



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Faculdade de Engenharia Mecânica

Fábio Viana de Abreu

**Análise de Viabilidade Técnica e Econômica da
Geração de Energia Através do Biogás de Lixo em
Aterros Sanitários**

Rio de Janeiro
2009

**Análise de viabilidade técnica e econômica da geração de energia
através do biogás de lixo em aterros sanitários**

UERJ
2009

Fábio Viana de Abreu

**Análise de Viabilidade Técnica e Econômica da
Geração de Energia Através do Biogás de Lixo em
Aterros Sanitários**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Fenômenos de Transporte

Orientador: Prof. Manoel Antonio da Fonseca Costa Filho
Co-orientador: Prof. Mauro Carlos Lopes Souza

Rio de Janeiro
2009

CATALOGAÇÃO NA FONTE

A162a	<p>Abreu, Fabio Viana de. Análise de viabilidade técnica e econômica da geração de energia através do biogás de lixo em aterros sanitários / Fabio Viana de Abreu. - 2009. 177 f.: il.</p> <p>Orientadores: Manoel Antonio da Fonseca Costa Filho; Mauro Carlos Lopes Souza. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia Mecânica. Bibliografia: f. 121-127.</p> <p>1. Aterros sanitários. 2. Biogás. 3. Energia elétrica. 4. Resíduos sólidos urbanos. 5. Avaliação Econômica. 6. Sustentabilidade. I. Costa Filho, Manoel Antonio da Fonseca. II. Souza, Mauro Carlos Lopes. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 621.316.99</p>
-------	---

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos a reprodução total ou parcial desta dissertação.

Assinatura

Data

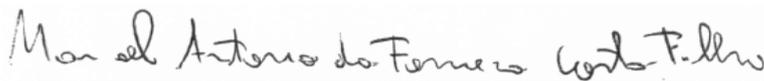
Fábio Viana de Abreu

Análise de Viabilidade Técnica e Econômica da Geração de Energia Através do Biogás de Lixo em Aterros Sanitários

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Fenômenos de Transporte

Aprovado em 23 de Novembro de 2009

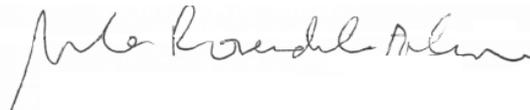
Banca Examinadora:



Prof. Manoel Antonio da Fonseca Costa Filho, DSc. (Orientador)
PPG - Eng. Mecânica - FEN/UERJ



Prof. Mauro Carlos Lopes Souza, DSc. (Co-orientador)
PPG - Eng. Mecânica - FEN/UERJ



Prof^a. Mila Rosendal Avelino, DSc.
PPG - Eng. Mecânica - FEN/UERJ



Prof. Luiz Pinguelli Rosa, DSc.
PPE - COPPE/UFRJ



Prof. José da Rocha Miranda Pontes, DSc.
COPPE/UFRJ

Rio de Janeiro
2009

DEDICATÓRIA

A minha esposa Natália Arantes de Carvalho, por estimular meu desenvolvimento acadêmico, pessoal e profissional, além da sua compreensão e apoio para realização deste trabalho, mesmo tendo que me ausentar em alguns momentos do convívio diário.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Manoel Antonio da Fonseca Costa Filho, por acreditar no meu potencial para a realização dessa dissertação.

Ao Prof. Mauro Carlos Lopes Souza, por suas valiosas sugestões para a realização dessa dissertação e ensinamentos na disciplina de Biogás.

A Prof^a. Mila Avelino por seus ensinamentos, confiança e apoio sempre presente.

Ao Prof. Norberto, por sua dedicação e conhecimentos transmitidos.

Ao Prof. Luiz Pecorelli, pela oportunidade de estudo e conhecimento na área de Veículos Elétricos e aos demais Professores da UERJ.

Ao Centro de Estudos e Pesquisas em Energias Renováveis (CEPER), que sempre disponibilizou toda sua infra-estrutura para a realização deste trabalho, além do convívio com professores deste Centro de Estudos.

Agradeço aos funcionários da UERJ pela qualidade dos serviços prestados, em especial a Maxini Matos e a Renata Rezende.

Aos colegas da área de Materiais e Universidade Petrobras, em especial aos meus superiores hierárquicos diretos Antonio Ezequiel Rodriguez e Rafael Brandão que sempre apoiaram e incentivaram a realização do Mestrado. Além do Tiago Said da Gerência de Desempenho Empresarial.

Aos diversos colegas da Petrobras Distribuidora, como o Administrador Pleno Jose Wellington, o Consultor da termoelétrica de Suape II Emanuel Nazareno, entre outros. Aos meus superiores hierárquicos diretos Valter Carvalhaes, Pablo Vargas e Carmelo Scofano que sempre foram solícitos em me liberar para realizar o Mestrado na UERJ.

Agradeço aos colegas Valdeci Nascimento, Adriano Gatto, entre outros do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica e do Centro de Pesquisas em Energias Renováveis, pelas discussões técnicas e científicas, além da rede de relacionamentos e amizades construídas.

Agradeço ao José Penido, por disponibilizar os dados de sua palestra sobre o Aterro de Gramacho no Clube de Engenharia em 2007.

Aos meus pais e familiares que proporcionaram os sustentáculos básicos para realização do curso de Mestrado.

RESUMO

ABREU, Fábio Viana. *Análise de Viabilidade Técnica e Econômica para Geração da Energia Através do Biogás de Lixo em Aterros Sanitários* 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

A geração de energia a partir do biogás do lixo em aterros sanitários é uma maneira de produzir energia elétrica renovável e limpa, reduzindo os impactos globais provocados pela queima dos resíduos sólidos urbanos. A contribuição ambiental mais relevante é a redução de emissões dos gases de efeito estufa (GEE), por meio da conversão do metano em dióxido de carbono, visto que o metano possui um potencial de aquecimento global cerca de 21 vezes maior, quando comparado ao dióxido de carbono (através da combustão do mesmo). De acordo com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), os países ricos podem comprar créditos de carbono (CERs) dos países em desenvolvimento (que possuam projetos sustentáveis) para cumprir suas metas ambientais. O objetivo é transformar um passivo ambiental (destinação final dos resíduos sólidos urbanos) em um recurso energético, além do estudo da alternativa de obtenção de recursos financeiros através dos CERs. São analisadas as tecnologias de conversão energética (tecnologia de gás de lixo, incineração, entre outras), com a seleção da melhor alternativa para a geração de energia através do biogás de lixo em aterros sanitários. A metodologia utilizada é a recomendada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - USEPA (2005). Serão apresentadas outras duas metodologias de cálculo da geração de metano: a do Banco Mundial e a do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). São apresentados estudos comparativos demonstrando quando as turbinas a gás, motores de combustão interna (ciclos Otto ou Diesel) ou outras tecnologias de conversão energética serão viáveis na área técnica e econômica para implantação de Unidades Termoelétricas a biogás. No caso do Aterro de Gramacho, o projeto é viável com a utilização de motores a combustão interna e a obtenção de receitas com a venda da produção de energia e créditos de carbono. Por fim, será apresentada a alternativa do uso do biogás como substituto do gás natural para fins energéticos ou outros fins industriais.

Palavras chave: Aterro Sanitário, Biogás, Energia Elétrica, Resíduos Sólidos Urbanos, Avaliação Econômica e Sustentabilidade.

ABSTRACT

The power generation through Biogas from wastes in landfill is a way to generate renewable and clean electric energy, reducing the global impacts provoked by the burning of urban solid wastes. The more important environmental contribution associated to this project is the reduction of greenhouse gases emissions (GHG), by means of the conversion of methane in carbon dioxide, since the methane has a potential of global warming about 21 times higher than carbon dioxide (through the combustion of the same). In accordance with the clean development mechanism (CDM), the industrialized countries can buy carbon credits from the developing countries (if they possess sustainable projects) to achieve their ambient goals. The objective is to transform environmental liability (final destination of the urban solid wastes) in an energetic resource, beyond the study of the alternative for obtaining financial resources through the CERs, that also is object of the present study. The technologies of energy conversion are analyzed (landfill gas, incineration, among others) with the selection of the best solution for the power generation through biogas from wastes in landfills. The methodology used is the recommended by the United States Environmental Protection Agency - USEPA (2005). Others two methodologies of calculation of the methane generation are presented: from World Bank and from IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Changes). Comparative studies are presented demonstrating when gas turbine, internal combustion engines (Otto or Diesel cycles) or other technologies for energy conversion have technical and economical feasibility for implantation of the power plant. In the case of Gramacho's Landfill, the project is feasible with the use of internal combustion engines and incomes obtained with energy sales and carbon credits. Finally, they are presented the alternative of the use of biogas as substitute of the natural gas for energetic uses or other industrial ends.

Keywords: Landfill, Biogas, Electric Energy, Urban Solid Waste, Economical Analysis and Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

1	Rotas dos resíduos sólidos urbanos na cidade do Rio de Janeiro.....	30
2	Motogerador LANDSET.....	52
3	Sistema integrado de captação e conversão do biogás em energia.....	53
4	Motores a Combustão Interna - Aterro de São João.....	54
5	Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de El Combeima, Ibague, Colômbia	55
6	Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de El Carrasco, Colômbia	57
7	Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de Queretaro, México ..	59
8	Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de Chihuahua, Mexico.....	61
9	Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de Montevidéu/Uruguai com o encerramento do aterro em 2009.	62
10	Projeção de recuperação do gás de lixo no aterro de Santa Tecla, RS.....	65
11	Projeção de recuperação do gás de lixo no aterro de Muribeca - PE.....	67
12	Projeção de recuperação do gás de lixo no aterro de Huaycoloro	69
13	Fluxograma para implantação de uma Usina de Energia	81
14	Panorama do lixo no estado do Rio de Janeiro.	86
15	Valor das Opções Reais.	146
16	Projeto Aterro Bandeirantes.....	152

LISTA DE GRÁFICOS

1	Lixo gerado na cidade do Rio de Janeiro.....	32
2	Evolução do lixo domiciliar no Rio de Janeiro.....	33
3	Evolução da matéria orgânica no Rio de Janeiro.....	33
4	Composição do lixo no Rio de Janeiro.....	34
5	Opção para tratamento e disposição final do lixo.	34
6	Recuperação de biogás projetado no Aterro Sanitário de Gramacho.....	94
7	Oferta de Energia Interna.	119
8	Comparativo CER X TIR (%) com o Investimento inicial de 100%.	138
9	Comparativo CER X TIR (%) com o Investimento inicial de 25% (outros 75% são financiamentos).	139
10	Cotação dos créditos de carbono em Euro (CER) e EUA.....	149
11	Cenário mundial financeiro do mercado de carbono.....	150

LISTA DE TABELAS

1	Avaliação geral do segmento de resíduos sólidos no Brasil	26
2	Evolução da coleta de lixo no Brasil	26
3	Esfera administrativa das prestadoras de serviços de coleta de lixo.	27
4	Orçamento municipal destinado à limpeza urbana e a coleta de lixo.	27
5	Domicílios com lixo coletado em cada município.....	28
6	Destinações recomendadas pelo Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (SIGRS).....	29
7	Tecnologias para geração de energia a partir do biogás	50
8	Tecnologias de conversão	53
9	Análise Econômica do aterro sanitário de El Combeima - Colômbia.....	56
10	Análise Econômica do aterro sanitário de El Carrasco - Colômbia.....	58
11	Análise Econômica do aterro sanitário de Queretaro - México	60
12	Análise Econômica do aterro sanitário de Chihuahua - México.....	61
13	Análise Econômica do aterro de Montevideu recebendo RSU até 2005	64
14	Análise Econômica do aterro de Montevideu recebendo RSU até 2009	64
15	Análise Econômica do aterro de Santa Tecla - RS.....	66
16	Análise Econômica do aterro de Muribeca - PE.....	68
17	Análise Econômica do aterro de Huaycoloro - Peru.	70
18	Valores para k propostos em correspondência com a precipitação anual.....	73
19	Valores L_0 em função da degradação do resíduo.....	74
20	Fator de Correção do Metano (FCM) pelo IPCC.....	76
21	Valores recomendados para o Carbono Orgânico Degradável (COD) nos principais tipos de resíduos.....	76
22	Incertezas associada aos parâmetros sugeridos pelo IPCC.....	78
23	Tributos incidentes em projetos de energia.	85
24	Contabilização dos resíduos sólidos urbanos (ton./mês e ton./dia).	87
25	Histórico da Deposição de Resíduos.....	88
26	Composição dos Resíduos do Aterro de Gramacho.....	89
27	Determinação do Valor de L_0 (potencial máximo de geração de metano).....	92
28	Comparação da Composição dos Resíduos Gramacho x EUA.....	92

