00 ⁽²⁾
Aterro sanitário com sistema de coleta, queima, recuperação e aproveitamento energético de CH ₄	26,00 ⁽²⁾

(1) Dados do MMA/GTZ/CAIXA/CETEC.

(2) Dados levantados de projetos de CDM dos aterros sanitários de São Paulo (Bandeirantes e São João).

A carência de espaços adequados para a implantação de aterros sanitários é um dos maiores desafios para o gerenciamento dos resíduos sólidos nas grandes cidades, em particular nas RM do país.

As grandes cidades brasileiras cresceram de forma desordenada, produzindo discontinuidades entre as áreas centrais e as áreas periféricas, desprovidas de infraestrutura e serviços urbanos. Em 2009, nas grandes cidades do país, em um raio de 20km da área central, já não existem mais terrenos aptos a receber o lixo urbano. As barreiras impostas pelas estruturas físicas, as áreas protegidas por algum atributo físico especial e a legislação que disciplina o uso do solo, obrigam municípios e particulares a retirar seus resíduos e dispô-los em locais situados a mais de 25km da cidade, com o encarecimento dos serviços de coleta e limpeza pública.

A situação é mais grave no caso das RM e aglomerações urbanas, dada a quantidade de resíduos gerados. A formação e expansão das principais áreas metropolitanas do país ocorreu sem planejamento. As áreas periféricas, originalmente destinadas às atividades que demandam maiores extensões, como os usos industriais, terminais de carga ou centrais atacadistas de horti-fruti-granjeiros e aterros sanitários foram e continuam sendo afastados, para áreas cada vez mais distantes do centro ou mesmo para municípios mais distantes. Assim, as áreas passíveis de serem utilizadas para a implantação de equipamentos de tratamento ou destinação final de resíduos sólidos têm que enfrentar crescentes limitações físicas, econômicas e ambientais, decorrentes da acirrada disputa por espaço, na periferia dessas regiões.

5.3.2. Incineração

Outra forma possível de tratamento de resíduos é a incineração com aproveitamento energético. Nesse caso, os resíduos não recicláveis são reutilizados para produção de energia. Na União Européia, esse tratamento é acompanhado tanto da reciclagem quanto da compostagem, o que resulta em baixíssimos níveis de deposição no aterro. Após a incineração e o aproveitamento energético dos materiais, as cinzas podem ser aproveitadas como matéria-prima na construção civil, destinando ao aterro apenas o resíduo deste último aproveitamento.

São vários os métodos para reciclagem, compostagem ou aproveitamento energético e cada qual pode ter uma vantagem específica, dependendo da eficiência do serviço de coleta seletiva e dos materiais resultantes. Para uma gestão de resíduos eficiente do ponto de vista ambiental, é recomendável que haja uma redução na geração e um adequado sistema de coleta, que possibilite o aproveitamento dos resíduos como insumo de produção e energéticos. Porém, as dificuldades de custo e a necessidade de mudanças de comportamento dos cidadãos em relação aos resíduos indicam que esse estágio é somente possível se houver um aperfeiçoamento constante dos sistemas municipais.

Até o ano de 2009, a tecnologia de incineração no Brasil restringe-se aos resíduos de serviços de saúde. Em 2009, havia apenas um incinerador de RSU operando em escala piloto no Campus Universitário da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Os dados de custos de investimento e operacionais desse sistema não estavam disponíveis e, mesmo se estivessem, não seriam adequados para esse Cenário, uma vez que a escala dos sistemas de incineração é para municípios com

população superior a 3.000.000 de habitantes.

O Programa do Estado de São Paulo para Aproveitamento Energético de RSU e Outros Rejeitos, no âmbito do Grupo de Trabalho criado pela Resolução Conjunta SSE/SMA no 49/2007, elaborou um estudo inicial (Secretaria Estadual de Saneamento e Energia – SSE e Secretaria Estadual de Meio Ambiente – SMA, Resumo Executivo, julho, 2008) onde os trabalhos foram diretamente beneficiados pelos resultados do Convênio de Cooperação Técnica existente entre o Estado de São Paulo e o Estado da Baviera, na Alemanha – coordenada, a parte brasileira, pela Secretaria de Meio Ambiente. Nesse estudo, os sistemas de incineração são de concepção tipo grelha ou de leito fluidizado em escala de 2.400 toneladas/dia e os custos de investimento podem ser observados na Tabela 17.

Tabela 18- Custos de investimento em sistemas de incineração de RSU (2008)

Incineração	Custo de investimento de incineração sem cogeração de energia	Custo de investimento de incineração com cogeração de energia	População equivalente	Custo de investimento per capita de incineração sem cogeração de energia	Custo de investimento per capita de incineração com cogeração de energia
	(1.000.000. R\$) ⁽¹⁾	(1.000.000. R\$) ⁽¹⁾		(R\$/hab)	(R\$/hab)
01 módulo (600t/dia)	227,30	215,50	750	303,33	287,33
02 módulos (1.200t/dia)	405,80	384,80	1.500	270,53	256,53
04 módulos (2.400t/dia)	724,60	687,10	3.000	241,53	229,03

(1) Dados levantados de projetos do estudo inicial da SSE/SMA em julho, 2008.

Considerando-se o valor médio presente de investimento reajustado em 2030 em R\$500,00/habitante para implantação de sistemas de incineração com aproveitamento energético de CH₄, tem-se que o investimento médio para implantação deste sistema está em torno de R\$27 bilhões em 2030 (para uma amostra aproximada de 50 milhões de habitantes, que representa todo contexto da população das oito RM consideradas), para atender a deficiência e a demanda futura, sem contar os recursos para transferência tecnológica, capacitação e educação. Os custos médios de investimentos necessários para implantação no tratamento e disposição final de RSU em incineração podem ser observados na Tabela 18.

Tabela 19- Custos de implantação de incineração por habitante (R\$) no Brasil, reajustados para 2030

Sistema	Investimento
	(R\$/habitante)
Incineração sem cogeração de energia.	450,00 ⁽¹⁾
Incineração com cogeração de energia.	500,00 ⁽¹⁾
Incineração com cogeração de energia e reciclagem de resíduos fósseis.	550,00

(1) Dados levantados de projetos do estudo inicial da SSE/SMA em julho, 2008.

5.3.3. Esgotos domésticos e efluentes industriais

O aumento dos investimentos nos próximos 20 anos no setor de tratamento de esgotos domésticos deve ser priorizado. A Tabela 19 mostra que o investimento necessário para

tratamento de esgotos é de R\$ 100,00 a R\$ 200,00/habitante em valores de 2003, dependendo do porte do sistema e da concepção tecnológica.

Na Tabela 21 estão os custos de implantação de sistemas de tratamento de esgotos por região do Brasil. Esses custos foram feitos pelo Consórcio JNS/Acquaplan, com o apoio do Pnud – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento e do Banco Mundial para o Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS):

“...dimensionamento das necessidades de investimentos para universalização dos serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgotos sanitários no Brasil...”

Tabela 20 - Custo de implantação de tratamento de esgotos

Estado	Preço médio do tratamento (R\$/hab) ^{6*}		
	Faixa de tamanho		
	Pequeno	Médio	Grande
Acre	101,03	158,20	214,47
Amapá	89,11	137,56	185,14
Amazonas	100,74	162,35	223,16
Pará	88,33	137,83	186,64
Rondônia	109,05	174,68	238,90
Roraima	105,58	180,61	248,13
Tocantins	104,01	172,96	239,02
Alagoas	85,80	135,54	184,35
Bahia	92,12	145,09	197,10
Ceará	80,60	127,07	172,27
Maranhão	89,60	139,05	187,57
Paraíba	87,24	140,06	192,03
Pernambuco	88,70	144,34	199,23
Piauí	79,07	128,81	177,76
Rio Grande do Norte	85,47	137,64	188,63
Sergipe	89,11	138,31	186,12
Espírito Santo	84,38	134,19	182,82
Minas Gerais	85,97	143,48	199,55
Rio de Janeiro	100,30	160,81	220,28
São Paulo	97,98	161,54	223,29
Paraná	92,25	162,23	228,81
Rio Grande do Sul	102,32	163,43	221,81
Santa Catarina	96,48	159,88	221,55
Distrito Federal	90,96	150,49	208,29
Goiás	103,32	165,77	226,39
Mato Grosso	92,24	159,58	225,24
Mato Grosso do Sul	96,35	157,79	217,50

(*) Estudo elaborado pelo Consórcio JNS/Acquaplan.

Fonte: PMSS II (2003)

Considerando-se os custos para implantação de sistemas de tratamento de esgotos em concepção combinada “concepções biológicas anaeróbia e aeróbia” serão necessários investimentos na média em todo Brasil da ordem de R\$400,00/habitante, em valores de 2030. O valor presente médio de investimento para esse tipo de empreendimento seria em torno de R\$84 bilhões em 2030 (universalização do atendimento em tratamento de esgotos em 2030), sem contar os recursos para coleta de esgotos, capacitação e educação.¹⁴

Para os valores de investimentos em sistemas de coleta e queima de CH₄ em estações de tratamento de esgotos foram considerados dados reais de experiências similares no Brasil, através de informações disponíveis em Projetos com Financiamento Públicos Federais (Pró-Saneamento, Prodes e Caixa Econômica Federal). Considerando-se um exemplo recente do município de Campinas-SP, que implantou um sistema de coleta e queima de CH₄ em ETES, destacam-se os custos de investimento da Tabela 20.

Tabela 21 - Custos de investimento de mitigação de emissões de CH₄ em ETE em 2008

ETE	Custo de investimento de sistema de coleta e queima de CH ₄	População equivalente	Custo de investimento per capita de coleta e queima de CH ₄
	(R\$)	(1000hab).	(R\$/hab).
Capivari 1 Campinas-SP	430.000,00 ⁽¹⁾	50	8,60

(1) Dados levantados com a fornecedora de equipamentos Fokal (www.fokal.com.br).

Considerando-se o valor de investimento de R\$16,00/habitante, em 2030, o investimento médio para implantação de sistemas de coleta e queima sem recuperação e aproveitamento energético de CH₄ de aterro gira em torno de R\$3,36 bilhões em 2030, para atender a deficiência e a demanda futura sem contar os recursos para transferência tecnológica, capacitação e educação.