29	Sumário dos valores de k e L ₀	93
30	Custos Orçamentários Iniciais do Sistema de Coleta do Biogás com Queimador.....	99
31	Custos Orçamentários Anuais de Operação, Manutenção e Expansão/Substituição do Sistema de Coleta e de Queima.	100
32	Custos Orçamentários Anuais de Registro, Monitoramento e Verificação do Projeto.....	101
33	Custos Orçamentários da UTE	102
34	Custos Orçamentários Anuais de Manutenção da UTE.....	102
35	Sumário das Taxas de Recuperação de Biogás e Capacidade (Bruta) da Usina Termoelétrica	103
36	Sumário dos pressupostos temporais dos sistemas de coleta e operação e capacidade (MW) do projeto.	104
37	Sumário da Avaliação Econômica (UTE).....	109
38	Avaliação Econômica com UTE (CER a \$5 e \$6 ton.CO ₂ eq.)	110
39	Sumário da Avaliação Econômica com UTE (energia a \$0,035 kWh)	111
40	Sumário da Avaliação Econômica com UTE (U.S \$0,029 kWh) e tributos.	112
41	Sumário da Avaliação Econômica com UTE (U.S \$0,035 kWh) e tributos.	113
42	Sumário da Avaliação Econômica com UTE e tributos.....	114
43	Mercado energético Brasileiro.	118
44	Dados iniciais básicos; Projeção de recuperação potencial de biogás (Aterro Sanitário de Gramacho - RJ).....	128
45	Cenário de elevada recuperação; Projeção da recuperação (90%) potencial de biogás (Aterro Sanitário de Gramacho - RJ).	129
46	Cenário de baixa recuperação; Projeção da recuperação (50%) potencial de biogás Aterro Sanitário de Gramacho – RJ.....	130
47	Cenário de recuperação média; Projeção da recuperação (70%) potencial de biogás Aterro Sanitário de Gramacho - RJ.....	131
48	Estimativa dos custos capitais de projeto: Utilização do biogás Aterro sanitário de Gramacho (Custos para realizar apenas a Combustão do Metano por Queima).....	132
49	Estimativa dos custos do capital de projeto: utilização de biogás, Aterro sanitário de Gramacho (utilização do metano para geração de eletricidade). 133	
50	Sumário executivo econômico	135

51	Percentual da taxa de juros de longo prazo – TJLP (%a.a.).....	136
52	Custo do Financiamento.	137
53	Dados Consolidados da Análise Econômica (VPL X TIR).	138
54	Cenário Médio; Análise de Sensibilidade com o \$/kWh de 0,029.....	139
55	Cenário Pessimista; Análise de Sensibilidade com o \$/kWh de 0,022.	140
56	Cenário Otimista; Análise de Sensibilidade com o \$/kWh de 0,035.....	141
57	Cenário com Investimento total elevado para US\$ 19.495.127.....	142
58	Cenário sem obtenção de receitas com créditos de carbono; Análise de Sensibilidade com diversas taxa de venda de energia em \$/kWh.....	143
59	Cenário completo de investimento (Cenário 1 x Cenário 2).....	144
60	Termos econômicos aplicado ao mercado de lixo.	148
61	Valor do Crédito de Carbono no Aterro Santa Tecla – RS.....	150
62	Análise de Investimentos para o uso direto de um gás de médio BTU.....	175
63	Recuperação de Biogás prevista	177

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	Avaliação do Impacto Ambiental
AL	América Latina
APA	Agência de Proteção Ambiental
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico
CEF	Caixa Econômica Federal
CER/s	Certificado de Emissão Reduzida
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico
CO ₂	Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico
COD	Carbono Orgânico Degradável
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPs	Comissão das Partes
CQNUMC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
CRA	Centro de Recursos Ambientais
CTR NI	Centro de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu
DOE	Entidade Operacional Designada
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ELETRORAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA-EUA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

EVTE	Estudo de Viabilidade Técnico e Econômico
FAPERJ	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro
GDL	Gás do Lixo
GEE / GHG	Gases de efeito estufa (Greenhouse Gas[es])
GIMGC	Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima
GIRSU	Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos
H ₂ S	Gás Sulfídrico
HDPE	Tubulação de polietileno de elevada densidade
HC	Hidrocarbonetos
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEF	Instituto Estadual de Florestas
INEA	Instituto Estadual do Meio Ambiente
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change ou Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LFG	Landfill Gas
LFGTE	Desenvolvimento de projetos para gerar energia através do biogás
LIMPURB	Limpeza Urbana de São Paulo
MBRE	Mercado Brasileiro de Redução de emissões
MCI	Motor a Combustão Interna
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MW	Megawatt

MWh / kWh	Megawatt-hora / Kilowatt-hora
NBR	Norma Brasileira
O & M	Operação e Manutenção
PDD	Project Design Document
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
P & D	Pesquisa e Desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PIE	Produtores Independentes de Energia
PL	Projeto de Lei
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PPMV	Parte por milhão em volume
PPBV	Parte por bilhão em volume
PUC-RIO	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
ROI	Raio de Influência
RPPN	Reservas Particulares do Patrimônio Natural
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SERLA	Superintendência Estadual de Rios e Lagoas
SIGRS	Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
t. ou Ton.	Tonelada
tCO ₂ eq.	Tonelada de Carbono equivalente
TIR	Taxa Interna de Retorno

TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo
TOC	Compostos orgânicos totais
TWh / GWh	Terawatts-hora / Gigawatts-hora
UTE	Usina termoelétrica
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	21
Objetivos	23
Objetivo Geral	23
Objetivos Específicos	23
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
1.1 Resíduos Sólidos Urbanos	24
1.1.1 Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos	24
1.2 Definição de Lixo / Resíduos Sólidos	25
1.3 Resíduos Sólidos no Brasil	25
1.4 As Rotas dos Resíduos Sólidos	28
1.4.1 Resíduos Sólidos na Cidade do Rio de Janeiro	31
1.5 Resíduos Sólidos Urbanos e Opções Energéticas	35
1.5.1 Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos	35
1.5.2 Células de Lixo	36
1.5.3 Incineração dos resíduos	36
1.5.4. Reciclagem	38
1.6 Aquecimento Global e Mercado de Carbono	38
1.6.1 Mercado de Carbono / Protocolo de Kyoto	39
1.6.2 O problema Atual do Aquecimento Global	41
1.6.2.1 Mecanismos de financiamentos e capitalizações de projetos / recursos externos	44
1.6.2.2 Criação de Linhas Domésticas Específicas para o MBRE	45
1.6.2.3 Desenvolvimento de Novas Metodologias de Linhas de Base e de Monitoramento	45
1.7 Legislação Aplicada aos RSUs	46

1.7.1 Da Política Nacional do Meio Ambiente	47
1.8 Tecnologias para Conversão do Biogás	49
1.8.1 Motor de Combustão Interna Alternativo	50
1.9 Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica - Estado da Arte	55
1.9.1 El Combeíma - Colômbia	55
1.9.2 El Carrasco - Colômbia	57
1.9.3 Queretaro - Mexico	58
1.9.4 Chihuahua - México	60
1.9.5 Montevideú - Uruguai	62
1.9.6 Santa Tecla (RS) - Brasil	65
1.9.7 Muribeca (PE) - Brasil	66
1.9.8 Huaycoloro - Peru	68
2 METODOLOGIA	71
2.1 Modelos Matemáticos para o Cálculo da Geração de Biogás	71
2.1.1 USEPA	71
2.1.2 Metodologia do Banco Mundial	72
2.1.3 Metodologia IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas	74
2.1.3.1 Determinação do Fator de Correção para o Metano	75
2.1.3.2 Constante de Geração.	76
2.1.3.3 Carbono Orgânico Degradável (COD).	76
2.1.3.4 Fração do Carbono Orgânico Degradável Assimilado COD_F	77
2.1.3.5 Fator de Oxidação OX	77
2.1.3.6 Incertezas Associadas	78
2.2 Estrutura do projeto, implementação e riscos	78
2.2.1 Etapas para implantação de um projeto de produção de energia em aterros sanitários através do biogás do lixo	80

2.3 Estudo de Caso: Aterro Sanitário de Gramacho	82
2.4 Análise Econômica e Tributação	82
2.4.1 Valor Presente Líquido (VPL)	82
2.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)	83
2.4.3 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	83
2.4.4 VPL X TIR	84
2.4.5 Tributos	85
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	86
3.1 Aterro de Gramacho	86
3.2 Determinação do Biogás a ser Produzido	88
3.2.1 Composição dos Resíduos	88
3.3 Aspectos técnicos do Sistema de coleta e utilização de biogás	89
3.3.1 Potencial de Recuperação do Biogás e Dimensionamento do Sistema de Coleta e Controle	90
3.3.2 Construção do Sistema de Coleta Inicial	94
3.3.3 Expansão e Manutenção do Sistema de Coleta	98
3.4 Custos Orçamentários para Sistema de Coleta e Queima de biogás	98
3.4.1 Custos do Sistema de Coleta e Queima de Biogás	99
3.4.2 Custos de Operação e Manutenção para o Sistema de Coleta e Queima de Biogás	100
3.4.3 Custos para Registro, Monitoramento e Verificação para o Sistema de coleta e Queima de Biogás	100
3.5 Geração Elétrica	101
3.5.1 Estimativa Orçamentária do Custo Inicial da Usina	101
3.5.2 Estimativa Orçamentária de Operação e Manutenção Anual	102
3.5.3 Aspectos Finais Sumarizados para Geração de Energia	103
3.6 Avaliação Econômica	104

3.6.1 Pressupostos Básicos	105
3.6.2 Despesas do Projeto	107
3.6.3 Receitas do Projeto	107
3.6.4 Sumário das Avaliações Econômicas	109
3.6.5 Análise econômica com tributos	111
4 CONCLUSÕES	115
4.1 Discussões e Perspectivas Futuras	117
REFERÊNCIAS	121
APÊNDICE A - Cenários e Aspectos Técnicos	128
APÊNDICE B - Cenários Econômicos	135
APÊNDICE C - Teoria das Opções Reais	145
APÊNDICE D - Cotação Mundial dos Créditos de Carbono	149
APÊNDICE E - Exemplo de Plantas Geradoras Existentes no Brasil	151
APÊNDICE F - Legislação Aplicada aos Resíduos Sólidos	155
APÊNDICE G - Contrato Típico da Compra e Venda de Biogás	161
ANEXO A - ICMS Ecológico	167
ANEXO B - Opções de Venda do Gás de Aterro	174

INTRODUÇÃO

Resolver a questão da disposição final dos resíduos sólidos de forma integrada desde a sua origem é fundamental para o desenvolvimento sustentável.

Os aterros sanitários em todo o mundo produzem cerca de 20 a 60 milhões de toneladas de metano por ano, resultado direto da decomposição orgânica dos componentes do lixo (Muyllaert et alli, 2000). Já o aterro sanitário de Gramacho, o principal aterro da região metropolitana do Rio de Janeiro produz cerca de 42.000 de toneladas de metano por ano.

A gestão adequada do lixo e a geração de energia através do biogás de lixo em aterros sanitários são soluções ambientalmente sustentáveis - gerando energia elétrica renovável e limpa - além disso, a geração de energia elétrica a partir do biogás permite a redução de fugas dos gases de efeito estufa (GEE) e a melhoria do índice de conversão do metano, contabilizado no cálculo para emissão de créditos de carbono dentro do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).

A negociação de créditos de carbono é a forma transacional do MDL [UNFCCC, 2007a]. Tal iniciativa induz investimentos em projetos sustentáveis onde pode haver redução de emissões e/ou seqüestro de carbono, assegurando um modelo de desenvolvimento limpo para os países emergentes, onde os custos de implementação de tais projetos são maiores [Cebds, 2001]. O Brasil, enquanto País signatário do Tratado de Kyoto, está habilitado a desenvolver projetos de redução dos GEE e emitir os créditos de carbono aos países industrializados, que devem reduzir suas emissões até 2012.

Neste trabalho foi escolhido o aterro de Gramacho, situado no Município de Duque de Caxias (RJ), que originalmente era um “lixão” e a partir do início da década de 1990 passou a receber cuidados para reduzir a agressão que causava ao meio ambiente.

O mais recente foi a conclusão da primeira fase da Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos, que trata diariamente 960 metros cúbicos de chorume (Comlurb, 2009). Esta era uma das principais preocupações dos ambientalistas temendo a contaminação da Baía de Guanabara.

Este trabalho realiza uma revisão bibliográfica analisando os seguintes pontos: resíduos sólidos urbanos, aquecimento global, mecanismo de desenvolvimento limpo, mercado de carbono e o estado da arte em estudo de viabilidade técnica e econômica para geração da energia através do biogás de lixo em aterros sanitários na América Latina. Além disso, são abordadas as legislações pertinentes ao setor de resíduos sólidos, onde existe um consenso que cabe ao município a titularidade nas questões envolvendo a coleta de lixo.

O biogás gerado nos aterros sanitários é composto basicamente de metano (CH_4 – de 55 a 65%), dióxido de carbono (CO_2 – de 35 a 45%), nitrogênio (N_2 – de 0 a 1%), hidrogênio (H_2 – de 0 a 1%) e gás sulfídrico (H_2S - de 0 a 1%) [Polprasert, 1996]. Num período de 100 anos, 1 grama de metano contribui 21 vezes mais para a formação do efeito estufa do que 1 grama de dióxido de carbono [UNFCCC, 2007]. A combustão completa do metano produz dióxido de carbono e vapor d'água.

Para produzir energia através do biogás do lixo oriundo de aterros sanitários foi utilizada a metodologia da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2005). Além disso, foi realizada uma análise de investimento do estudo de caso em questão com a utilização dos seguintes indicadores: Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

Este trabalho propõe apresentar estrutura de um projeto para implementação e seus riscos. Também são analisados o mercado de carbono, com a exposição das barreiras de ordem técnica, institucional, legal e financeira. Por fim, é esquematizado um sumário das Etapas para implantação de um projeto de produção de energia em aterros sanitários através do biogás do lixo.

Essa dissertação busca analisar o potencial energético dos resíduos sólidos urbanos e seus reflexos técnicos e econômicos. Além disso, analisar os problemas atuais do efeito estufa e da possível escassez de geração elétrica. Enfim, o trabalho busca apontar caminhos para resolver os problemas com a destinação final adequada dos resíduos sólidos urbanos.

Objetivos

Objetivo Geral

O objetivo geral é o estudo da viabilidade técnica e econômica da geração de energia através do biogás do lixo em aterros sanitários. Para o estudo de caso desse trabalho o aterro sanitário de Gramacho foi escolhido. Sua localização é na região metropolitana do Rio de Janeiro no município de Duque de Caxias.

Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo principal, o trabalho apresenta desdobramentos naturais, a saber:

- Proposição de destinação final de RSU's mais apropriada, proporcionando a redução do chorume, dos odores e da poluição ambiental. Como consequência a elevação da vida útil de um aterro sanitário e segurança ambiental local;
- Geração de energia a partir de fontes renováveis que deverá gerar receitas para os municípios através da venda desta energia e obtenção de créditos de carbono;
- Análise do papel do Estado do Rio de Janeiro no processo de desenvolvimento sustentável, estimulando a produção de energias renováveis através de incentivos fiscais e tributários e o desenvolvimento de pesquisas e projetos sobre o tema;
- Construção das bases científicas para tentar solucionar problemas reais e servir de suporte para a produção ecologicamente correta;
- Análise da legislação vigente na área ambiental e busca de soluções a serem protegidas pelo embasamento legal.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Resíduos Sólidos Urbanos

Neste capítulo serão abordados os estudos realizados até o presente, nas sub-áreas que se relacionam com o tema pretendido.

Como resultado do objetivo pretendido, fez-se necessária a busca por referências na área de resíduos sólidos, tendo especial atenção aos resíduos sólidos urbanos em virtude do fato deste trabalho abordar o estudos de caso do Aterro de Gramacho.

A realização da revisão bibliográfica de opções energéticas, aquecimento global, análise de mercado, legislação e tecnologias justifica-se pela proposta de desenvolvimento de um Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE), que também são apresentadas nesse capítulo.

Os resíduos tratados neste trabalho, definidos como sólidos pela Associação Brasileira de Norma Brasileira (ABNT NBR 10.004:2004), são aqueles:

resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também, resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível.

1.1.1. Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos podem ser classificados segundo sua origem, ou segundo suas modalidades físicas, como:

Quanto à sua origem (Oliveira, 1999):

- a) resíduos urbanos - provenientes de residências, atividades comerciais, varrição de ruas, podas de árvores e similares;
- b) resíduos industriais - gerados pelos processos de transformação;

c) resíduos agrícolas - decorrentes da atividade produtiva do setor primário (como por exemplo, os resíduos florestais e os provenientes do beneficiamento de grãos);

Quanto às suas qualidades físicas (Oliveira, 1999):

a) materiais inertes - vidros, metais, terras e cinzas e restos inertes;

b) materiais combustíveis - papéis, cartões, plásticos, madeira, gomas, couro, alimentos e outros.

c) materiais perigosos - resíduos radioativos, químicos, biológicos, atômicos e hospitalares.

1.2 Definição de Lixo / Resíduos Sólidos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas através da ABNT NBR 10.004/2004 definem o lixo como:

restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, podendo-se apresentar no estado sólido, semi-sólido ou líquido, desde que não seja passível de tratamento convencional.(ABNT, 2004).

1.3 Resíduos Sólidos no Brasil

A geração de desperdício e excessos, em âmbito nacional, são reflexos da adoção de um desenvolvimento que tem a característica do alto padrão de consumo.

A consciência do processo de coleta seletiva, triagem, aproveitamento, tratamento ou destino dos RSU é de fundamental relevância para elaboração de análises e estudos que priorizem o seu aproveitamento (Henriques, 2009).

O objetivo desse item é descrever o panorama nacional dos resíduos sólidos urbanos, no que se refere ao seu volume, tratamento, uso e disposição. Com isso, será possível visualizar todas as alternativas para produção de energia através do gás do lixo.

No estudo realizado sobre a disponibilidade dos serviços nos distritos brasileiros conforme apresentado na Tabela 1 é possível verificar que existe um percentual superior de locais com a realização de serviços de limpeza urbana e coleta de lixo. Nesse caso, não está sendo apurada a qualidade nem a eficácia do serviço prestado.

Tabela 1: Avaliação geral do segmento de resíduos sólidos no Brasil

Disponibilidade dos serviços nos distritos brasileiros	
Serviço	% dos distritos com o serviço
Limpeza urbana e coleta de lixo	85,1%
Drenagem urbana	58,5%

Fonte: Exame, 2008.

Na Tabela 2, é possível verificar uma evolução crescente no número de domicílios que estão sendo atendidos na coleta de lixo no Brasil. Do ano de 2001 a 2007, houve uma evolução da ordem de 8 milhões de domicílios na coleta de lixo no Brasil. Além desse dado quantitativo, houve um aumento de eficiência qualitativa com a elevação do percentual da coleta direta de 82,9% para 88,4% com relação aos milhões de domicílios atendidos.

Tabela 2: Evolução da coleta de lixo no Brasil

Ano	Domicílios (em milhões)	% com coleta direta
2001	46,9	82,9%
2002	48,0	84,8%
2003	49,7	85,7%
2004	51,0	85,8%
2005	52,3	86,8%
2006	53,8	87,6%
2007	55,5	88,4%

Fonte: Exame, 2008.

Na Tabela 3, o objetivo consiste na certificação da presença majoritária dos municípios na esfera administrativa das prestadoras de serviços de coleta de lixo.

Tabela 3: Esfera administrativa das prestadoras de serviços de coleta de lixo no Brasil

Tipo	Distritos	% do total de distritos
Municipal	5480	87,9%
Estadual	5	0,1%
Federal	1	0%
Particular	752	12,1%

Fonte: Exame, 2008.

Na Tabela 4, verifica-se que grande parte dos municípios não dispõe de recursos para investimentos e realização de serviços na área de resíduos sólidos urbanos.

Tabela 4: Orçamento municipal destinado à limpeza urbana e a coleta de lixo no Brasil

Proporção	Municípios	% do total de municípios
Menos de 5%	4.338	78,8%
5% a 10%	872	15,8%
10% a 20%	156	2,8%
Mais de 20%	31	0,6%
Sem previsão orçamentária	110	2,0%
Total	5507	100%

Fonte: Exame, 2008.

Na Tabela 5, pode-se verificar que uma parcela significativa dos domicílios não dispõe de coleta de lixo devido à atual limitação orçamentária.

Tabela 5: Domicílios com lixo coletado por município do Brasil.

Proporção	Municípios	% do total de municípios
Menos de 50%	489	8,9%
50% a 70%	728	13,2%
70% a 80%	771	14,0%
80% a 90%	955	17,3%
90% a 99%	526	9,6%
100%	1.814	32,9%
Sem informação	224	4,1%
Total	5.507	100,0%

Fonte: Exame, 2008.

1.4 As Rotas dos Resíduos Sólidos

As rotas de destinação e disposição final dos resíduos sólidos urbanos podem ser hierarquizadas. Quando esta hierarquia está baseada no critério de resíduo final mínimo, é conhecida como Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (SIGRS). Para o SIGRS, as rotas devem ser priorizadas na seguinte ordem: (1) redução da geração de lixo na fonte, (2) reutilização do material produzido, (3) reciclagem, (4) recuperação de energia e aterro sanitário. (SERÔA DA MOTTA; CHERMONT, 1996)

A priorização de ações, muitas vezes é conhecida como política dos três Rs, de “Reduzir”, “Reutilizar” e “Reciclar”, antes da disposição final. Segundo esta política, cada “R” obedece a uma hierarquia. A reutilização não deve ser considerada até que as possibilidades de redução na fonte tenham se esgotado. A reciclagem não deve ser levada em conta até que as possibilidades de utilização tenham se esgotado, e assim por diante, até se chegar à disposição final (KANAYAMA, 1999).

Em virtude das indispensáveis e profundas mudanças necessárias (envolvendo o comportamento da população e os interesses dos setores

econômicos), os dois primeiros estágios do SIGRS serão considerados como metas futuras. Isto se deve ao fato de que a Redução na Fonte e o Reaproveitamento, apesar de serem as práticas mais convenientes do ponto de vista ambiental, requerem grande investimento em conscientização e reestruturação do sistema (Oliveira, 2000).

Os resíduos sólidos oriundos dos setores industrial, comercial e residencial, após recolhidos, passam por um sistema de gerenciamento que identifica sua destinação, em função de algumas características. Esta destinação pode ser para a reciclagem, a compostagem ou para a geração de energia – a partir da queima, da gaseificação direta, da produção de celulignina ou através do biogás (gás de lixo - GDL) de um aterro energético – ou, ainda, um aterro sanitário, de acordo com as três fases finais do SIGRS, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6: Destinações recomendadas pelo Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (SIGRS).

DESTINAÇÃO	DESCRIÇÃO
RECICLAGEM	Aproveitamento dos restos de papéis, vidros, plásticos e metais que não estejam contaminados para servir como insumo na fabricação de novos materiais
COMPOSTAGEM	Aproveitamento dos restos alimentares e componentes orgânicos (papéis, madeira, poda de jardins) para produção de adubo natural
RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA	Forma de aproveitar os resíduos e reduzir seus impactos, cujas alternativas serão vistas na seção a respeito
ATERRO SANITÁRIO	Local de disposição final dos resíduos imprestáveis, com garantias sanitárias

Fonte: USEPA (1998).

A Figura 1 mostra os principais centros de tratamentos de resíduos do Rio de Janeiro e região metropolitana. Em Jacarepaguá há um predomínio do lixo particular em detrimento do público, já em Gericinó (Bangu) há o predomínio do lixo público, devido à sua privilegiada localização, otimizando custos logísticos. Cabe ressaltar que o lixo hospitalar está presente apenas no Aterro de Gramacho. Outro fator importante é a presença de apenas lixo domiciliar na Usina de reciclagem de Irajá (Comlurb, 2007).

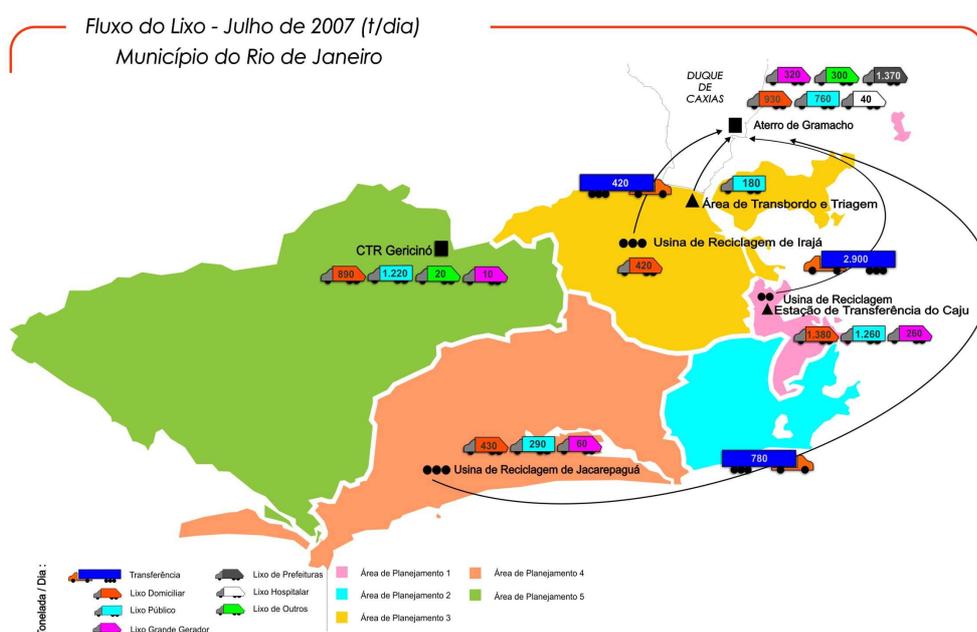


Figura 1: Rotas dos resíduos sólidos urbanos na cidade do Rio de Janeiro.
Fonte: Comlurb, 2007

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) define da seguinte forma os aterros sanitários:

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

No Brasil, um aterro sanitário é definido como um aterro de resíduos sólidos urbanos, ou seja, adequado para a recepção de resíduos de origem doméstica, varrição de vias públicas e comércios. Os resíduos industriais devem ser destinados a aterro de resíduos sólidos industriais (enquadrado como classe II quando não perigoso e não inerte e classe I quando se tratar de resíduo perigoso, de acordo com a norma técnica da ABNT 10.004/04 - "Resíduos Sólidos - Classificação").

Nos aterros sanitários a impermeabilização do solo, antes da deposição do lixo, é feita por meio de camadas de argila e uma geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) para evitar infiltração dos líquidos percolados (chorume) no solo. O lixo é depositado sobre o terreno e depois recoberto com camadas do solo do próprio local, isolando-o do meio ambiente. Formam-se então câmaras, nas quais é produzido o gás e liberado o chorume. O chorume é captado por meio de tubulações e escoado para tanques de tratamento e os gases produzidos durante a decomposição dos resíduos são captados e podem ser queimados em *flare* ou ainda utilizados como fonte de energia. O local da instalação do aterro deve ser cuidadosamente escolhido, abrangendo grandes dimensões e, devido a alguns inconvenientes como mau cheiro, tráfego de caminhões de lixo, deve estar localizado distante das concentrações urbanas (Comlurb, 2007).

A capacidade de um aterro gerar gás depende de muitos fatores como, por exemplo, a composição do resíduo, umidade, pH, entre outros. A formação e taxa de geração dos principais constituintes do biogás é variável ao longo do tempo. Em condições normais, a taxa de decomposição atinge um pico entre o primeiro e segundo ano após sua disposição e diminui continuamente por alguns anos.

A conversão energética do biogás pode ser apresentada como uma possível solução - econômica e para o meio ambiente - para o imenso volume de resíduos produzidos por atividades agrícolas e pecuárias, urbanas, tratamento de esgotos domésticos e aterros sanitários.

1.4.1 Resíduos Sólidos na Cidade do Rio de Janeiro

De acordo com o Gráfico 1, é possível verificar o percentual de lixo gerado na cidade do Rio de Janeiro. Com isso é possível verificar que existe uma

predominância de lixo domiciliar na cidade do Rio de Janeiro e isso é um fator positivo, pois nas residências é onde se origina a maior parte do lixo orgânico, utilizado com maior eficiência em projetos de geração de energia com biogás.