Os custos médios de investimentos necessários no Brasil para implantação no tratamento de esgotos em sistemas de concepção tecnológica combinada “Reator Anaeróbio + Lodos Ativados”, podem ser observados na Tabela 21.

Tabela 22 – Custos de implantação de tratamento de esgotos reajustados para 2030

Sistemas	Investimento
	(R\$/habitante)
ETE “Reator Anaeróbio + Lodos Ativados”	400,00 ⁽¹⁾
ETE “Reator Anaeróbio + Lodos Ativados” com coleta e queima de CH ₄	16,00 ⁽²⁾

(1) Dados PMSS II (2003) – elaborado pelo Consórcio JNS/Acquaplan.

(2) Dados levantados com a empresa fornecedora de equipamentos Fokal (www.fokal.com.br).

Os custos de abatimento para o Cenário de Baixo Carbono no setor de resíduos são estimados com base nos custos de implantação de opções de mitigação por habitante, de acordo com levantamentos em órgãos oficiais e projetos recentes realizados pela iniciativa privada e também pelo setor público. Para a estimativa dos custos de abatimento utilizou-se esses custos de investimento e os custos de O&M como sendo 10% do valor dos custos de investimento. Da mesma forma, foram estimados os custos de investimento para os sistemas de tratamento e abatimento de emissões de GEE do Cenário de Referência e de Baixo Carbono.

6 O preço inclui a estação de tratamento (conforme explicitado abaixo), os interceptores e as elevatórias. Para os municípios de porte pequeno foi admitido o custo de tratamento equivalente a um Reator Anaeróbio com Lagoas, e, para os grandes, o custo corresponde à implantação de uma estação de tratamento de lodos ativados por aeração convencional. Para os municípios médios admitiu-se um valor médio, com sistemas combinados em concepção biológica por respiração anaeróbias e aeróbias.

5.4. Custo Marginal de Abatimento e Break Even Carbon Price (preço de incentivo)

Uma análise econômica do Cenário de Baixo Carbono é desejável tendo em vista o aspecto informativo dos custos e benefícios para o governo e para sociedade visando a minimização na geração de emissões de gases de efeito estufa. Por outro lado, também proporciona elementos de apreciação nas condições efetivas das opções de sequestro e mitigação a serem implementadas. Contudo, importante destacar algumas questões com relação à análise econômica:

Não existe um método único que possa estabelecer uma análise econômica destas opções: como uma questão de fato, existem diferentes perspectivas que podem ser adotadas, do ponto de vista da sociedade ou do setor privado, em diferentes situações econômicas para cada Cenário de Baixo Carbono. Neste caso, dois diferentes níveis de análise econômica foram desenvolvidas, a saber:

- i. Uma avaliação microeconômica do custo e benefício da implantação das opções de sequestro e mitigação consideradas no estudo;
- ii. Uma avaliação macroeconômica destas opções, tendo em vista as políticas governamentais do setor e suas regulamentações legais.

A avaliação conjunta destas diferentes medidas em diferentes áreas não é tão simples, especialmente quanto objetivo é trazer a comparação de diversos elementos. A razão disso está em que muitas das medidas consideradas são implementadas em diferentes contextos, alguns dos quais implementados no âmbito da economia pública local ou do Governo Federal, e, outras, pelo setor privado, sendo que existem diferentes características econômicas e de gestão entre estes setores econômicos. Portanto, para uma melhor informação para os tomadores de decisão, foi adotado um procedimento de análise de custo/benefício em dois caminhos, sendo o primeiro na “perspectiva social” e o segundo na “perspectiva privada”.

A vertente social tende a proporcionar uma base de comparação setorial cruzada para os Cenários de Baixo Carbono adotados neste estudo. Por esta razão que o Custo de Abatimento Marginal é calculado usando uma taxa de desconto social (8%). Para facilitar a comparação setorial cruzada, os Custos de Abatimento Marginal de todas as medidas de mitigação e sequestro propostos foram desenvolvidos agrupando-se os dados (custos de investimento) oficiais disponíveis do setor de saneamento com os dados calculados do potencial de abatimento de emissões de GEE, sendo apresentados em um simples gráfico.

A vertente privada tende a avaliar algumas medidas que possam tornar-se atraentes para os agentes econômicos visando a implementação de investimentos no setor, considerando a questão do carbono no Cenário de Referência. Neste sentido, fazem-se presentes os Projetos de Mecanismo Limpo para o setor, visando o Protocolo de Quioto, incluindo eventuais receitas adicionais para facilitar a implementação das opções de mitigação e sequestro aqui apontadas. Este caminho objetiva aproximar os agentes econômicos de uma realidade atrativa de investimentos para um Cenário de Baixo Carbono. Isto certamente proporcionará incentivos econômicos através do mercado financeiro de carbono, indicando um preço mínimo de incentivo expresso em US\$ por tonelada CO₂ equivalente. Todavia, outros mecanismos econômicos podem somar e se constituir como agentes facilitadores e de incentivo para os tomadores de decisão visando a implementação dos Cenário de Baixo Carbono propostos neste estudo, como é o caso das receitas no aproveitamento energético do biogás.

5.4.1. Custo Marginal de Abatimento

O custo marginal de abatimento mostra o quanto se aumenta no custo total de tratamento dos resíduos para se incluir a mitigação de emissões de GEE prevista no Cenário de Baixo Carbono. O custo marginal de abatimento foi estimado a uma taxa de desconto de 8%, enquanto o custo de incentivo foi estimado a uma taxa de 12%. Ambos foram definidos considerando a realidade nacional para cada situação.

O custo médio presente de abatimento das emissões do período entre 2010 e 2030 para o Cenário de Baixo Carbono é apresentado na Tabela 22 e ilustrado na Figura 52. Na Tabela 23 se observa, na última coluna, o custo médio de abatimento de US\$1,33/tCO₂e para o Cenário de Baixo Carbono de RSU, US\$930,38/tCO₂e para o Cenário de esgotos domésticos e US\$103,30/tCO₂e para o Cenário de efluentes industriais. Essa grande diferença se deve ao alto valor do investimento necessário para a construção da ETE, se comparado às grandes quantidades de CH₄ gerado no aterro e aos custos de aterramento, captura e queima do CH₄ gerado no aterro.

Tabela 23 – Custo presente de abatimento dos Cenário de Baixo Carbono de 2030

Opções de mitigação ou sequestro	População urbana a ser atendida	Custo médio presente de abatimento	Potencial de abatimento bruto entre 2010 e 2030	Custo médio presente de abatimento
	(10 ⁶ .hab)	(10 ⁶ .US\$)	(10 ⁶ .tCO ₂ e)	(US\$/tCO ₂ e)
Cenário de Referência para RSU	138,54 ⁽¹⁾	-	-	-
Cenário de Baixo Carbono de RSU com queima do metano e eficiência de coleta do CH ₄ de 75%	138,54 ⁽¹⁾	2.763,88	962,69	2,87
Cenário de Referência para esgotos domésticos	209,91 ⁽²⁾	-	-	-
Cenário de Baixo Carbono para esgotos domésticos com 100% do CH ₄ coletado e queimado	209,91 ⁽³⁾	1.204,01	115,77	10,40
Cenário de Referência para efluentes industriais	93,58 ⁽⁴⁾	-	-	-
Cenário de Baixo Carbono para efluentes industriais com 100% do CH ₄ coletado e queimado	467,90 ⁽⁵⁾	24.622,25	238,35	103.30

Obs: Cotação do dólar em junho de 2009 R\$2,20/US\$.

(1) 66% da população urbana em 2030 atendida por tratamento de RSU.

(2) 100% da população urbana em 2030 atendida por tratamento de esgotos.

(3) 100% da população urbana em 2030 atendida por tratamento de esgotos + 100% do do CH₄ coletado e queimado.

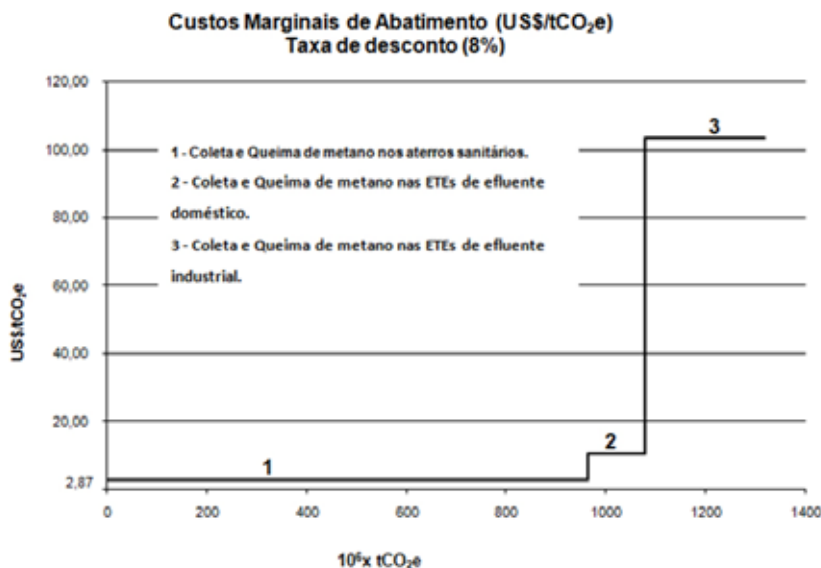
(4) população equivalente à carga poluidora de efluentes líquidos remanescente nos setores produtivos afins (conforme IPCC).

(5) população equivalente à carga poluidora de efluentes líquidos remanescente na projeção de crescimento (PNE 2030) dos setores produtivos afins (conforme IPCC).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 53 ilustra a grande quantidade e o baixo custo de destruição de GEE representada pelo Cenário de Baixo Carbono 2030 sugerido. O potencial bruto de abatimento é de aproximadamente 73,1% da massa de CO₂e evitada têm origem nos RSU. Cerca de 8,8% da massa de CO₂e é evitada no tratamento dos esgotos e os restantes 18,1% são evitados no tratamento de efluentes industriais.