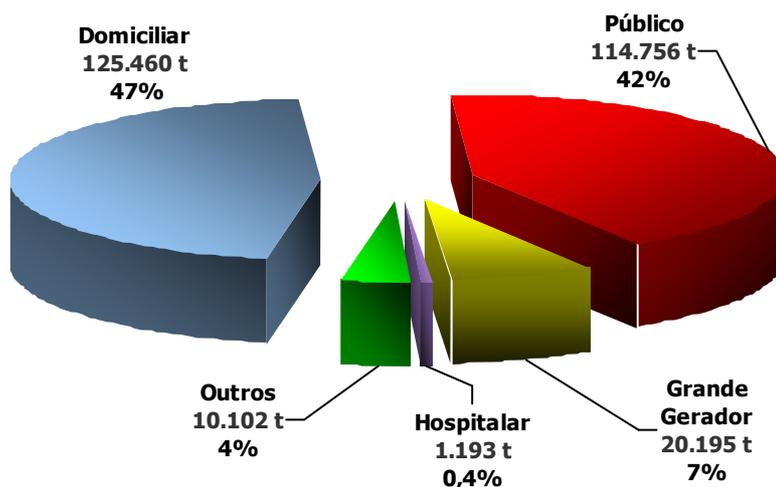


Gráfico 1: Lixo gerado na cidade do Rio de Janeiro.

Fonte: Comlurb, 2007

Abaixo, são listados os principais tipos de lixos que foram discutidos nesse trabalho (Comlurb, 2007).

- a) **lixo domiciliar/urbano:** é constituído pelo lixo das residências, lanchonetes, restaurantes, repartições públicas, lojas, supermercados, feiras e do comércio. Compõe-se principalmente de: sobras de alimentos, embalagens, papéis, papelões, plásticos, vidros, trapos, etc. Esse lixo normalmente é encaminhando para Aterros Sanitários.
- b) **lixo hospitalar:** pelas múltiplas possibilidades que apresenta de estar contaminado e transmitir doenças,, deve ser transportado em veículos especiais, a menos que passe por processos de tratamento específico e deve ser disposto em local apropriado ou ir para os incineradores.
- c) **lixo público:** lixo em áreas públicas produto de limpeza municipal, formado por resíduos sólidos (areia, papéis, folhagem, poda de árvores).

Após a análise do Gráfico 2 e Gráfico 3 é possível visualizar a evolução do lixo domiciliar e da matéria orgânica.

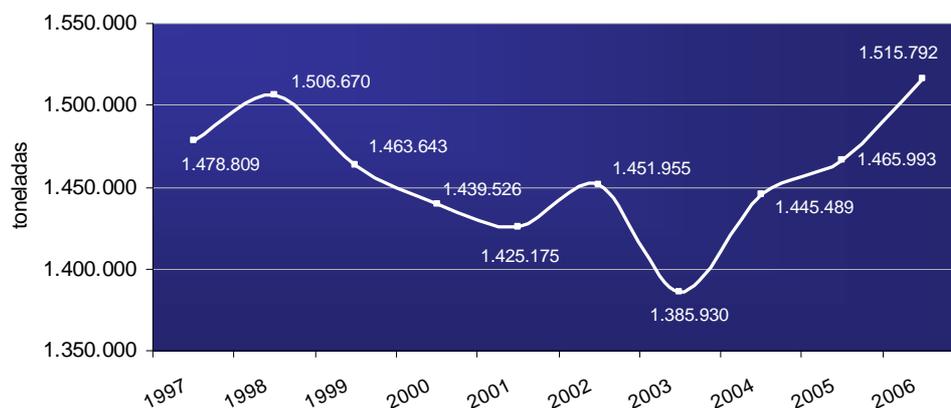


Gráfico 2: Evolução do lixo domiciliar no Rio de Janeiro.

Fonte: Comlurb, 2007

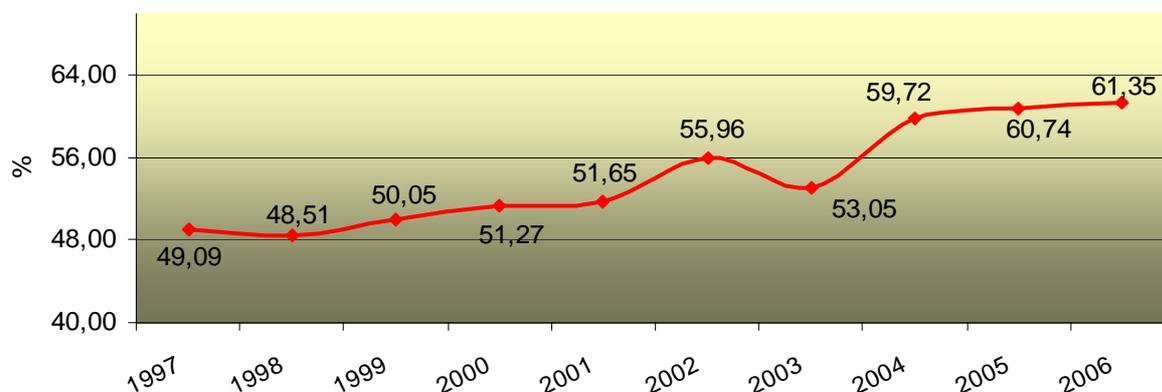


Gráfico 3: Evolução da matéria orgânica no Rio de Janeiro.

Fonte: Comlurb, 2007

Através do Gráfico 4, será mostrada a composição do lixo do Rio de Janeiro encontrada nos aterros sanitários. É possível verificar uma presença marcante de 61,4% de matéria orgânica, o que favorece a produção do biogás para a geração de energia elétrica de maneira sustentável.

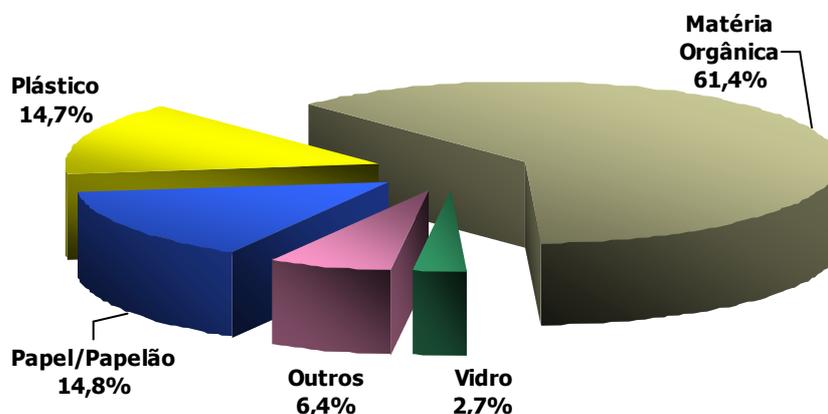


Gráfico 4: Composição do lixo no Rio de Janeiro.

Fonte: Comlurb, 2007

No Gráfico 5, é possível verificar que muitas cidades brasileiras não estão fornecendo o tratamento adequado aos Resíduos Sólidos Urbanos. Mais de 60% do lixo urbano está disposto a céu aberto, proporcionando uma situação de insalubridade ambiental inadmissível para o século 21.

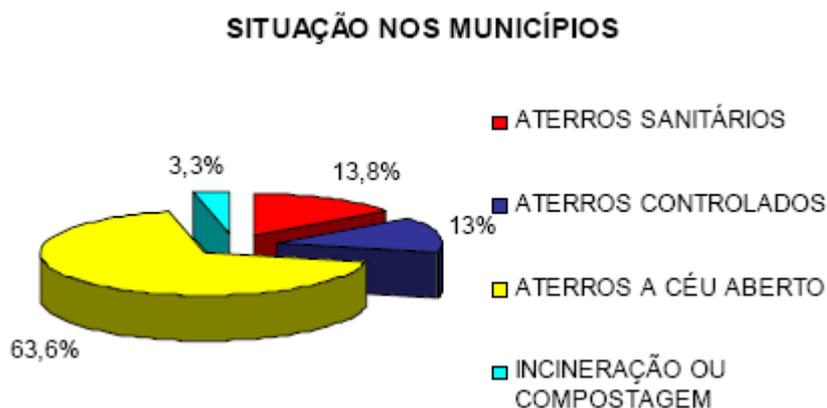


Gráfico 5: Opção para tratamento e disposição final do lixo.

Fonte: Comlurb, 2007

1.5 Resíduos Sólidos Urbanos e Opções Energéticas

As grandes cidades brasileiras estão buscando alternativas sustentáveis para redução da massa inerte de lixo acumulada nos aterros sanitários, lixões, entre outras formas de destinação do lixo, pois os mesmos estão próximos das suas capacidades máximas de depósitos.

Neste contexto, têm-se além da simples reciclagem, ou da produção de energia através do biogás do lixo de aterros sanitários analisada nesse trabalho, outras formas de se solucionar o problema do lixo com seu aproveitamento energético:

- a) implantação de usinas termoelétricas usando o lixo como combustível de incineração para geração de energia elétrica a partir do calor gerado pela combustão do lixo;
- b) compostagem dos resíduos orgânicos associada com o aproveitamento energético do metano, trazendo uma contribuição significativa para retardar o esgotamento de aterros sanitários; e
- c) redução na geração de lixo já que menos lixo produzido significa menor utilização de recursos naturais e energia para sua produção, bem como menor quantidade de lixo destinado aos aterros (que também representa conservação de energia).

1.5.1 Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos

A compostagem dos resíduos pode ser definida, na realidade, como a reciclagem de materiais orgânicos. Ela consiste da transformação de materiais orgânicos, como restos de alimentos, papéis, folhas, vegetais, madeiras, etc, em adubo orgânico. Atualmente ela é praticada de duas formas principais:

- a) pontualmente, quando cada consumidor faz a compostagem de seus próprios resíduos gerados, comercializando-o ou utilizando-o em suas próprias atividades;

b) de forma centralizada, quando a compostagem é feita em centros de triagem de lixo, onde sua parcela orgânica recebe um tratamento adequado de cura para se transformar em adubo.

Na compostagem, durante o processo orgânico é liberado o biogás, que pode ser coletado e utilizado como fonte energética.

1.5.2 Células de Lixo

Um inovador meio de recuperar energia a partir da fração orgânica do lixo poderá aumentar a competitividade do biogás na geração de eletricidade.

A idéia central desta tecnologia é melhorar as condições de desenvolvimento biológico nos aterros de lixo, de maneira a acelerar a produção de metano de três a dez vezes em relação aos índices alcançados em aterros convencionais. O processo de decomposição acelerada reduz o volume do aterro, cria novas possibilidades para o gerenciamento do lixo urbano e permite a geração de energia a um custo de 3,5 centavos de dólar por kWh, o que é considerado excelente para este tipo de planta.

Esse processo permite a recuperação de 95% do potencial de biogás em dez anos. A recuperação desse gás, utilizando-se técnicas convencionais, geralmente ocorre num período de 20 a 50 anos. Antecipá-la para um período menor aumenta substancialmente a lucratividade anual da geração e, ao mesmo tempo, reduz o período de amortização do capital investido nos equipamentos. (CERVEIRA; CLIMERU, 2000).

1.5.3 Incineração dos resíduos

Uma maneira tradicional de recuperação direta de energia a partir do lixo é através da incineração. É possível obter energia a partir de resíduos através da incineração, desde que esses sejam combustíveis e não excessivamente úmidos. O calor assim gerado pode ser utilizado para aquecimento direto, em processo de

vaporização de água ou para gerar eletricidade. Alguns resíduos líquidos podem ser utilizados como complementos a combustíveis convencionais

As usinas de incineração utilizam fornalhas para queima de resíduos e geração de vapor de água para acionarem turbinas e gerar energia elétrica para ser aproveitada em outros processos. Existem usinas que operam em larga escala, queimando 500 a 1000 toneladas por dia, e usinas de menor escala que operam de 50 a 100 toneladas por dia. As usinas de grande escala apresentam vantagem da economia de escala na utilização dos resíduos e também na geração de energia, à medida que as turbinas a vapor utilizadas podem ser maiores e com isso, de maior eficiência. As usinas de escala reduzida são úteis em comunidades com população em torno de 30 a 200 mil habitantes, que produzem entre 50 e 200 t/dia de RSU (TCHOBANOGLOUS, 1994).

Na análise de viabilidade técnica e econômica, as receitas desse tipo de projeto são oriundas de duas fontes:

- a) da prestação de serviço de tratamento do lixo às municipalidades que o coletam e entregam na UTE (Unidade Termoelétrica) para a respectiva incineração;
- b) do suprimento de energia elétrica ao sistema interligado a ser remunerado pela concessionária local.

Resumidamente pode-se dizer que os benefícios de uma usina de incineração são:

- a) esterilização dos resíduos;
- b) diminuição do volume dos resíduos a ser aterrado e ampliação da vida útil do aterro existente;
- c) economia de combustível com transporte a aterros distantes; e
- d) reaproveitamento energético dos resíduos e aumento da confiabilidade do fornecimento elétrico da região.

1.5.4. Reciclagem

A relação entre conservação de energia e o tratamento dos RSU pode ser ilustrada inicialmente através da referência a trabalhos voltados a enfatizar os benefícios da reciclagem de lixo para solução dos problemas acima citados, mostrando como os setores de energia e de saneamento poderiam se relacionar, atuando de acordo com princípios de desenvolvimento sustentável. Existem materiais com altos potenciais de conservação de energia associada a sua reciclagem, como por exemplo, o plástico e o alumínio (CALDERONI, 1996; NEDER, 1995).