Figura 52 – Custos marginais de abatimento



Fonte: Elaborado pelo autor

5.4.2. Break Even Carbon Price (preço do incentivo)

O Break Even Carbon Price ou preço de incentivo é a denominação dada no Cenário de Baixo Carbono, ao valor do incentivo que faça com que a implementação da mitigação proposta gere um retorno igual ou maior do que a taxa interna de retorno “benchmark” requerida pelo setor privado.

O preço de incentivo foi estimado com taxa de desconto de 12% (Benchmark TIR), por representar um dado mais próximo da realidade nos estudos e projetos de financiamento e fomento para modalidades que envolvem a legislação de parcerias dos setores Público e (do setor) Privado – PPP.

Na Tabela 23 estão resumidos os valores presentes de Break Even Carbon Price ou preço de incentivo. Por exemplo: para o setor de resíduos, o valor é igual a US\$6,94/tCO₂e, para o setor de efluentes domésticos, o valor é de US\$33,05/tCO₂e e para o setor de efluentes industriais o valor é igual a US\$250,69/tCO₂e. Tão significativa diferença se deve à comodidade e baixos investimentos necessários à instalação de equipamentos de captura e queima do biogás nos aterros sanitários, ao passo que, para os sistemas de tratamento anaeróbio de esgotos, estão sendo considerados os investimentos envolvidos na construção, operação e manutenção do sistema de tratamento de esgotos captura e queima do biogás, inclusive na questão dos lodos (resíduos inerentes ao processo de tratamento). Situação diferente se observa com relação aos efluentes industriais, onde uma parcela significativa do setor produtivo já possui os sistemas de tratamento implantados e em operação, fazendo com que o investimento tenha um foco maior na instalação de equipamentos de captura e queima de biogás e porventura o crescimento

86 da carga remanescente em função do desenvolvimento produtivo e econômico. Na Tabela 23 observa-se um resumo dos custos marginais de abatimento com taxa de desconto de 8% e de intensidade de investimento.

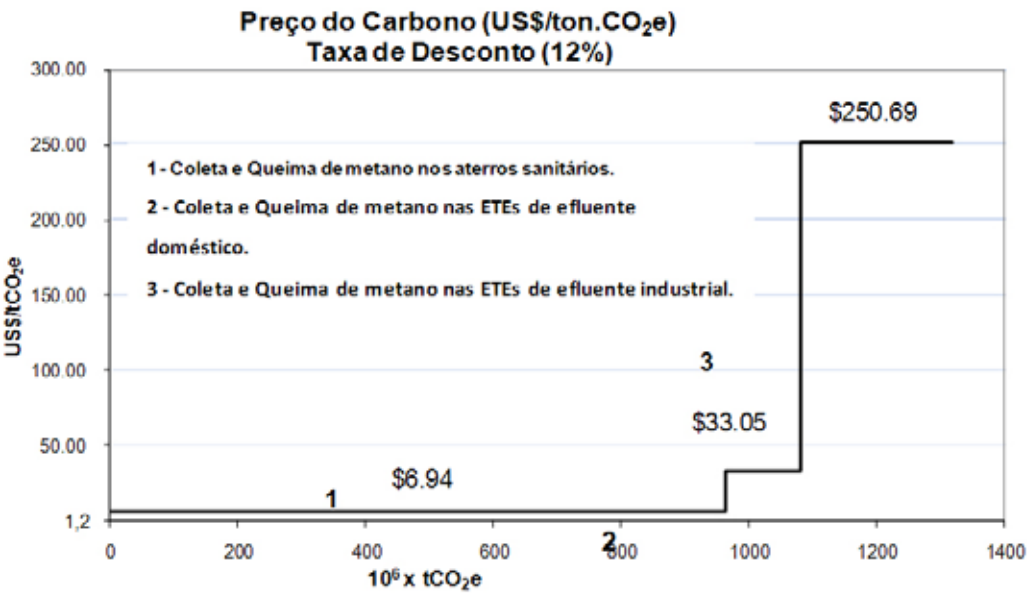
Tabela 24 - Custos marginais de abatimento, preço de incentivo e intensidade de capital para o Cenário de Baixo Carbono de 2030

Opções de mitigação	Valores					
	(US\$/tCO ₂ e)					
	Potencial de abatimento bruto entre 2010 – 2030	Custo marginal de abatimento (i = 8%)	Preço de incentivo (i = 12%)		Intensidade de investimento	
				incremental		incremental
Cenário de Baixo Carbono de RSU com queima do CH ₄ com eficiência de coleta de 75% no aterro	962,69	2,87		6,94		3,85
Cenário de Baixo Carbono de efluentes domésticos com 100% do biogás capturado e queimado	115,77	10,40		33,05		13,85
Cenário de Baixo Carbono de efluentes industriais com 100% do biogás capturado e queimado	238,35	103,30		250,69		122,74

Legenda: i = taxa de desconto
Fonte: Elaborado pelo autor.

As variações dos preços de incentivo de abatimento de CO₂e e de incentivo incremental são apresentadas na Figura 53.

Figura 53 - Preços de incentivo e de incentivo incremental de abatimento de CO₂e.



Fonte: Elaborado pelo autor

5.5. Necessidades de financiamento

Próximo a 80% do potencial bruto de emissões de GEE estão na área de resíduos sólidos. Os outros 20% do potencial ficam por conta dos esgotos e efluentes. No entanto, os resultados em intensidade de investimento no setor de resíduos decorrente de opções de mitigação de carbono são melhores em termos de custo-benefício, principalmente para a implantação de aterros sanitários com captura e queima de CH₄, como pode ser observado na Figura 54.

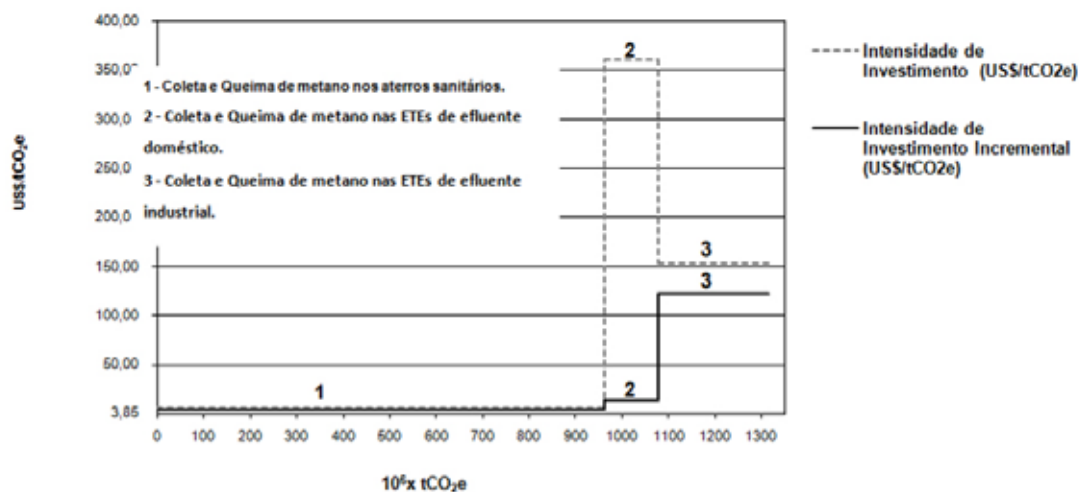
O setor de resíduos demanda significativo financiamento por parte das agências de fomento brasileiras, não descartando os recursos das agências internacionais ou multilaterais.

A intensidade de investimentos no setor de resíduos está atrelada à capacidade dos setores público e privado em atingir a universalização dos serviços de saneamento, que é prevista na Política Nacional de Saneamento. Assim, a intensidade de investimentos da alternativa tecnológica representada pelo Cenário de Baixo Carbono, mostra-se possível de ser alcançada no horizonte do Cenário.

A Figura 54 representa a intensidade de investimento para os setores de resíduos divididos em RSU, esgotos domésticos e efluentes industriais. Indica que existe uma necessidade de investimentos dependente de políticas públicas, as quais devem ser adotadas de preferência em conjunto com a iniciativa privada.

Os custos de investimento são evidenciados neste trabalho tendo como base os dados oficiais divulgados pelo Governo Federal. O Cenário de Baixo Carbono certamente contribuirá para que estes investimentos sejam efetivados até o ano de 2030.

Figura 54 – Intensidade de investimento.
Intensidade em Capital (US\$/tCO₂e)



Fonte: Elaborado pelo autor.

6. Conclusão

Os Cenários de Referência das emissões de GEE do setor de resíduos mostram a tendência de elevação das emissões de 63 para 99.10⁶tCO₂e no período entre 2010 e 2030, o que significa um aumento percentual da ordem de 57%. O Cenário de Baixo Carbono mostra que é possível evitar emissões no ano de 2030, passando das previstas 99.10⁶ para 18.10⁶tCO₂e, ou um pouco mais de 80% de reduções. A atividade mais relevante é a queima do CH₄ gerado pelos aterros sanitários com potencial de redução da ordem de 55.10⁶tCO₂e. O Cenário de Baixo Carbono do setor de resíduos, esgotos domésticos e efluentes industriais inclui a expansão dos sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos domésticos e efluentes industriais, com a completa queima do CH₄ gerado, reduzindo-se, apesar da melhoria sanitária, para zero as emissões pelo tratamento de esgotos e efluentes.

Foram considerados, porém não incluídos no Cenário de Referência outros eventos, como o aumento das quantidades de resíduos que chegam aos aterros. Esse aumento pode ser provocado por diferentes razões; uma delas é a expansão dos serviços de coleta, o que pode ser classificado como uma melhoria sanitária isolada e que, finalmente, pode implicar no aumento das emissões de GEE. Foi considerada a possível redução nas quantidades de resíduos que chegam aos aterros, o que pode ser provocado por diferentes razões; uma delas pode ser um intenso programa de educação ambiental, conscientização e práticas ambientalmente amigáveis como redução de geração, reuso e reciclagem. Essa prática, apesar de extremamente recomendável sob todos os aspectos, não se mostrou a mais eficiente em termos de redução das emissões de GEE. Mesmo a elevação das quantidades de GEE emitidas durante os primeiros anos de implementação pela alternativa de incineração dos resíduos, indica apenas que essa alternativa pode demandar medidas de compensação das possíveis emissões de GEE.

Dentro das práticas ambientais do setor de tratamento de resíduos, a mais interessante é aquela que considera a não geração do resíduo. A melhor alternativa para o meio ambiente não são os aterros sanitários com coleta de CH₄. A melhor opção é a não geração do resíduo. Como isso é improvável, restam as alternativas avaliadas, sendo a mais interessante a recuperação e queima do CH₄.

Os cobenefícios gerados pela disposição dos RSU nos aterros sanitários e queima do CH₄ e tratamento anaeróbio dos esgotos e efluentes não são contabilizados na avaliação econômica desses Cenários. As planilhas de custos em saneamento não incluem a economia de receitas com as doenças evitadas e com a melhora na qualidade de vida.

O Brasil demanda por significativos investimentos em coleta e tratamento de efluentes. Considerando a inexistência dessa infraestrutura, os custos de abatimento na área de efluentes são maiores que os da área de resíduos sólidos.

As incertezas – 3.2.8 Incertezas (RSU), e 4.2.6 Incertezas (esgotos e efluentes), – das estimativas são elevadas em função da escassez de dados na literatura nacional. Além dessas, as incertezas não quantificadas das hipóteses levantadas nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono completam a maior fragilidade desse documento. A incerteza do levantamento dos custos também não foi quantificada; todavia a estratégia de levantamento de informações empregada permite supor que foram empregadas as melhores informações disponíveis.

Estima-se que no setor de resíduos existe a necessidade de fomento nos próximos 20 anos aproximadamente da ordem de: R\$6 bilhões para a área de coleta e tratamento de resíduos sólidos e R\$94 bilhões para a área de coleta e tratamento de esgotos domésticos. Para o setor privado, o montante pode ser muito variável, dependendo da política corporativa a ser adotada por setor produtivo, mas pode-se afirmar que um fomento importante serão os projetos de CDM, que têm contribuído para a melhoria do fluxo de caixa dos projetos.

Um programa de incentivos visando um Cenário de Baixo Carbono torna-se um mecanismo facilitador para aplicação de investimento no setor de resíduos; notadamente, no desenvolvimento de inovações tecnológicas nas opções de mitigação de carbono e aproveitamento energético.

7. Anexos

7.1.Regões metropolitanas

Devido aos altos custos de implantação e O&M, a incineração tem em sua viabilidade econômica projetos em escala com grandes aglomerados urbanos com população superior a 3.000.000 de habitantes ou aproximadamente uma geração de RSU de pelo menos 2.400 toneladas/dia.

A população total dos aglomerados urbanos segundo o IBGE¹⁵ (2008) é de 54.728.762 habitantes.

No Brasil foram identificados 08 (oito) aglomerados urbanos com população superior a 3.000.000 habitantes e são identificados abaixo com as respectivas populações:

7.1.1. Região Metropolitana de Salvador.

	Municípios	População Total
	1. Salvador 2. Camaçari 3. Lauro de Freitas 4. Simões Filho 5. Candeias 6. Dias d'Ávila 7. Vera Cruz 8. São Francisco do Conde 9. Itaparica 10. Madre de Deus 11. Mata de São João 12. São Sebastião do Passé 13. Pojuca	3.799.589

7.1.2. Região Metropolitana de Fortaleza.

	Municípios	População Total
	1. Fortaleza 2. Caucaia 3. Aquiraz 4. Pacatuba 1. Maranguape 2. Maracanaú 3. Eusébio 4. Guaiúba 5. Itaitinga 6. Chorozinho 7. Pacajus 8. Horizonte 9. São Gonçalo do Amarante	3.517.375

15 Estimativas da população para 1º de julho de 2008 (PDF). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (29 de agosto de 2008). Página visitada em 5 de setembro de 2008.

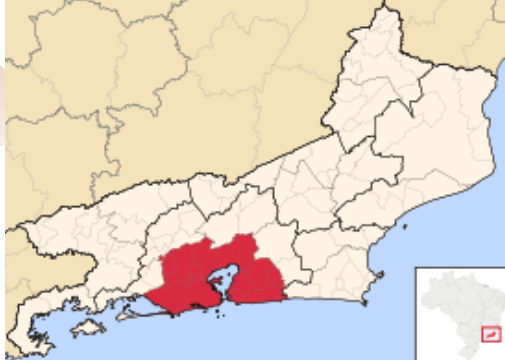
7.1.3. Região Metropolitana de Recife.

	Municípios	População Total
	10. Recife 11. Jaboatão dos Guararapes 12. Olinda 13. Paulista 14. Abreu e Lima 15. Igarassu 16. Camaragibe 17. Cabo de Santo Agostinho 18. São Lourenço da Mata 19. Araçoiaba 20. Ilha de Itamaracá 21. Ipojuca 22. Moreno 23. Itapissuma	3.731.719

7.1.4. Região Metropolitana de Belo Horizonte.

	Municípios	População Total
	1. Baldim 2. Belo Horizonte 3. Betim 4. Brumadinho 5. Caeté 6. Capim Branco 7. Confins 8. Contagem 9. Esmeraldas 10. Florestal 11. Ibirité 12. Igarapé 13. Itaguara 14. Itatiaiuçu 15. Jaboticatubas 16. Juatuba 17. Lagoa Santa 18. Mário Campos 19. Mateus Leme 20. Matozinhos 21. Nova Lima 22. Nova União 23. Pedro Leopoldo 24. Raposos 25. Ribeirão das Neves 26. Rio Acima 27. Rio Manso 28. Sabará 29. Santa Luzia 30. São Joaquim de Bicas 31. São José da Lapa 32. Sarzedo 33. Taquaraçu de Minas 34. Vespasiano	5.031.438

7.1.5. Região Metropolitana de Rio de Janeiro.



Municípios	População Total
1. Belford Roxo 2. Duque de Caxias 3. Guapimirim 4. Itaboraí 5. Itaguaí 6. Japeri 7. Magé 8. Mangaratiba 9. Maricá 10. Mesquita 11. Nilópolis 12. Niterói 13. Nova Iguaçu 14. Paracambi 15. Queimados 16. Rio de Janeiro 17. São Gonçalo 18. São João de Meriti 19. Seropédica 20. Tanguá	11.812.482

7.1.6. Região Metropolitana de São Paulo.

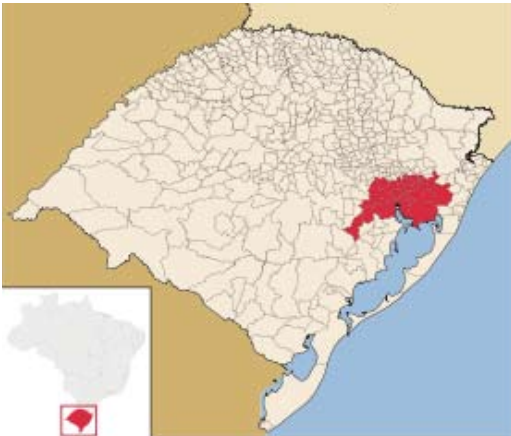


Municípios	População Total
1. Arujá 2. Barueri 3. Biritiba-Mirim 4. Caieiras 5. Cajamar 6. Carapicuíba 7. Cotia 8. Diadema 9. Embu 10. Embu-Guaçu 11. Ferraz de Vasconcelos 12. Francisco Morato 13. Franco da Rocha 14. Guararema 15. Guarulhos 16. Itapevi 17. Itapeverica da Serra 18. Itaquaquecetuba 19. Jandira 20. Juquitiba 21. Mairiporã 22. Mauá 23. Mogi das Cruzes 24. Osasco 25. Pirapora do Bom Jesus 26. Poá 27. Ribeirão Pires 28. Rio Grande da Serra 29. Salesópolis 30. Santa Isabel 31. Santana de Parnaíba 32. Santo André 33. São Bernardo do Campo 34. São Caetano do Sul 35. São Lourenço da Serra 36. São Paulo 37. Suzano 38. Taboão da Serra 39. Vargem Grande Paulista	19.616.060

7.1.7. Região Metropolitana de Curitiba.

	Municípios	População Total
	1. Adrianópolis 2. Agudos do Sul 3. Almirante Tamandaré 4. Araucária 5. Balsa Nova 6. Bocaiúva do Sul 7. Campina Grande do Sul 8. Campo Largo 9. Campo Magro 10. Cerro Azul 11. Colombo 12. Contenda 13. Curitiba 14. Doutor Ulysses 15. Fazenda Rio Grande 16. Itaperuçu 17. Lapa 18. Mandirituba 19. Pinhais 20. Piraquara 21. Quatro Barras 22. Quitandinha 23. Rio Branco do Sul 24. São José dos Pinhais 25. Tijucas do Sul 26. Tunas do Paraná	3.260.292

7.1.8. Região Metropolitana de Porto Alegre.

	Municípios	População Total
	1. Alvorada 2. Cachoeirinha 3. Campo Bom 4. Canoas 5. Estância Velha 6. Esteio 7. Gravataí 8. Guafra 9. Novo Hamburgo 10. Porto Alegre 11. São Leopoldo 12. Sapiranga 13. Sapucaia do Sul 14. Viamão 15. Dois Irmãos 16. Eldorado do Sul 17. Glorinha 18. Ivoti 19. Nova Hartz 20. Parobé 21. Portão 22. Triunfo 23. Charqueadas 24. Araricá 25. Nova Santa Rita 26. Montenegro 27. Taquara 28. São Jerônimo 29. Arroio dos Ratos 30. Santo Antônio da Patrulha 31. Capela de Santana	3.959.807

7.2. Projetos de CDM do setor de resíduos e efluentes no Brasil

Os exemplos de projetos de implementação no Brasil resumem-se ao setor privado e em sistemas de concessão ou Parceria público-privada (PPP).

Para os aterros sanitários, os projetos de mitigação que foram implantados podem ser observados na Tabela 24, na Tabela 25, na Tabela 26 e na Tabela 27, que retratam os dados da UNFCCC, contabilizando assim, até início de 2009, um total de vinte e cinco atividades de projetos de CDM registrados, sendo que vinte projetos apresentam sistemas de coleta e queima e os outros cinco projetos possuem recuperação e aproveitamento energético.

No Brasil, até o início de 2009, havia seis atividades de projetos de CDM em processo de validação relacionadas à compostagem. Todavia, estes projetos não demandavam a utilização de RSU.