A verificação do fato da reciclagem de materiais propiciar tanto benefícios trouxe a tona à questão original de determinar qual seria a contribuição para o setor energético, em termos de conservação de energia, se os índices de reciclagem no Brasil, que hoje é inferior a 1%, fossem maiores.

A produção de 1 tonelada de alumínio a partir da bauxita consome aproximadamente 16 MWh de energia, enquanto que, se for produzido a partir de alumínio reciclado, seriam necessários apenas 0,8 MWh de energia. Na produção de uma tonelada de barras de aço, a utilização de sucata, consome aproximadamente 1,8 MWh de energia, enquanto que a produção a partir de minério de ferro, consome cerca de 6,8 MWh. Para o papel, a economia de energia é 714% e, no caso do vidro, a economia é de 13%. (KANAYAMA, 1999).

A economia de energia resultante da reciclagem de lixo para o Brasil poderia ser aproximadamente 37 TWh anualmente, cerca de 14% do consumo de energia elétrica no Brasil em 1995, que foi cerca de 270 TWh.

1.6 **Aquecimento Global e Mercado de Carbono**

O aquecimento global está trazendo inúmeras conseqüências às atividades econômicas e industriais provocando impactos na biosfera, resultado oriundo da elevação da concentração de GEE na atmosfera durante o período de 1750 até o presente. Este aumento da concentração dos GEEs poderá desencadear uma

elevação da temperatura média no planeta entre 1,4 e 5,8°C nos próximos cem anos.

Para tratar do problema do efeito estufa e suas possíveis conseqüências sobre a humanidade, entre outras iniciativas e ações da comunidade internacional houve o estabelecimento em 1992, durante a Conferência Rio 92, da CQNUMC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. E em decorrência da CQNUMC foram criadas as COPs - Conferência das Partes, objetivando discutir e propor alternativas de soluções para o problema de aquecimento global.

Com o objetivo de reduzir o custo marginal da redução das emissões das partes poluentes, o Protocolo de Kyoto criou mecanismos de flexibilização. O principal deles o MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, consiste em que cada tonelada de CO₂ deixada de ser emitida, ou retirada da atmosfera por um País em desenvolvimento, poderá ser negociada no mercado mundial através de CER - Certificados de Emissões Reduzidas.

Com isso foi criado o "Mercado Internacional de Carbono", com um grande potencial de negócios, tendo em vista as necessidades de inúmeros projetos voltados para a redução de emissões e seqüestro de carbono. Para o caso do Brasil, este mercado é extremamente importante, e considerando as condições favoráveis para o desenvolvimento de projetos de MDL, foi criado o MBRE – Mercado Brasileiro de Redução de Emissões.

1.6.1 Mercado de Carbono / Protocolo de Kyoto

Assinado no dia 11 de dezembro de 1997, o Protocolo de Kyoto, como já foi dito, previa que as emissões dos gases do efeito estufa nos países industrializados, no período de 2008 até 2012, teriam de ser no mínimo 5% menores que em 1990. Um passo importante contra o temido aquecimento do clima mundial.

Isso significa que a partir de 2008, países industrializados deveriam ter reduzido suas emissões de gases de efeito estufa em 5,2%, em média, abaixo dos níveis de 1990. Os países em desenvolvimento não têm metas nesta fase inicial,

que vai até 2012, uma vez que suas emissões ainda deverão crescer em paralelo ao seu desenvolvimento econômico.

No Protocolo de Kyoto foram fixadas metas concretas, que estabelecem onde as emissões devem ser reduzidas e o volume de tal redução: até o ano 2012, os países da União Européia têm de diminuir suas emissões em 8%, em comparação ao ano-base de 1990; os Estados Unidos, em 7% e o Japão, em 6%.

Depois de Kyoto, todas as conferências sobre o clima mundial foram marcadas pela busca, por parte dos países industrializados, de caminhos para fugir às metas estabelecidas em 11 de dezembro de 1997. Os Estados Unidos desligaram-se simplesmente do processo iniciado no Japão.

Com a demora na ratificação do documento, as metas fixadas na cidade japonesa deixaram de ser suficientes para resguardar o clima mundial. Os especialistas constataram, portanto a necessidade de metas bem mais abrangentes.

Por fim, os gases de efeito estufa contemplados no Protocolo de Kyoto, são:

- a) dióxido de carbono (CO_2);
- b) metano (CH_4);
- c) óxido nítrico (N_2O);
- d) hidrofluorcarbonos (HFCs);
- e) perfluorcarbonos (PFCs); e
- f) hexafluoreto de enxofre (SF_6).

1.6.2 O problema Atual do Aquecimento Global

Para o problema aquecimento global, a comunidade internacional já vem dando a sua contribuição com a criação de organismos e entidades para o estudo e proposição de soluções. A criação da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima foi um grande passo. E como decorrência, as COPs - Comissões das Partes, com reuniões periódicas e bastante focadas em definições de processos e responsabilidades, fez surgir um tratado internacional, o Protocolo de Kyoto, que até o ano de 2012 estará direcionando e coordenando as ações dos membros signatários deste acordo para as atividades ligadas a redução de emissões de GEEs.

O que se pode esperar com a entrada em vigor do Protocolo de Kyoto, considerado uma vitória do ambientalismo, é que pela importância dos seus objetivos, ele é o primeiro instrumento internacional que fixa metas e prazo. E isso é um fator fundamental na questão ambiental porque o que a Rio+10, a Conferência da África do Sul demonstrou, é que as pessoas não foram capazes ainda de fixar metas e sem metas fica muito difícil monitorar os avanços ou retrocessos em relação aos vários temas ambientais.

A meta do Protocolo de Kyoto é absolutamente insuficiente. É uma meta de redução de emissões de GEEs de 5,2% em média, quando os cientistas já alertaram na década de 90 que para estabilizar o clima no planeta seria necessária uma redução na ordem de 60%. Mas o mais importante em relação ao Protocolo de Kyoto é que se tenha um marco regulatório internacional.

O tema das mudanças climáticas é tão dramático em termo dos impactos, que a partir do segundo período do compromisso, após 2012, as metas serão bem mais ambiciosas e países como o Brasil têm que se preparar para enfrentar obrigações que até o momento não foram discutidas e negociadas. Como exemplo disso, visto o Brasil estar com taxa de desmatamento muito alta na Amazônia, lançando grande quantidade de carbono na atmosfera, certamente deverá enfrentar a comunidade internacional diante desse problema, que apesar de ser um problema nacional, ele tem uma dimensão global indiscutível.

Com o Protocolo de Kyoto, projetos sustentáveis voltados para a diminuição da poluição atmosférica poderão ganhar vulto no Brasil. Durante a COP 10, conferência das Nações Unidas para discutir o futuro do Protocolo, ocorrida em Buenos Aires, uma série de iniciativas brasileiras foram apresentadas ao público a fim de captar possíveis investimentos. O objetivo é que esses projetos possam se encaixar dentro do MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Os fundamentos que justificaram adoção deste mecanismo pelos signatários do Protocolo de Kyoto, mostram a importância do MDL, porque ele é o instrumento mais concreto que surgiu nos últimos dez anos, de transferência de recursos para países em desenvolvimento e por isso ele tem que ser valorizado. Ele tem um valor muito destacado no sentido de experimentar um modelo inovador de transferência de recursos para países como o Brasil, para projetos de sustentabilidade.

Os membros do Protocolo deverão estar familiarizados com os diversos tipos de projetos elegíveis para o MDL, a serem desenvolvidos de acordo com as suas características e oportunidades apresentadas em suas diversas localidades. Os projetos candidatos ao MDL são de diversos tipos, dos quais se podem destacar os de Geração de Energia renovável, de Eficiência Energética, de Transporte, de Gerência de Resíduos e Melhor uso da Terra através de projetos do tipo reflorestamento.

Para melhor compreender a situação brasileira nas negociações do regime de mudanças climáticas é necessário salientar que no que se refere às emissões de carbono o Brasil tem três grandes vantagens e uma grande desvantagem.

As três vantagens são:

- a) ser um País de renda média, estando fora dos compromissos obrigatórios de redução de emissões de carbono correspondentes aos países desenvolvidos, portanto apto ao desenvolvimento de projetos de MDL;
- b) ter uma matriz energética com forte peso da hidroeletricidade, com mais de 75% da eletricidade (BEN, 2008) gerada a partir de fontes hídricas e conseqüentemente muito limpa do ponto de vista das emissões estufa;

c) possuir no seu território 16% das florestas mundiais, tendo com isso grande importância no ciclo global do carbono.

A grande desvantagem é ter uma grande emissão de carbono derivada do uso da queimada na agricultura tradicional e do desmatamento na Amazônia (que já vem sendo remunerada via mercado voluntário através do pagamento de créditos de carbono a tribos indígenas que protegem o meio ambiente).

As emissões de carbono do Brasil são ao redor de 2,5% das mundiais, destas quase 25% são procedentes da indústria e da agricultura modernas e 75% da agricultura tradicional, da conversão de uso na fronteira agrícola e das atividades madeireiras ineficientes e/ou predatórias. Cerca de 80% da população brasileira está vinculada a atividades produtivas que não dependem de altas emissões de carbono e conseqüentemente tem uma taxa de emissões per capita e por unidade de PIB muito inferiores à média dos países desenvolvidos e emergentes, conseqüência fundamental do alto peso da hidroeletricidade na matriz energética.

Considerando estes fatores, pode-se afirmar que existe uma grande potencialidade para o desenvolvimento de projetos MDL no Brasil e em outros países, em especial, do Hemisfério Sul.

Com relação ao Mercado Internacional de Carbono, pode-se afirmar que o Brasil está preparado para entrar na comercialização de CERs (Certificados de Emissões Reduzidas). E como iniciativa nessa linha, foi criado o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE), mas para o seu funcionamento, há ainda grandes carências como a necessidade de empenho maior por parte do poder público para atrair investimentos para estimular os projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL. É importante dizer que o Brasil vai enfrentar uma grande concorrência por parte da Índia e da China, que por serem portadoras de matriz energética menos limpa terão mais facilidade em relação aos projetos de MDL.

Considerando que todo mercado em fase de implantação requer uma série de providências paralelas, no caso do MBRE, para que se possa atingir o seu pleno desenvolvimento essas providências são de diversas naturezas e abrangem, desde

a criação de mecanismos de financiamento de longo prazo para os projetos, até a execução de um sofisticado e abrangente programa de divulgação e de capacitação para todos os públicos-alvo envolvidos. Além disso, torna-se necessário, também, incentivar o desenvolvimento de novas metodologias para o estabelecimento de Linhas de Base, procedimentos de monitoramento e verificação, bem como instituir um tratamento fiscal não inibitório.

Apresenta-se a seguir algumas sugestões de linhas de ação com relação a essas providências na forma de Mecanismos para Financiamento e Capitalização dos Projetos.

1.6.2.1 Mecanismos de financiamentos e capitalizações de projetos / recursos externos

Dentre os mecanismos de financiamento e capitalização dos projetos passíveis de enquadramento no âmbito do MBRE, sem dúvida sobressai a possibilidade de atração de recursos externos, quer sob a forma de investimentos diretos, quer sob a forma de empréstimos de longo prazo. Para que o pleno potencial em termos de captação de recursos junto ao mercado internacional seja atingido, é necessário que, paralelamente à implantação do MBRE, seja feito um robusto programa de divulgação e capacitação que tenha, como público alvo:

- a) empresas com potencial de desenvolver projetos no âmbito do MDL nos diversos setores de atividades;
- b) bancos, corretoras e distribuidoras que venham a constituir fundos de investimentos, captar recursos, ou desenvolver operações estruturadas para seus clientes;
- c) empresas seguradoras que venham a mitigar o risco de desempenhos insuficientes dos projetos;
- d) empresas que venham a gerir fundos de investimentos; e
- e) empresas que desenvolvam metodologias para administração de ativos relativos às reduções de emissões.

Com relação ao trabalho de divulgação e capacitação, dirigido à atração de recursos para investimento e financiamento, este deverá, também, ser complementado e estendido, através de programas de treinamento específicos, aos operadores do mercado, ou seja, os profissionais envolvidos na montagem, registro e liquidação das operações em Bolsa e de operação dos sistemas eletrônicos de negociação dos novos ativos propostos.

1.6.2.2 Criação de Linhas Domésticas Específicas para o MBRE

O Brasil, em função de sua estrutura interna de taxas de juros, possui um mercado de crédito privado pouco afeito ao financiamento de projetos de longa maturação. Nesse sentido, com o objetivo de ampliar a oferta de novos projetos, no âmbito do MDL, é imprescindível que instituições oficiais de fomento, como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, a Caixa Econômica Federal – CEF e o Banco do Brasil, criem linhas de crédito específicas para projetos com potencial de redução de emissões.

1.6.2.3 Desenvolvimento de Novas Metodologias de Linhas de Base e de Monitoramento

O Brasil possui uma matriz energética limpa o que, em termos de Reduções de Emissões, o coloca em certa desvantagem, no âmbito do MDL, frente a países como a Índia e a China, por exemplo. Por esse motivo, parece também recomendável o estabelecimento de parcerias entre o setor público e o setor privado, que fosse incentivado o desenvolvimento e aprovação de novas linhas de base e procedimentos de monitoramento, como forma de ampliar e viabilizar o potencial de projetos domésticos no âmbito do MDL.

Sobre o que virá após a vigência das atuais condições do Protocolo de Kyoto que perderá a sua validade a partir de 2012, já existe hoje uma grande preocupação na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC) sobre quais serão as novas diretrizes para a segunda etapa do Protocolo e como será o comportamento do Mercado de Carbono, que segundo as previsões envolvendo um volume considerável de recursos em suas transações

comerciais, em torno de US\$ 1 Bi para os próximos anos. Durante a COP-10, na Argentina, este tema foi bastante discutido, e algumas decisões importantes nesta linha já foram tomadas.

1.7 Legislação Aplicada aos RSUs

Além da Constituição Federal, o Brasil já dispõe de uma legislação ampla que, por si só, não tem conseguido equacionar o problema da GIRSU (Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos). A falta de diretrizes claras, de sincronismo entre as fases que compõem o sistema de gerenciamento e de integração dos diversos órgãos envolvidos com a elaboração e aplicação das leis possibilitam a existência de algumas lacunas e ambigüidades, dificultando o seu cumprimento.

Nas diferentes esferas governamentais, ainda são iniciativas recentes ou inexitem leis específicas de Políticas de Gestão de Resíduos Sólidos que estabeleçam objetivos, diretrizes e instrumentos em consonância com as características sociais, econômicas e culturais de Estados e municípios. Alguns dos principais instrumentos legais e normativos de interesse para o tema são citados e comentados brevemente.

A Constituição Federal, promulgada em 1988, estabelece em seu **artigo 23, inciso VI**, que *“compete à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas forma”*. No **artigo 24**, estabelece a competência da União, dos Estados e do Distrito Federal em legislar concorrentemente sobre

(...) proteção do meio ambiente e controle da poluição (**inciso VI**) e, **no artigo 30, incisos I e II**, estabelece que caiba ainda ao **poder público municipal** “legislar sobre os assuntos de interesse local e suplementar a legislação federal e a estadual no que couber. (grifo meu)

A Lei Federal nº 6.938, de 31/8/81, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, institui a sistemática de Avaliação de Impacto Ambiental para atividades modificadoras ou potencialmente modificadoras da qualidade ambiental, com a criação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). A mesma é formada por um conjunto de procedimentos que visam assegurar que se realize exame sistemático

dos potenciais impactos ambientais de uma atividade e de suas alternativas. Também no âmbito da **Lei nº 6.938/81** ficam instituídas as licenças a serem obtidas ao longo da existência das atividades modificadoras ou potencialmente modificadoras da qualidade ambiental (IPT/Cempre, 2000).

A Lei de Crimes Ambientais (Brasil, nº 9.605 de fevereiro de 1998) dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências. Em seu artigo 54, parágrafo 2º, inciso V, penaliza o lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos. No parágrafo 3º do mesmo artigo, a lei penaliza quem deixar de adotar, quando assim o exigir a autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreparável.

Por fim, deve-se citar o projeto de lei que está em tramitação no Congresso Nacional, sob a numeração (**PL-7047/2006**). Esse projeto de lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, seus objetivos, princípios e instrumentos, bem como estabelece diretrizes nacionais para o gerenciamento de resíduos sólidos no País, regulando responsabilidades e parâmetros técnicos.

1.7.1 Da Política Nacional do Meio Ambiente

É importante ressaltar e transcrever abaixo, o artigo precípua (art. 2 da Política Nacional do Meio Ambiente) para o entendimento e devida compreensão dos ditames fundamentais para a realização da política nacional do meio ambiente.

Art. 2º - A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:

- I - ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;
- II - racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;
- III - planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;
- IV - proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;

- V - controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;
- VI - incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;
- VII - acompanhamento do estado da qualidade ambiental;
- VIII - recuperação de áreas degradadas;
- IX - Proteção de áreas ameaçadas de degradação;
- X - Educação ambiental a todos os níveis do ensino inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio.

Além disso, é preciso expor o art. 225 da lei maior (e seus principais parágrafos e incisos), a constituição federal que versa sobre os aspectos fundamentais do meio ambiente.

CAPÍTULO VI DO MEIO AMBIENTE

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

- I - preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas;
- II - preservar a diversidade e a integridade do patrimônio genético do País e fiscalizar as entidades dedicadas à pesquisa e manipulação de material genético;
- III - definir, em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção;
- IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;
- V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente;
- VI - promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente (...)

Analisando esses dois artigos expostos, verifica-se que a legislação muitas vezes tem um papel propositivo, não mostrando claramente de onde viriam os recursos e que órgão e com qual mão de obra será realizada a promoção a educação ambiental (por exemplo) presente no inciso VI do artigo 225 da Constituição federal.

No **Apêndice F**, é feito um estudo direcionado de legislações pertinentes ao estudo dos Resíduos Sólidos Urbanos, que agrega mais informações relevantes ao caso. Além disso, são citados os principais órgãos de controle do setor de resíduos sólidos urbanos, autoridades de controle e suas funções e atribuições perante sociedade, em busca do bem estar comum da população.

1.8 Tecnologias para Conversão do Biogás

As tecnologias convencionais para a conversão energética do biogás são comparadas na Tabela 7. Destacam-se as turbinas a gás e os motores de combustão interna (ciclos Otto e Diesel).

Para geração de energia a capacidades pequenas e médias, os motores a combustão interna são mais adequados devido ao seu menor custo e maior eficiência nesta faixa. Somente para altas capacidades, as turbinas a gás passam a ter economicidade, melhorada quando utilizadas em ciclos combinados.

Os motores a combustão interna de ciclos Otto ou Diesel possuem maior eficiência na faixa de operação deste projeto. Motores de ciclo Diesel trabalham com taxas de compressão mais elevadas, sendo necessário operar nestes com o biogás misturado ao diesel ou biodiesel; o que representaria um insumo adicional para o Aterro Sanitário. Além disto, no mercado brasileiro os motores de ciclo Otto podem ser mais facilmente adaptados para funcionar com biogás, tornando-se então recomendável a utilização dos mesmos no aterro em questão.

Tabela 7: Tecnologias para geração de energia a partir do biogás

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Motor de Combustão Interna	Baixo custo de manutenção	Limitação de potência
	Pequeno tamanho de instalação	
	Rápida Instalação	
	Modularidade do Sistema	
	Diversidade de fornecedores de equipamentos	
	Eficiência em carga total e parcial	
Turbinas a gás	Sem formação de condensados	Investimento inicial elevado
	Maior confiabilidade mecânica	Maior sensibilidade a partículas e impurezas
	Combustão mais completa	

Fonte: MMA (2005)

1.8.1 Motor de Combustão Interna

Devido à escolha do motor a combustão interna para o estudo de caso, segue um estudo detalhado de suas características, com suas vantagens e desvantagens.

Os motores de combustão interna são máquinas térmicas nas quais a energia química do combustível se transforma em trabalho mecânico, o fluido de trabalho consiste da mistura ar-combustível. Representam a tecnologia mais difundida dentre as máquinas térmicas, devido a sua simplicidade, robustez e alta relação potência/peso, o que faz com que estes acionadores sejam empregados em larga escala como elementos de propulsão para geração de eletricidade em corrente alternada, de back-up ou de carga de pico e para acionamento de bombas, compressores ou qualquer outro tipo de carga estacionária.

Os motores do Ciclo Otto dominam o mercado para potências até 5 MW e para sistemas de emergência, pois, possuem menor custo de geração, quando

comparados com a turbina a gás. Já os motores de ignição por centelha possuem custos iniciais menores, mas tem um custo de combustível maior, quando não se usa gás nos MCIs (LISS, 1999).

As principais características desses sistemas são:

- a) o rendimento destes não é tão sensível às condições ambiente locais (temperatura, pressão e umidade) quanto são as turbinas a gás;
- b) as instalações são modulares e flexíveis, com isto o tempo de construção de uma central é curto e a entrada em operação (start-up) é rápida. Além de serem apropriadas para as condições de partidas e paradas diárias;
- c) requerem manutenções mais constantes.

Atualmente os motores de combustão interna já estão sendo preparados para queimar o biogás com diversos teores de metano, dióxido de carbono, hidrogênio, entre outros gases.

O conjunto motogerador de energia elétrica a ser instalado na planta de biogás do aterro Essencis - CTR Caieiras, por exemplo, é o LANDSET, desenvolvido pela empresa Brasmetano. Segundo a fabricante (BRASMETANO, 2007), os conjuntos motogeradores LANDSET (Figura 2) são capazes de gerar energia a partir do biogás de aterros sanitários. São compostos por motores ciclo Otto adaptados para funcionar a biogás, com potência nominal de 230 kW, de fabricação brasileira, e fornecidos prontos para instalação em container de 6 metros. Os sistemas de ignição e alimentação são gerenciados eletronicamente e existe uma unidade independente de resfriamento e controle de temperatura. A aspiração do biogás dispensa central para sua sucção e bombeamento, já que é feita pelo conjunto motor-compressor. Possui vida útil de 40 a 80 mil horas. O calor rejeitado pelos motores poderá ser utilizado pelo aterro para evaporação do choro (Figueiredo, 2007).



Figura 2: Motogerador LANDSET.

Fonte: Brasmetano, 2009

O moto-gerador de energia elétrica representa um importante avanço na geração de energia elétrica a partir do biogás. Um sistema moto-gerador (12 metros de comprimento), em geral, vem equipado com os seguintes itens (Brasmetano, 2009):

- a) motor a Biogás, turbo alimentado com intercooler, de fabricação nacional;
- b) sistema de alimentação e ignição gerenciados eletronicamente;
- c) geradores sem escovas;
- d) painel de comando manual;
- e) unidade de auto-alimentação de biogás de acionamento direto pelo motor;
- f) filtros desumidificadores;
- g) unidade de aquecimento / controle de temperatura do Biogás, incorporado à Unidade de auto-alimentação;

- h) unidade de resfriamento, com controle da temperatura do motor;
- i) unidade de segurança, composta de válvulas de bloqueio automáticas.

Na Figura 3, é possível visualizar o Sistema integrado de captação e conversão do biogás em energia.



Figura 3: Sistema integrado de captação e conversão do biogás em energia

Fonte: Brasmetano, 2009

A seguir, é apresentada na Tabela 8, a comparação da potência e rendimento para as tecnologias de conversão energética Motor a Combustão Interna e Turbinas.

Tabela 8: Tecnologias de conversão

Tecnologia de Conversão	Potência Instalada	Rendimento Elétrico
Motores a Gás (Ciclo Otto)	30kW - 1MW	25% - 30%
Motores a Gás (Ciclo Diesel)	40kW - 20MW	30% - 40%
Turbina a Gás (Médio Porte)	500kW - 150MW	35% - 42%

Por fim, a Figura 4 apresenta os grupos geradores (16) que foram instalados em duas seções da planta termelétrica construída pela Biogás e São João Energia Ambiental, localizada na Zona Leste da capital de São Paulo. A planta termelétrica contempla 16 grupos geradores G3520C Caterpillar. Cada moto gerador possui 1,54MW de potência, o que totaliza 24,64MW de capacidade instalada.



Figura 4: Motores a Combustão Interna - Aterro de São João

1.9 Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica - Estado da Arte

Nesta seção serão apresentados diversos estudos de viabilidade técnica e econômica da geração de energia através do biogás de lixo em aterros sanitários na América Latina. Os projetos consistem na instalação de um sistema de captação do biogás do lixo, de uma unidade de tratamento do biogás e de uma usina termoelétrica que utiliza motores de combustão interna. As receitas dos projetos são oriundas da venda da energia produzida e de reduções de emissões certificadas (CERs) de gases do efeito estufa. Para os aterros sanitários citados abaixo, foram elaborados pelo Banco Mundial e SCS Engineers os estudos de pré-viabilidade que geraram seus respectivos documentos publicados e disponíveis no site do Banco Mundial. A metodologia adotada foi a USEPA (World Bank, 2009).

1.9.1 El Combeima - Colômbia.

O aterro sanitário El Combeima é de competência municipal, situado no perímetro do leste da cidade nos arredores de Nueva Castilla. Na Figura 5 é apresentada a projeção de recuperação do biogás de lixo.

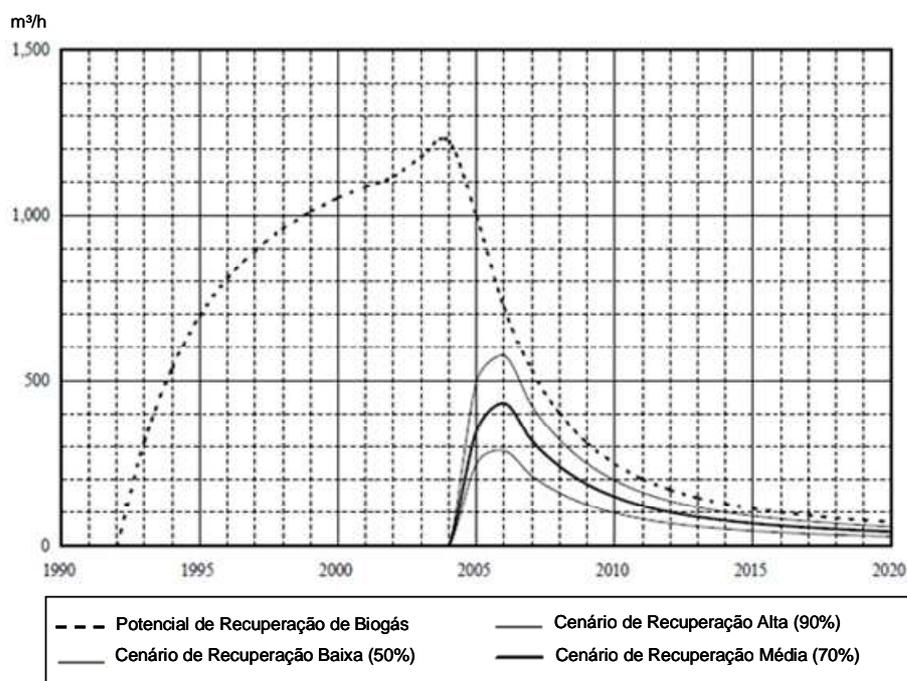


Figura 5: Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de El Combeima, Ibague, Colômbia

Fonte: World Bank, 2009

O aterro sanitário EL Combeima compreende um total de aproximadamente 17,0 ha, dos quais cerca de 11,0 ha foram destinados para a operação de descarga dos resíduos sólidos urbanos.