Hoje, a incineração destina-se ao tratamento de resíduos perigosos. Existem incineradores industriais privados que prestam serviços a terceiros e que estão localizados em sua maioria no Estado de São Paulo (capacidade média de 26.000t/ano), Rio de Janeiro (capacidade média de 11.500t/ano), Bahia (capacidade média de 14.400t/ano) e Alagoas (capacidade média de 11.500t/ano).

O setor privado tem mais de 50 atividades de projetos de CDM que estão registrados e/ou em processo de validação para tratamento de efluentes.

A seguir, a lista de projetos de CDM, disponível na página de Internet da UNFCCC em maio de 2009.

Tabela 25 – Projetos de CDM em aterros sanitários

Título do Projeto	Estado	Situação	Tipo/Subtipo	Metodologia	ktCO ₂ (*)
Salvador Da Bahia landfill gas management project (NM4)	BA	Registrado	Biogás/ Flare	AM2	6667
Onyx landfill gas recovery project - Trémembé, Brazil (NM21)	SP	Registrado	Biogás/ Flare	AM11	701
Caieiras landfill gas emission reduction	SP	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1	2441
ESTRE's Paulínia Landfill Gas Project (EPLGP)	SP	Registrado	Biogás/ Flare	AM3	1488
Project Anaconda	SP	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1	699
Canabrava Landfill Gas Project	BA	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1	1321
Aurá Landfill Gas Project	PA	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1	1981
Central de Resíduos do Recreio Landfill Gas Project (CRRLLGP)	RS	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1	647
ESTRE Itapevi Landfill Gas Project (EILGP)	SP	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1	486
Quitaraína Landfill Gas Project	SP	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1	581
SANTECH – Saneamento & Tecnologia Ambiental Ltda.	SC	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1	153
CTRVV Landfill emission reduction project	ES	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1	455
Probiogas - JP-João Pessoa Landfill Gas Project	PR	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1+ACM2	1039
Proactiva Tijuquinhas Landfill Gas Capture and Flaring project	SC	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1	574
Estre Pedreira Landfill Gás Project (EPLGP)	SP	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1+ACM2	866
Terrestre Ambiental Landfill Gás Project	SP	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1+ACM2	487
Embralixo/Araúna - Bragança Landfill Gas Project (EABLGP)	SP	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1+ACM2	331
URBAM/ARAUNA - Landfill Gas Project (UALGP)	SP	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1	571
Alto-Tietê landfill gas capture project	SP	Registrado	Biogás/ Flare	ACM1	2323
Manaus Landfill Gas Project	AM	Validação	Biogás/ Flare	ACM1+ACM2	3808
Natal Landfill Gas Recovery Project	RN	Validação	Biogás/ Flare	ACM1	498
Laguna Landfill Methane Flaring	SC	Validação	Biogás/ Flare	ACM1	67
Marília/ Arauna Landfill Gas Project	SP	Validação	Biogás/ Flare	ACM1	170
CGR Guataparã landfill Project	SP	Validação	Biogás/ Flare	ACM1	181
Brazil NovaGerar landfill gas to energy project (NM5)	RJ	Registrado	Biogás/ Geração de energia	AM3	2937
Landfill gas to energy project at Lara landfill, Mauá	SP	Registrado	Biogás/ Geração de energia	AM3	4726
Brazil MARCA landfill gas to energy project	ES	Registrado	Biogás/ Geração de energia	AM3	1728
Bandeirantes Landfill Gas to Energy Project (BLFGE).	SP	Registrado	Biogás/ Geração de energia	ACM1	9494
São João Landfill Gas to Energy Project	SP	Registrado	Biogás/ Geração de energia	ACM1	3766
Feira de Santana Landfill Gas Project	BA	Registrado	Biogás/ Geração de energia	ACM1+ACM2	194
Projeto de Gás de Aterro TECIPAR – PROGAT	SP	Validação	Biogás/ Geração de energia	ACM1	350

Título do Projeto	kCERs	kCERs Esperados (**)	Sucesso de Emissão	Data de Registro	Energia Instalada (***)
Salvador Da Bahia landfill gas management project (NM4)	46	591	8%	15/08/2005	
Onyx landfill gas recovery project - Trémembé, Brazil (NM21)	84	141	60%	24/11/2005	
Cateiras landfill gas emission reduction	103	553	19%	09/03/2006	
ESTRE's Paulínia Landfill Gas Project (EPLGP)	251	229	110%	03/03/2006	
Project Anaconda	22	126	18%	15/12/2006	
Canabrava Landfill Gas Project	9	174	5%	08/04/2007	
Aurá Landfill Gas Project				30/04/2007	
Central de Resíduos do Recreio Landfill Gas Project (CRRLLGP)				31/12/2006	
ESTRE Itapevi Landfill Gas Project (EILGP)	30	40	75%	17/08/2007	
Quitatuna Landfill Gas Project				27/05/2007	
SANTECH – Saneamento & Tecnologia Ambiental Ltda.				19/02/2009	
CTRUV Landfill emission reduction project				28/05/2008	
Probiogas - JP-João Pessoa Landfill Gas Project				30/01/2008	
Proactiva Tijuquinhas Landfill Gas Capture and Flaring project				13/08/2008	
Estre Pedreira Landfill Gás Project (EPLGP)	40	49	82%	12/02/2008	
Terrestre Ambiental Landfill Gás Project	26	32	80%	06/05/2008	
Embralixo/Araúna - Bragança Landfill Gas Project (EABLGP)				15/10/2007	
URBAM/ARAUNA - Landfill Gas Project (UALGP)				14/10/2007	
Alto-Tietê landfill gas capture project				29/05/2008	18,0
Manaus Landfill Gas Project					
Natal Landfill Gas Recovery Project					
Laguna Landfill Methane Flaring					
Marília/Arauna Landfill Gas Project					
CGR Guataparã landfill Project					
Brazil NovaGerar landfill gas to energy project (NM5)	67	887	8%	18/11/2004	12,0
Landfill gas to energy project at Lara landfill, Mauá	303	1076	28%	15/05/2006	10,0
Brazil MARCA landfill gas to energy project				23/01/2006	11,0
Bandeirantes Landfill Gas to Energy Project (BLFGE).	2868	5113	56%	20/02/2006	22,0
São João Landfill Gas to Energy Project	528	914	58%	02/07/2006	20,0
Feira de Santana Landfill Gas Project				12/07/2008	
Projeto de Gás de Aterro TECIPAR – PROGAT					6,5

(*) Em 2012.
(**) Definido como os CERs emitidos dividido pelo número de CERs esperados no mesmo período.
(***) No final de 2012.

Tabela 26 – Projetos de CDM de compostagem

Título do Projeto	Estado	Situação	Tipo/Subtipo	Metodologia	ktCO ₂ (*)	kCERs Esperados (**)	Sucesso de Emissão	Data de Registro	Energia Instalada (***)
Lixo Zero Composting Project	RJ	Validação	Biogás/Compostagem	AM25	312				
Organoeste Dourados & Andradina Composting Project	MT e SP	Validação	Biogás/Compostagem	AMS-III.F.	108				
Organoeste Apucarana & Mandaguacu Composting Project	PR	Validação	Biogás/Compostagem	AMS	84				
Organoeste Aracruz Composting Project	ES	Validação	Biogás/Compostagem	AMS	89				
Organoeste Contenda & Campo Grande Composting Project	PR e MS	Validação	Biogás/Compostagem	AMS	82				
VCP Jacareí Sludge Composting Project	SP	Validação	Biogás/Compostagem	AMS	75				

(*) Em 2012.

(**) Definido como os CERs emitidos dividido pelo número de CERs esperados no mesmo período.

(***) No final de 2012.

Tabela 27 – Projetos de CDM de efluentes líquidos

Título do Projeto	Estado	Situação	Tipo/Subtipo	Metodologia	ktCO ₂ (*)	kCERs Esperados (**)	Sucesso de Emissão	Data de Registro	Energia Instalada (***)
GHG emissions reductions from improved industrial wastewater treatment in Embaré	MG	Validação	Biogás/ Geração de energia	AMS-I.D.+AMS-III.H.	34				
Irani Wastewater Methane Avoidance Project	SC	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.I.	278			19/01/08	
BRASCARBON Methane Recovery Project BCA-BRA-01	SC, SP e MG	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	189			16/03/09	
Project JBSS/A – Slaughterhouse Effluent Treatment – Andradina Unit	SP	Validação	Agricultura/ Biogás	AMS-III.H.	128				
Project JBSS/A – Slaughterhouse Wastewater Aerobic Treatment – Vilhena Unit	RO	Validação	Agricultura/ Biogás	AMS-III.I.	122				
JBSS/A – Slaughterhouse Wastewater Aerobic Treatment – Barra do Garças Unit	MT	Validação	Agricultura/ Biogás	AMS-III.I.	176				
Vinasse Anaerobic Treatment Project - Cooperval Ltda	PR	Validação	Agricultura/ Biogás	ACM14	404				

Tabela 28 – Projetos de CDM de resíduos rurais

Título do Projeto	Estado	Situação	Tipo/ Subtipo	Metodologia	ktCO ₂ (*)
Perdigão Sustainable Swine Production 01 – Methane capture and combustion	GO e RS	Request review	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	230
GHC capture/combustion from swine manure man. systems at Faxinal dos Guedes and Toledo	PR	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM6	218
Granja Becker GHG mitigation project (NM34)	MG	Registrado	Agricultura/ Biogás/flare	AM16	43
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-01, Minas Gerais Brazil	MG	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	465
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-03	MG, GO e MT	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	1426
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-02, Minas Gerais / São Paulo	MG e SP	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	1192
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-04, Parana, Santa Catarina, and Rio Grande do Sul	PR, SC e RS	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	717
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-05, Minas Gerais and São Paulo	MG e SP	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	572
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-07, Mato Grosso, Minas Gerais, and Goiás	MS, MG	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	1112
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-09	GO e MG	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	383
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-06, Bahia	BA	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	100
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-10, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, and Mato Grosso do Sul	MG, GO e MT	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	654
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-08, Paraná, Santa Catrina, and Rio Grande do Sul	PR, SC e RS	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	110
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-11, Mato Grosso, Minas Gerais and São Paulo	MT, MS e SP	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	463
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-12, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais and São Paulo	MT, MS, MG e SP	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	475
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-13, Goiás, Minas Gerais	GO e MG	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	838
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-14, Espírito Santo, Minas Gerais, and São Paulo	ES, MG e SP	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	356
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-15, Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul	PR, SC e RS	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	305
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-16, Bahia, Goiás, Mato Grosso etc.	SP	Registrado	Agricultura/ Biogás/flare	AM16	593
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-17, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, and Minas Gerais	ES e MT	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM16	271
ECONINVEST – MASTER Agropecuária – GHG capture and combustion from swine farms in Southern Brazil	GO	Registrado	Agricultura/ Biogás	AM6	426
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-24, Mato Grosso and Mato Grosso do Sul, Brazil	MS	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	137