Os resultados econômicos encontrados no aterro sanitário de El Combeima, são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Análise Econômica do aterro sanitário de El Combeima - Colômbia

Período do projeto	Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1.000 \$)	¹ Taxa Interna de Retorno (%)
2005 – 2012	5	100	- \$ 1,279	n/a
2005 – 2012	5	25	- \$ 1,314	n/a
2005 – 2019	5	100	- \$ 1,546	n/a
2005 – 2019	5	25	- \$ 1,580	n/a

1- Taxa interna de retorno negativa não pode ser computada

Fonte: World Bank, 2009

Considerando os resultados do EVTE, o aterro sanitário de “El Combeima” é um projeto com indicadores econômicos desfavoráveis.

A ausência de economicidade é devido ao precário sistema de coleta do gás, que também tem um custo elevado para a pequena quantidade projetada de gás a ser recuperado. As razões para este custo elevado incluem a área extensa da operação de descarga e a profundidade do lixo depositado que é pequena/ineficiente. Assim, esta exige um grande número de poços para obter a cobertura completa e mais encanamento para conectar os poços, e o grande número de drenos existentes que precisarão ser modificados para a execução de um sistema de gás ativo.

Por fim, o fato do aterro não receber novos resíduos a partir da possível execução do projeto, faz com que as taxas de recuperação futuras de gás esperadas declinem ainda mais, como é demonstrado na Figura 5.

1.9.2 El Carrasco – Colômbia

O aterro sanitário de El Carrasco é situado no sudoeste dos limites da cidade de Bucaramanga. O local compreende um total de aproximadamente 81,3 ha, dos quais aproximadamente 14,5 ha são utilizados para a operação de descarga.

A operação da área atual de descarga do aterro sanitário de El Carrasco foi iniciada em 1985 e sua capacidade total é de aproximadamente 4 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU). As operações do aterro são controladas pela Empresa de Aseo de Bucaramanga S.A. ESP. (EAMB).

Na Figura 6, são apresentadas as projeções de recuperação do gás de lixo no aterro sanitário de El Carrasco.

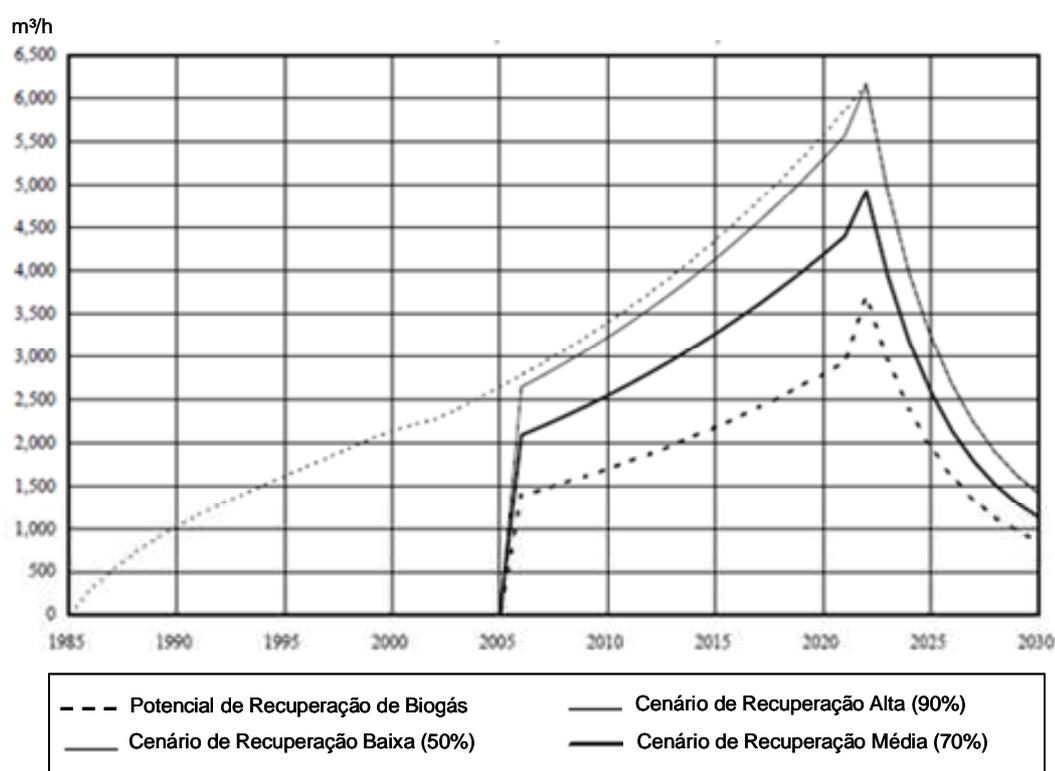


Figura 6: Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de El Carrasco, Colômbia

Fonte: World Bank, 2009

Os resultados econômicos encontrados no aterro sanitário de El Carrasco estão presentes na Tabela 10.

Tabela 10: Análise Econômica do aterro sanitário de El Carrasco - Colômbia

Período do projeto		Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1.000 \$)	Taxa Interna de Retorno (%)
Cenários	2005 – 2012	5	100	-\$2507	--
	2005 – 2012	5	25	-\$237	--
	2005 – 2019	5	100	-\$71	7%
	2005 – 2019	5	25	-\$139	--

Fonte: World Bank, 2009

Pelos resultados de sua análise econômica, o projeto de EL Carrasco é inviável. Os resultados são baseados nos fatores limitados da análise de pré- viabilidade, incluídos custos previstos para o capital, operação e manutenção. Dado que não há nenhum projeto de geração de energia através do biogás de lixo em aterros sanitários na Colômbia, não existe uma base para a comparação e verificação das suposições de custo.

1.9.3 Queretaro – México

O aterro de Queretaro está localizado na auto-estrada Satelite-Mompani no quilômetro 5,5, em um local chamado Miguelote

O aterro sanitário foi aberto em 1996 e o seu fechamento antecipado está previsto para ser realizado no ano de 2015, com uma capacidade total de aproximadamente 6,1 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. A operação desse aterro sanitário é realizada por Mexicana del Medio Ambiente S.A. de C.V.(MMA).

Na Figura 7, são apresentadas as projeções de recuperação do gás de lixo no aterro sanitário de Queretaro no México.

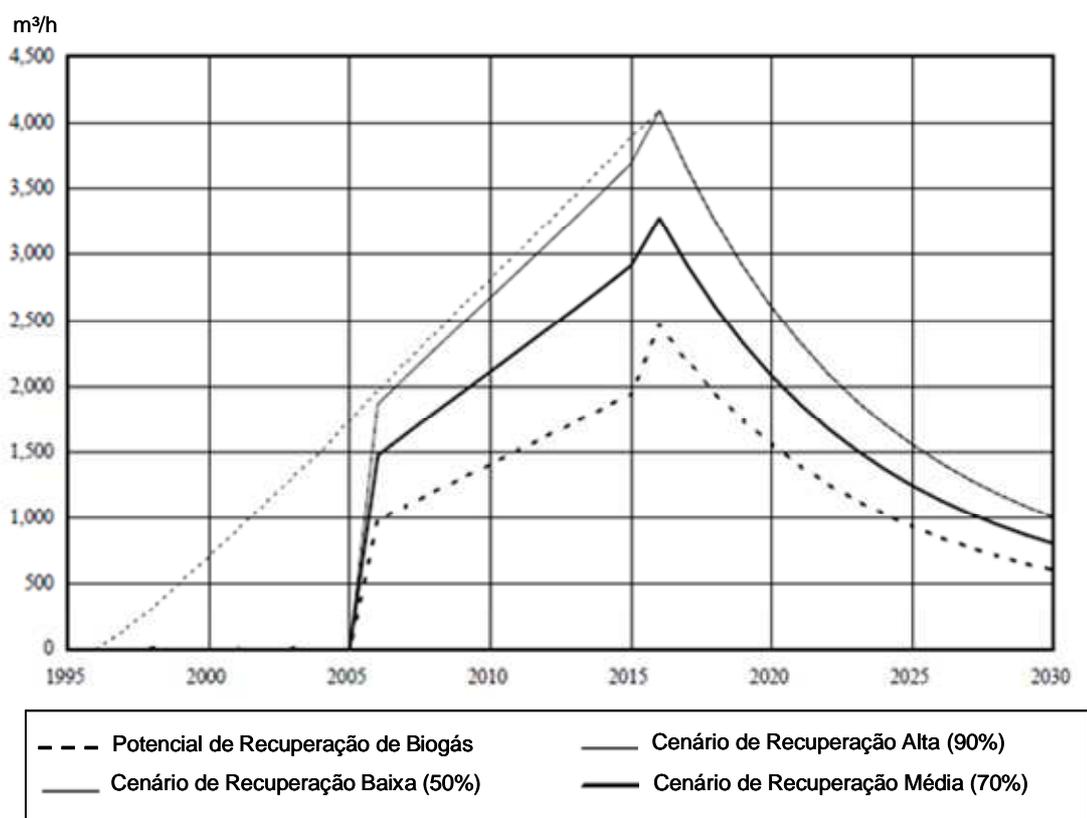


Figura 7: Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de Queretaro, México

Fonte: World Bank, 2009

O projeto foi analisado em uma variedade de cenários, incluindo a duração do projeto (até 2012 ou 2019), percentual de investimento inicial (respectivamente 25 ou 100%) e valores dos CERs (\$4, 5, ou 6/ton. de CO₂eq.). O valor de venda da energia utilizado foi de \$0.057/kWh.

Os resultados econômicos encontrados no aterro sanitário de Queretaro, estão presentes na Tabela 11.

Tabela 11: Análise Econômica do aterro sanitário de Queretaro - México

Período do projeto		Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1.000 \$)	Taxa Interna de Retorno (%)
Cenários	2005 – 2012	5	100	\$406	10.5%
	2005 – 2012	5	25	\$520	14.7%
	2005 – 2019	5	100	\$5,502	23.5%
	2005 – 2019	5	25	\$5,375	37.0%

Fonte: World Bank, 2009

Com os resultados da análise econômica, o aterro sanitário de Queretaro é um projeto viável em todos os cenários analisados (valores de CERs, taxa de investimento inicial e duração do projeto).

1.9.4 Chihuahua - México.

O aterro de Chihuahua é localizado no quilometro 6,5 da auto-estrada Chihuahua-Aldama, localizada no Valle do Rosario St S/N. A área tem um total de 96,3 ha, do qual se tem 48,2 ha utilizados para o desenvolvimento do aterro sanitário.

A operação da área atual de descarga teve início em 1994 e está previsto o encerramento antecipado das operações para 2013. Sua capacidade total é de aproximadamente 6,5 milhões de toneladas RSU. As operações do local são controladas pela cidade da Chihuahua, pelo Departamento de Saneamento. Na Figura 8, são apresentadas as projeções de recuperação do gás de lixo no aterro sanitário de Chihuahua no México.

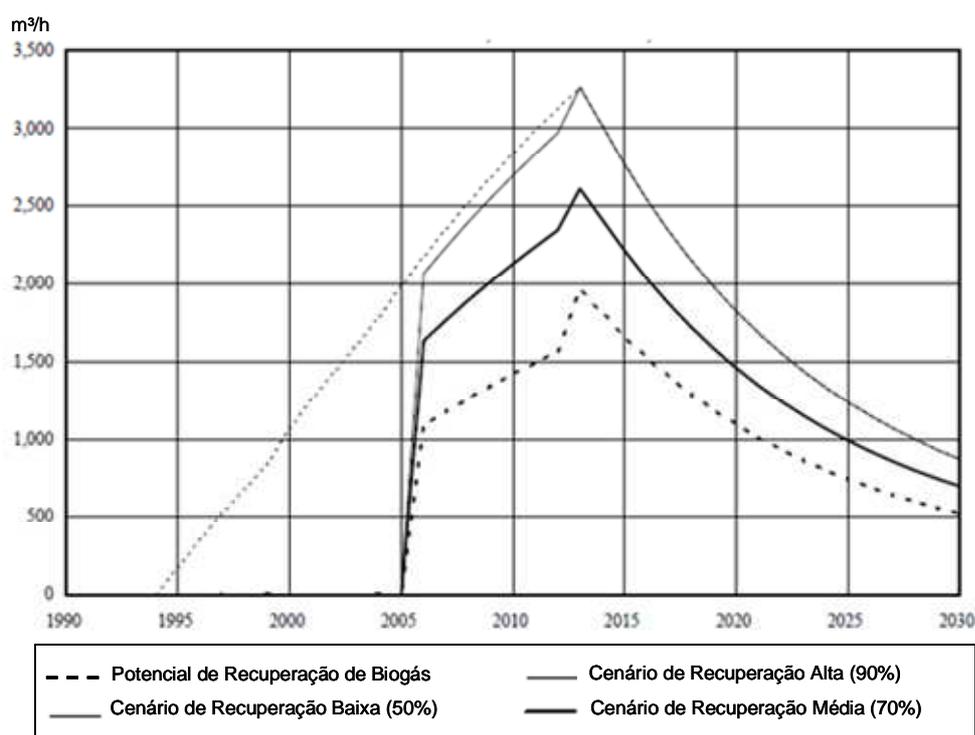


Figura 8: Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de Chihuahua, Mexico.