Título do Projeto	Estado	Situação	Tipo/ Subtipo	Metodologia	ktCO ₂ (*)
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-23, Mato Grosso and Goiás, Brazil	MT e GO	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	84
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-19, Goiás, Brazil	GO	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	128
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-18, Paraná, Rio Grande do Sul, and Santa Catarina, Brazil	PR, SC e RS	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	148
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-21, Goiás, Brazil	GO	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	115
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-25, Minas Gerais, Brazil	MG	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	181
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-22, Minas Gerais, Brazil	MG	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	82
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-20, Minas Gerais, Brazil	MG	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	67
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-26, Minas Gerais, Brazil	MG	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	67
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-27, Goiás, Brazil	Goiás	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	60
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-29, São Paulo, Brazil	SP	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	122
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-28, Santa Catarina, Brazil	SC	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	23
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-30, Mato Grosso and Mato Grosso do Sul, Brazil	MT e MS	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	50
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-33, Minas Gerais and São Paulo	MG e SP	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	41
AWMS Methane Recovery Project BR07-S-34, Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, and São Paulo	BA, ES, MG e SP	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	41
AWMS Methane Recovery Project BR07-S-31, Mato Grosso do Sul, Paraná, Rio Grande do Sul, and Santa Catarina	MT, PR, SC e RS	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	75
COTRIBÁ Swine Waste Management System Project	RS	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	61
Amazon Carbon Swine Waste Management System Project 02	PR, SC, RS, GO e MT	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	84
GHG Capture and Combustion From Swine Manure System	n.a.	Validação	Agricultura/ Biogás	AM6	322
SADIA OWNED FARMS - GHG capture and combustion from swine manure management systems in Brazil.	PR, SC, RS e MG	Validação	Agricultura/ Biogás	AM6	438
Ecoinvest - Agroceres PIC - GHG capture and combustion from a swine farm in Southeast Brazil	MG	Validação	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	23
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-32, Minas Gerais and São Paulo, Brazil	MG e SP	Validação	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	63
Project of treatment and swines' manure utilization at Ecobio Carbon - Swineculture Nº 1	SC	Validação	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	135
Perdigão Sustainable Swine Production 02 - Methane capture and combustion	GO e SC	Validação	Agricultura/ Biogás <i>flare</i>	AMS-D.+AMS-III.D.	233
BRASCARBON Methane Recovery Project BCA-BRA-03	MG	Validação	Agricultura/ Biogás <i>flare</i>	AMS-III.D.	184
BRASCARBON Methane Recovery Project BCA-BRA-08	SP e PR	Validação	Agricultura/ Biogás <i>flare</i>	AMS-III.D.	184

Título do Projeto	Estado	Situação	Tipo/ Subtipo	Metodologia	ktCO ₂ (*)
BRASCARBON Methane Recovery Project BCA-BRA-02	SP	Validação	Agricultura/ Biogás flare	AMS-III.D.	188
BRASCARBON Methane Recovery Project BCA-BRA-05	MS	Validação	Agricultura/ Biogás flare	AMS-III.D.	182
BRASCARBON Methane Recovery Project BCA-BRA-07	MT e MS	Validação	Agricultura/ Biogás flare	AMS-III.D.	183
Project of treatment and swine's manure utilization at Ecobio Carbon - Swineculture Nº 4	MG	Validação	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	126
Project of treatment and swine's manure utilization at Ecobio Carbon - Swine Culture Nº 2"	SC	Validação	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	117
Project of treatment and swine's manure utilization at Ecobio Carbon - Swineculture Nº 3"	SC	Validação	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	146
Project of treatment and swine's manure utilization at Ecobio Carbon - Swine Culture Nº 5	SC	Validação	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	125
Amazon Carbon Swine Waste Management System Project 03	MS	Registrado	Agricultura/ Biogás	AMS-III.D.	58
Mitigation of the environmental passive through the management of the swine manure and renewable electricity generation	SC	Validação	Agricultura/ Geração de energia	ACM10	598
Carroll's Foods do Brasil & LOGICarbon - GHG Emission Reductions from Swine Manure Management System, Diamantino, MT	MT	Validação	Biogás/ Geração de energia	ACM10	255
Batavo Cooperativa Agroindustrial: Greenhouse emission reductions on swine production by means the installation of better waste management systems.	PR	Validação	Biogás/ Geração de energia	AMS-II.D.	45

Título do Projeto	kCERs	kCERs Esperados (**)	Sucesso de Emissão	Data de Registro	Energia Instalada (***)
Perdígão Sustainable Swine Production 01 - Methane capture and combustion					
GHG capture/combustion from swine manure man. systems at Faxinal dos Guedes and Toledo				30/01/06	
Granja Becker GHG mitigation project (NM34)	3	11	29%	09/12/05	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-01, Minas Gerais Brazil	54	172	31%	29/12/06	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-03	175	607	29%	16/10/06	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-02, Minas Gerais / São Paulo	124	482	26%	18/06/06	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-04, Parana, Santa Catarina, and Rio Grande do Sul	62	295	21%	09/07/06	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-05, Minas Gerais and São Paulo	81	245	33%	09/07/06	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-07, Mato Grosso, Minas Gerais, and Goiás	180	462	39%	25/05/06	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-09	23	119	19%	18/06/06	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-06, Bahia	2	15	15%	08/07/06	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-10, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, and Mato Grosso do Sul	48	248	19%	09/07/06	

Título do Projeto	kCERs	kCERs Esperados (**)	Sucesso de Emissão	Data de Registro	Energia Instalada (***)
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-08, Paraná, Santa Catarina, and Rio Grande do Sul				10/09/06	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-11, Mato Grosso, Minas Gerais and São Paulo	29	147	20%	09/07/06	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-12, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais and São Paulo	57	76	75%	11/09/06	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-13, Goiás, Minas Gerais	121	301	40%	09/0706	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-14, Espírito Santo, Minas Gerais, and São Paulo	35	97	36%	09/0706	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-15, Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul	23	95	24%	09/07/06	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-16, Bahia, Goiás, Mato Grosso etc.	59	205	29%	15/07/06	
AWMS GHG Mitigation Project BR05-B-17, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, and Minas Gerais				30/09/06	
ECOINVEST – MASTER Agropecuária – GHG capture and combustion from swine farms in Southern Brazil				29/09/06	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-24, Mato Grosso and Mato Grosso do Sul, Brazil				01/02/08	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-23, Mato Grosso and Goiás, Brazil				04/02/08	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-19, Goiás, Brazil				01/02/08	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-18, Paraná, Rio Grande do Sul, and Santa Catarina, Brazil				05/06/08	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-21, Goiás, Brazil				01/02/08	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-25, Minas Gerais, Brazil				01/02/08	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-22, Minas Gerais, Brazil				07/04/08	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-20, Minas Gerais, Brazil				01/02/08	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-26, Minas Gerais, Brazil				01/02/08	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-27, Goiás, Brazil				01/02/08	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-29, São Paulo, Brazil				01/02/08	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-28, Santa Catarina, Brazil				01/02/08	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-30, Mato Grosso and Mato Grosso do Sul, Brazil				17/03/08	
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-33, Minas Gerais and São Paulo				10/04/08	
AWMS Methane Recovery Project BR07-S-34, Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, and São Paulo				10/04/08	
AWMS Methane Recovery Project BR07-S-31, Mato Grosso do Sul, Paraná, Rio Grande do Sul, and Santa Catarina				05/06/08	
COTRIBÁ Swine Waste Management System Project				12/01/09	
Amazon Carbon Swine Waste Management System Project 02				10/03/09	
GHG Capture and Combustion From Swine Manure System					
SADIA OWNED FARMS- GHG capture and combustion from swine manure management systems in Brazil.					

Título do Projeto	kCERs	kCERs Esperados (**)	Sucesso de Emissão	Data de Registro	Energia Instalada (***)
Ecoinvest – Agroceres PIC – GHG capture and combustion from a swinefarm in Southeast Brazil					
AWMS Methane Recovery Project BR06-S-32, Minas Gerais and São Paulo, Brazil					
Project of treatment and swines’ manure utilization at Ecobio Carbon - Swineculture Nº 1					
Perdigão Sustainable Swine Production 02 – Methane capture and combustion					
BRASCARBON Methane Recovery Project BCA-BRA-03					
BRASCARBON Methane Recovery Project BCA-BRA-08					
BRASCARBON Methane Recovery Project BCA-BRA-02					
BRASCARBON Methane Recovery Project BCA-BRA-05					
BRASCARBON Methane Recovery Project BCA-BRA-07					
Project of treatment and swine’s manure utilization at Ecobio Carbon - Swineculture Nº 4					
Project of treatment and swine’s manure utilization at Ecobio Carbon – Swine Culture Nº 2”					
Project of treatment and swine’s manure utilization at Ecobio Carbon - Swineculture Nº 3”					
Project of treatment and swine’s manure utilization at Ecobio Carbon – Swine Culture Nº 5					
Amazon Carbon Swine Waste Management System Project 03				10/03/09	
Mitigation of the environmental passive through the management of the swine manure and renewable electricity generation					1,0
Carroll’s Foods do Brasil & LOGICarbon – GHG Emission Reductions from Swine Manure Management System, Diamantino, MT					1,8
Batavo Cooperativa Agroindustrial: Greenhouse emission reductions on swine production by means the installation of better waste management systems.					

(*) Em 2012.

(**) Definido como os CERs emitidos dividido pelo número de CERs esperados no mesmo período.

(***) No final de 2012.

7.3. Programas, planos e ações governamentais no setor de resíduos

A seguir, na Tabela 28, são resumidos os principais programas, planos e ações governamentais no setor de resíduos em vigor em 2009.

Tabela 29 - Resumo dos programas, planos e ações governamentais no setor de resíduos

Referência	Administração	Descrição
Pacto pelo Saneamento Básico	Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental	O Pacto pelo Saneamento Básico traz, em linhas gerais, a concepção do Plansab e as definições em termos de conteúdo, pressupostos, grandes desafios, eixos estruturantes, temas e objetivos prioritários do Plano.
Termo de Referência – Panorama do Saneamento Básico no Brasil	Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental	O Ministério das Cidades realizou uma Chamada Pública, com limite de envio de proposta até 30/03/09, para a elaboração de um estudo do Panorama do Saneamento Básico no Brasil. Este estudo deverá apresentar um diagnóstico da situação do país, com relação aos 4 componentes do saneamento básico, e servirá como apoio, juntamente com o Pacto pelo Saneamento Básico, para a formulação do Plansab. O prazo para a execução do estudo é de 6 meses, contados a partir da assinatura do contrato.
Programa de Ação Social em Saneamento (PASS-BID)	Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental	Este Programa visa ampliar a cobertura e melhorar a qualidade dos serviços de saneamento ambiental urbano, nas modalidades: abastecimento de água, esgotamento sanitário, melhoria da gestão empresarial dos prestadores de serviços integrantes do Programa, educação sanitária e ambiental, capacitação de entidades ambientais, apoio à realização de estudos para o desenvolvimento de políticas para o setor de saneamento. Os recursos de financiamento internacional destinam-se a municípios de pequeno e médio porte, nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, no Espírito Santo e no norte de Minas Gerais, regiões estas com maiores déficits em saneamento básico.
Programa Saneamento para Todos	Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental	O Programa Saneamento para Todos tem por objetivo promover a melhoria das condições de saúde e da qualidade de vida da população por meio de ações que visam à redução dos déficits no setor de saneamento básico em áreas urbanas. Para isso, o Programa financia empreendimentos nas modalidades: abastecimento de água; esgotamento sanitário; saneamento integrado; desenvolvimento institucional; manejo de águas pluviais; manejo de resíduos sólidos; manejo de resíduos da construção e demolição; preservação e recuperação de mananciais; e estudos e projetos. Os recursos para a contratação dos empreendimentos são oriundos do FGTS. Através da Instrução Normativa nº 33, de 1º de Agosto de 2007, que regulamenta os procedimentos e as disposições relativas às operações de crédito no âmbito do Programa Saneamento para Todos – Mutuários Privados e Mutuários Sociedades de Propósito Específico, instituído pela Resolução nº 476, de 31 de maio de 2005, modificada pela Resolução nº 491, de 14 de dezembro de 2005, ambas do Conselho Curador do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço.

Referência	Administração	Descrição
Programa de Educação Ambiental e Mobilização Social em Saneamento (PEAMSS)	Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental	O PEAMSS apresenta os princípios, as diretrizes, os fundamentos e as linhas de ação que devem orientar as intervenções de Educação Ambiental e Mobilização Social em Saneamento. Trata-se de um Programa orientador e instrumentalizador da articulação entre diferentes atores, sejam eles: Poder Público, órgãos, instituições, setor privado, universidades ou sociedade civil que atuam no desenvolvimento de ações de Educação Ambiental em Saneamento, dentro da demanda dos programas e investimentos do Governo Federal.
Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS)	Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental	O PMSS é um Programa que objetiva a capacitação de técnicos, controle de perdas de água, melhoria da eficiência dos prestadores públicos de serviços, contribuir para a ampliação da cobertura dos serviços de água e esgoto, e elaboração de estudos para a construção do Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS). O financiamento vem do Banco Mundial, União e Prestadores de Serviços de Saneamento, e destina-se a municípios, estados, companhias de saneamento e agências reguladoras. Em maio de 2003 foi divulgado o estudo “Dimensionamento das necessidades de investimentos para a universalização dos serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgotos sanitários no Brasil”. Este estudo teve como objetivo estimar as necessidades de investimentos para a universalização dos serviços de abastecimento de água e coleta de esgotos sanitários no Brasil. Tais estimativas foram calculadas para o ano base de 2000, além de projeções futuras para os anos 2010, 2015 e 2020. As demandas pelos serviços de saneamento, bem como as estimativas de custos associadas a elas foram levantadas por estados e pelas 5 grandes regiões do Brasil. Fonte de recursos: Banco Mundial, União e Prestadores de Serviços de Saneamento.
Programa Serviços Urbanos de Água e Esgoto	Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental	Este Programa visa apoiar a implementação e ampliação de sistemas de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos sanitários, em municípios com população superior a 50 mil habitantes. O orçamento para tais ações é proveniente do Orçamento Geral da União (OGU).
Projeto de Assistência Técnica ao Prosanear (PAT Prosanear)	Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental	O PAT Prosanear visa proporcionar a elaboração e a implementação de estudos e projetos de saneamento ambiental, bem como a capacitação e o desenvolvimento institucional e de recursos humanos, fortalecimento social, fiscalização e avaliação, em busca de uma melhoria das condições de habitabilidade de assentamentos humanos precários.
Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA)	Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental	O PNCDA envolve a parceria de entidades representativas do setor de saneamento, ONGs, entidades normativas (ABNT, Inmetro etc.), fabricantes de materiais e equipamentos, prestadores de serviços (público e privado), universidades, centro de pesquisas e demais órgãos da esfera federal no fomento à implementação de medidas de conservação da água de abastecimento e a eficiência energética nos sistemas de saneamento.

Referência	Administração	Descrição
Projetos Prioritários de Investimentos – PPI – Intervenções em favelas	Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Habitação e Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental	Este manual apresenta as orientações necessárias ao processo de apresentação, seleção e análise de propostas de intervenção em favelas, que é um dos Projetos Prioritários de Investimentos (PPI) do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). As intervenções têm como objetivo a implantação de ações necessárias à regularização fundiária, segurança, salubridade e habitabilidade de população localizada em área inadequada à moradia, visando a sua permanência ou realocação, por intermédio da execução de ações integradas de habitação, saneamento e inclusão social.
Programa RSU	Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – em conjunto com outros Ministérios, BNDES e Funasa.	O Programa RSU apoia estudos, planos, projetos, implantação, ampliação ou melhoria dos serviços de limpeza urbana, coleta, tratamento e disposição final de RSU, envolvendo implantação ou adequação de aterros sanitários, centrais de reciclagem e compostagem, equipamentos para coleta e acondicionamento, remediação de lixões, inserção social dos catadores, organização de cooperativas de trabalho, outros trabalhos sociais relacionados, bem como capacitação e desenvolvimento institucional. A fonte de recursos para o Programa é o Orçamento geral da União (OGU).
Projeto CDM Aplicado à Redução de Emissões de Gases Gerados nas Áreas de Disposição Final de Resíduos Sólidos	Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental / Ministério do Meio Ambiente / Banco Mundial	Este projeto tem como foco os 200 municípios mais populosos, que concentram mais da metade da população brasileira e são responsáveis por cerca de 60% do total de RSU gerados no país. As atividades do projeto visam a contribuir para o desenvolvimento sustentável nas áreas urbanas, disseminando o CDM como ferramenta eficaz para a implementação de programas econômicos, sociais e ambientais. Destinam-se, também, ao aproveitamento do biogás proveniente de aterros para a geração de energia e à erradicação de lixões, contribuindo para a inclusão social e para a emancipação das famílias que vivem da catção dos resíduos sólidos, proporcionando benefícios nos aspectos ambientais e sociais envolvidos. Os recursos financeiros para este projeto foram provenientes do Banco Mundial e do Governo do Japão.
Programa Pró-Municípios	Ministério das Cidades	Programa que tem por ação a implantação ou melhoria de obras de infraestrutura em municípios de pequeno, médio e grande porte. As modalidades previstas são: infraestrutura urbana, abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana, elaboração de planos diretores de desenvolvimento urbano, melhoria das condições de mobilidade urbana, produção ou aquisição de unidades habitacionais e urbanização de assentamentos precários. O orçamento deste Programa é proveniente do Orçamento geral da União (OGU).
Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA)	Ministério do Meio Ambiente	O Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), criado há 19 anos, é hoje o principal fundo público de fomento ambiental do Brasil, constituindo-se como um importante parceiro da sociedade brasileira na busca pela melhoria da qualidade ambiental e de vida. Tendo apoiado iniciativas da sociedade civil e de órgãos e entidades governamentais que promovam a recuperação, a conservação e a preservação do meio ambiente, o FNMA é hoje referência pelo processo transparente e democrático na seleção de projetos. A gestão descentralizada confere ao FNMA um potencial de capilaridade que permite fomentar iniciativas para o tratamento de problemas ambientais em todo o país, sendo o problema de resíduos sólidos um deles.

Referência	Administração	Descrição
Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (Prodes)	Ministério do Meio Ambiente/Agência Nacional das Águas - ANA	O Prodes consiste no estímulo financeiro à implantação de novas estações de tratamento de esgotos ou à ampliação de ETE existente. O Programa paga pelos resultados e remunera o prestador de serviços pelo tratamento de esgotos realizado nas condições definidas em Contrato de Pagamento pelo Esgoto Tratado.
Programa Brasil Joga Limpo	Ministério do Meio Ambiente	O Brasil Joga Limpo é um programa do Governo Federal e tem por objetivo viabilizar projetos no âmbito da Política Nacional de Meio Ambiente, conforme critérios e deliberações do Fundo Nacional do Meio Ambiente - FNMA. O programa é operado com recursos do Orçamento Geral da União - OGU, repassados aos Municípios e concessionárias estaduais e municipais de acordo com as etapas do empreendimento executadas e comprovadas. Os principais objetivos deste Programa são: elaboração do Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, implantação de Aterro Sanitário, implantação de Unidades de Tratamento, implantação de Obras de Destino Final, implantação de Coleta Seletiva e Recuperação de Lixão.
Programa de Aceleração do Crescimento (PAC)	Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão	O Programa de Aceleração do Crescimento – PAC é um programa de incentivo ao desenvolvimento, instituído para promover o crescimento econômico, a geração de empregos e a melhoria das condições de vida da população brasileira. O tema saneamento está inserido no bloco investimentos em infraestrutura, no eixo infraestrutura social e urbana. O PAC Saneamento pretende melhorar e ampliar o acesso da população brasileira aos serviços de saneamento básico. Por meio de mudanças de caráter institucional, aprimoramento dos mecanismos de gestão e incremento dos investimentos em infraestrutura, o PAC tem como meta proporcionar o acesso de 7 milhões de domicílios aos serviços de abastecimento de água; 7,3 milhões de domicílios aos serviços de esgotamento sanitário; e, 8,9 milhões de domicílios à coleta adequada de resíduos sólidos.
Fomento para a Organização e o Desenvolvimento de Cooperativas Atuantes com Resíduos Sólidos	Ministério do Trabalho e Emprego	Realização de estudos de viabilidade econômica de empreendimentos relacionados com resíduos sólidos; subsidiar financeiramente projetos de incubação de cooperativas que trabalham com resíduos sólidos; estímulo e apoio a ações de constituição de complexos cooperativos nas cadeias produtivas relacionadas aos resíduos sólidos; articulação de parcerias com outros ministérios buscando a não sobreposição de ações e a otimização dos recursos.
Programa em Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab)	Ministério da Ciência e Tecnologia/ Financiadora de Estudos e Projetos (Finep)	O Prosab tem por objetivo apoiar o desenvolvimento de pesquisas e o aperfeiçoamento de tecnologias nas áreas de águas de abastecimento, águas residuárias e resíduos sólidos que sejam de fácil aplicabilidade, baixo custo de implantação, operação e manutenção e que resultem na melhoria das condições de vida da população brasileira, especialmente as menos favorecidas.
Funasa/PAC	Fundação Nacional da Saúde/Ministérios das Cidades e da Integração Nacional	Este Programa da Funasa, por meio de recursos do PAC, prioriza a melhoria do saneamento em municípios com população total de até 50.000 hab., e enfoca ações em sistemas de abastecimento de água, sistemas de esgotamento sanitário, sistemas de resíduos sólidos e melhorias sanitárias domiciliares.
Projetos de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos do BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social	Este Programa visa dar apoio a projetos de investimentos, públicos ou privados, que buscam a universalização do acesso aos serviços de saneamento básico e a recuperação de áreas ambientalmente degradadas, a partir da gestão integrada dos recursos hídricos e da adoção das bacias hidrográficas como unidade básica de planejamento. Os segmentos dos investimentos são: abastecimento de água, esgotamento sanitário, efluentes e resíduos industriais, resíduos sólidos, gestão de recursos hídricos, recuperação de áreas ambientalmente degradadas e despoluição de bacias, em regiões onde já estejam constituídos Comitês.

Referência	Administração	Descrição
Projetos Multissetoriais Integrados Urbanos (PMI)	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social	Conjunto de projetos que integram o planejamento e as ações dos agentes municipais em diversos setores com vistas a contribuir para a solução dos problemas estruturais dos centros urbanos. Os projetos a serem financiados pelo BNDES também podem ser focados a um setor específico, como saneamento ou transporte, por exemplo, na medida em que compõem planos de governos municipais mais abrangentes. Dentre os empreendimentos financiáveis, estão os de Saneamento ambiental (abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem urbana).
		A Lei 11.478, de 29.5.2007, publicada no DOU de 30.5.2007, institui o Fundo de Investimento em Participações em Infraestrutura – FIP- IE e dá outras providências. Conversão da MPv nº 348, de 2007.

7.4. Marco regulatório nacional do setor de resíduos

A seguir, na Tabela 31, são enumeradas as leis do setor de resíduos, em vigor em 2009.

Tabela 30 - Resumo dos requisitos legais aplicáveis no setor de resíduos no âmbito federal

Requisito Legal.	Ementa.
Constituição Federal, de 1988	Constituição Federal do Brasil Texto Compilado
Lei 11.445, de 5.1.2007 Publicada no DOU de 8.1.2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Mensagem de Veto Minuta de Decreto, de 6.8.2007, para regulamentação da Lei (ainda não publicado) Projetos de Lei e Pareceres Jurídicos anteriores à aprovação da lei.
Projeto de Lei 1.991-2007	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Exposição de Motivos.
Lei 11.107, de 6.4.2005 Publicada no DOU de 18.1.2007	Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. Mensagem de Veto. Decreto 6.017, de 17.1.2007, regulamenta a lei 11.107 Pareceres Jurídicos.
Lei 11.079, de 30.12.2004 Publicada no DOU de 31.12.2004	Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública. Mensagem de Veto.
Lei 10.257, de 10.07.2001 Publicada no DOU de 11.07.2001	Estatuto das Cidades - Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Mensagem de Veto.
Lei 9.984, de 17.7.2000 Publicada no DOU de 18.7.2000	Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Mensagem de Veto.

Requisito Legal.	Ementa.
Lei 9.795, de 27.04.1999 Publicada no DOU de 28.01.1999	Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Mensagem de Veto.
Lei 9.433, de 8.1.1997 Publicada no DOU de 9.1.1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Mensagem de Veto.
Lei 9.074, de 7.7.1995 Publicada no DOU de 8.7.1995 – Ed. Extra republicada em 28.9.1998	Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Mensagem de Veto. Texto Compilado.
Lei 8.987, de 13.2.1995 Publicada no DOU de 14.2.1995 e republicada em 28.9.98	Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. Mensagem de Veto. Texto Compilado.
Lei 8.666, de 21.6.1993 Publicada no DOU de 22.6.1993 Republicado no DOU de 6.7.1994	Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Mensagem de Veto. Texto Compilado.
Lei 8.080, de 19.9.1990 Publicada no DOU de 20.9.1990	Lei do SUS - Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. Mensagem de Veto.
Lei 8.078, de 11.9.1990 Publicada no DOU de 12.9.1990 - Ed. Extra	Código de Defesa do Consumidor – Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Mensagem de Veto. Texto Compilado. Decreto 5.903, de 20.9.2006, regulamenta a lei.
Lei 7.797, de 10.7.1989 Publicada no DOU de 11.7.1989	Cria o Fundo Nacional de Meio Ambiente e dá outras providências.
Lei 6.938, de 31.8.1981 Publicada no DOU de 2.9.1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Texto Compilado. Decreto 99.274, de 6.6.1990, regulamenta a lei. Decreto 99.274, de 6.6.1990 – Texto compilado.

8. *Referências bibliográficas.*

- ALVES, J. W. S. Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos. São Paulo, 2000. Dissertação de Mestrado do Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo.
- ALVES, J.W.S.; VIEIRA, S. M. M. Inventário Nacional de emissões de metano pelo manejo de resíduos. CETESB, 1998, 88p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8419: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro, 1984.
- BRASIL. Ministério das Cidades. In: Programa de Modernização do Setor de Saneamento – PMSS II (2003). “Dimensionamento das necessidades de investimentos para universalização dos serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgotos sanitários no Brasil”. Disponível em: <http://www.pmss.gov.br/pmss/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=115>.
- BRASIL. Ministério das Cidades. In: Relatório de Atividades 2007 do Programa de Aceleração do Crescimento – Saneamento Básico (2007-2010). Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/ministerio-das-cidades/destaques/relatorio-de-atividades-do-pac-2007>
- BRASIL. Ministério das Cidades. In: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água, Esgotos e de Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos (2006). CD-Rom – SNIS - Série Histórica 5. junho, 2008
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. In: Plano Nacional de Energia (PNE 2030). Disponível em: http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=8213, Brasília 2007.
- CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2000.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Resíduos sólidos industriais. 2ª ed. 1993.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM (CEMPRE). Reduzindo, Reutilizando, Reciclando: A Indústria Ecoeficiente. São Paulo, 2000.
- CUNHA, M. E. G. Análise do Setor de Saneamento Ambiental no Aproveitamento Energético de Resíduos: “O caso do município de Campinas”. 2002. 128f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- ECOINVEST. GHG capture and combustion from swine farms in Southern Brazil. 2006. 56p.
- ESSENCIS Soluções Ambientais SA. Project Design Document. Landfill gas emission reduction. Landfill gas emission reduction - Caieiras, SP Brazil. 2004. 42p.
- FIGUEIREDO, P. J. M. Os resíduos sólidos e sua significação ao impasse ambiental e energético da atualidade. 1993, Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- GAZETA MERCANTIL. Análise Setorial: Saneamento Básico. São Paulo, 1998. v. 3.
- HENRIQUES, R. C. Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma Abordagem Tecnológica. Rio de Janeiro, 2004. Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo IBGE (2000). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Contagem IBGE (2008). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. IPT/CEMPRE. In: Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado, São Paulo, 2000. 370 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guia Revisado de 1996 para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa**. Volume 2, 1996.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC (2000). In: IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC (2006). In: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>
- KIELY, G. Environmental Engineering. McGraw-Hill, 1997.
- LORA, E. E. S. Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2002.
- MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. Água na indústria: uso racional e reuso. Oficina de Textos. São Paulo, 2005.
- MUYLAERT, M. S.; SALA, J.; FREITAS, M. A. V. de. Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta – Análise do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL - do Protocolo de Quioto - Estudos de Caso. Rio de Janeiro: COPPE, 2000.
- OLIVEIRA, J. C. D. Estudo experimental da regeneração térmica de areia de macharia em leite fluidizado. Campinas, 2007. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas.
- OLIVEIRA, L. B. Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos e abatimento de emissões de gases do efeito estufa. Rio de Janeiro, 2000. 136 f. Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO (PROSAB). Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro, 2003.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **A cidade e o Lixo**. São Paulo, 1998.
- THEODORE, L.; REYNOLDS, J. Introduction to Hazardous Waste Incineration. 6th edition, New York: John Wiley & Sons, 1987, 463 p.
- VON SPERLING, M. Lagoas de estabilização. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 1998.
- WILLUMSEN, H. C. Energy recovery from land fill gas in Denmark and worldwide. Denmark: LFG Consultant, 2001.



BANCO MUNDIAL