Fonte: World Bank, 2009

O projeto foi analisado em uma variedade de cenários, incluindo a duração do projeto (até 2012 ou 2019), percentual de investimento inicial (respectivamente 25 ou 100%) e valores dos CERs (\$4, 5, ou 6/ton de CO₂eq.). O valor de venda da energia utilizada foi de \$0.057/kWh. Os resultados econômicos encontrados no aterro sanitário de Chihuahua estão presentes na Tabela 12.

Tabela 12: Análise Econômica do aterro sanitário de Chihuahua - México

Período do projeto		Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1 000 \$)	Taxa Interna de Retorno (%)
Cenários	2005 – 2012	5	100	\$1,866	20.5%
	2005 – 2012	5	25	\$1,639	33.0%
	2005 – 2019	5	100	\$6,368	29.9%
	2005 – 2019	5	25	\$6,034	52.0%

Fonte: World Bank, 2009

De acordo com a análise econômica, o aterro sanitário de Chihuahua é viável para os cenários que foram apresentados.

1.9.5 Montevideu - Uruguai

O aterro sanitário de Montevideu foi aberto em 1990 e está previsto que a sua capacidade de funcionamento se estenderá até 2011, com a capacidade total de 10,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. As operações do local são controladas pelo município de Montevideu.

A operação de descarga é situada em uma área relativamente urbana nos subúrbios de Montevideu. Há uma subestação elétrica que se encontra aproximadamente de 500 a 1.000 m distante da operação de descarga, e existe um gasoduto principal de abastecimento do gás que se encontra a aproximadamente 1.000 m.

A Figura 9 apresenta a recuperação projetada do gás de lixo em três cenários (pessimista, médio e otimista).

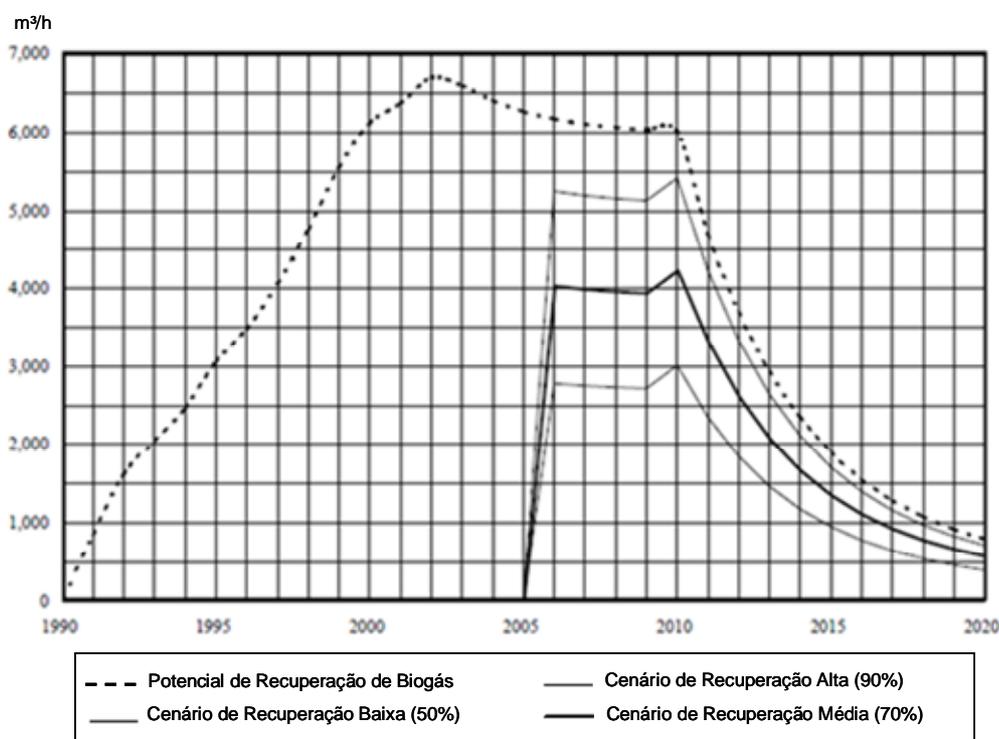


Figura 9: Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de Montevideu/Uruguai com o encerramento do aterro em 2009.

Fonte: World Bank, 2009

A maioria da eletricidade produzida no Uruguai é de plantas hidroelétricas. O Uruguai não tem diversos recursos naturais, tais como: petróleo, gás natural ou carvão. Com isso, é um País predominantemente importador de recursos energéticos.

Somente há um projeto de geração de energia através de biogás de lixo em aterros sanitários no Uruguai que foi suportado em parte por uma concessão do Global Environment Facility – **GEF**. Com isso, existe um espaço amostral limitado para a comparação e verificação do custo e receitas do projeto de Montevideú. No entanto, uma das variáveis mais importantes, o preço de venda da eletricidade de \$0,027/kWh (um preço de aquisição garantido pela UTE para a eletricidade gerada pelo projeto de Maldonado) foi usado para a avaliação do aterro sanitário de Montevideú. Abaixo, é citado o sumário de projeto do GEF que faz esta referência à relação entre o projeto e o setor de energia elétrica.

“Energy Sector Policy. Demand for electricity has steadily grown over the past decades and the country has resorted to imports of electricity from Argentina in recent years. The government has recently reformed the legal framework governing the power sector, enabling the establishment of independent power producers (Law No. 16.832 and Decree N°. 22/999). While specific rules of this reform have not been yet enacted, the project proponents (UCC) have consulted UTE and obtained a pledge to purchase the electricity generated by the project for at least **US\$ 0.027/kWh**. This value is estimated to represent the lower bound of UTE’s long-run marginal generation cost.”

O projeto foi analisado em uma variedade de cenários, incluindo a sua duração (até 2012 ou 2019), percentual de investimento inicial (respectivamente 25 ou 100%) e valores dos CERs (\$4, 5, ou 6/ton de CO₂eq.). O valor de venda da energia utilizado foi de \$0,027/kWh.

Os resultados econômicos encontrados no aterro sanitário de Montevideú estão presentes na Tabela 13.

Tabela 13: Análise Econômica do aterro de Montevideu recebendo RSU até 2005

Período do projeto		Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1.000 \$)	Taxa Interna de Retorno (%)
Cenários	até 2012	5	100	-\$727	3.9%
	até 2012	5	25	-\$878	-6.4%
	até 2019	5	100	\$966	11.5%
	até 2019	5	25	\$819	15.0%

Fonte: World Bank, 2009

De acordo com a análise econômica, o aterro sanitário de Montevideu é viável para os cenários com o período de 2005-2019. Se o aterro sanitário de Montevideu recebesse resíduos sólidos urbanos até o ano de 2009, o aterro conseguiria obter maiores receitas com a venda de energia e créditos de carbono. Com isso, o cenário econômico se apresentaria com maior viabilidade de acordo com a Tabela 14.

Tabela 14: Análise Econômica do aterro de Montevideu recebendo RSU até 2009

Período do projeto		Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1.000 \$)	Taxa Interna de Retorno (%)
Cenários	até 2012	5	100	\$113	8.9%
	até 2012	5	25	-\$3	7.9%
	até 2019	5	100	\$1,024	13.7%
	até 2019	5	25	\$911	22.9%

Fonte: World Bank, 2009

1.9.6 Santa Tecla (RS) – Brasil

O aterro sanitário de Santa Tecla está localizado em Gravataí, próximo da cidade de Porto Alegre.

O aterro de Santa Tecla tem cerca de 10 ha, e é administrado pelo Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) da cidade de Porto Alegre.

A estimativa de recuperação de gás de lixo poderia gerar energia na ordem de 1 Megawatt (MW) em uma planta termoeétrica desde 2007 até 2011. Já entre 2012 a 2019, a planta terá capacidade de 335 kilowatt (kW).

O gás recuperado projetado em 2006 está estimado em aproximadamente 1903 m³/h, conforme a Figura 10. Depois do fechamento do aterro, o gás recuperado esperado terá um rápido declínio, atingindo o patamar de 586 m³/h em 2012 e 219 m³/h em 2019. A Figura 10 apresenta a recuperação projetada do gás de lixo em três cenários (pessimista, médio e otimista).

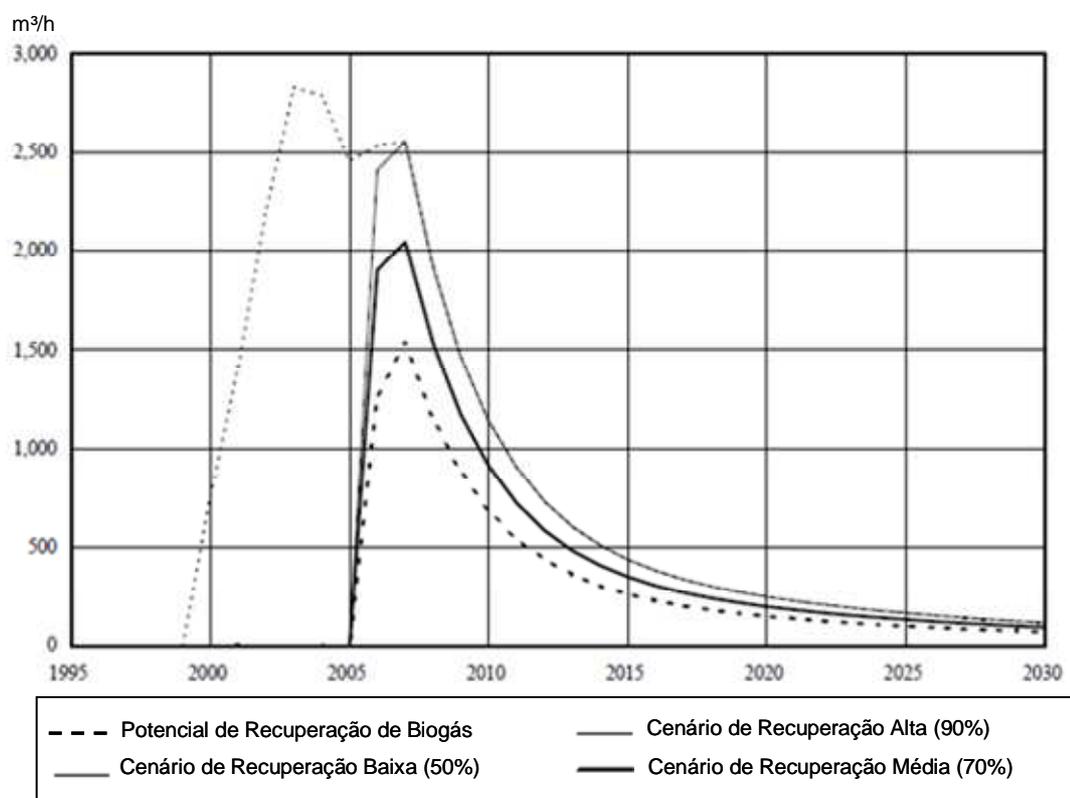


Figura 10: Projeção de recuperação do gás de lixo no aterro de Santa Tecla, RS.

Fonte: World Bank, 2009

O aterro de Santa Tecla foi aberto em 1999. A capacidade do aterro está no patamar de 2 milhões de toneladas de RSU. Por ano, a média de depósitos está no patamar de 200.000 toneladas e em 2005 alcançou aproximadamente 1,6 milhões de toneladas de RSU.

Fazendo o estudo de viabilidade econômica, o projeto foi analisado em múltiplos cenários, incluindo a sua duração (até 2012 ou 2019), percentual de investimento inicial (25 ou 100%) e valores dos CERs (\$4, 5, ou 6/ton de CO₂eq.). O valor de venda da energia utilizado foi de \$0.029/kWh.

Os resultados econômicos encontrados no aterro sanitário de Santa Tecla são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Análise Econômica do aterro de Santa Tecla - RS

	Período do projeto	Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1.000 \$)	Taxa Interna de Retorno (%)
Cenários	2005 – 2012	5	100	-\$605	-3.5%
	2005 – 2012	5	25	-\$667	*
	2005 – 2019	5	100	-\$695	*
	2005 – 2019	5	25	-\$755	*

Fonte: World Bank, 2009

De acordo com os resultados da análise econômica, a geração de eletricidade no aterro de Santa Tecla não é viável. No projeto foi utilizado o preço de aquisição da eletricidade de US\$0,029/kWh. Com a elevação dessa tarifa de energia e também do valor dos CERs, o projeto poderia se tornar viável.

1.9.7 Muribeca (PE) - Brasil

O aterro sanitário de Muribeca está localizado no estado de Pernambuco, próximo à cidade de Recife. A operação de descarga de lixo no aterro de Muribeca foi aberta em 1994. O aterro tem uma capacidade total de aproximadamente 14,4 milhões toneladas de RSU.

A operação de descarga de lixo está ocorrendo atualmente a uma taxa de aproximadamente 1 milhão de toneladas por ano, e teve em 2005 aproximadamente 10,5 milhão toneladas de RSU.

O local compreende uma área total de aproximadamente 60 ha, com uma área adicional adjacente de 83 ha reservado para descargas futuras. As operações do local são controladas por Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB).

A recuperação projetada do gás de lixo em 2006 foi estimada em aproximadamente 8.289 m³/h, e se elevaria a um máximo de 8.707 m³/h em 2009. Após o fechamento do local, espera-se que a recuperação do gás de lixo venha a se declinar rapidamente, alcançando 4.872 m³/h em 2012 e 1.531 m³/h em 2019. Com a implantação de uma central energética em 2007, estima-se que haverá gás de lixo disponível para suportar uma UTE de 7,42 MW com 2012. Após 2012, não haverá gás de lixo, disponíveis para uma UTE de 7,42 MW. Em 2019, haverá gás de lixo para suportar somente dois motores de 1,06 MW. A Figura 11 apresenta a recuperação projetada do gás de lixo em três cenários.

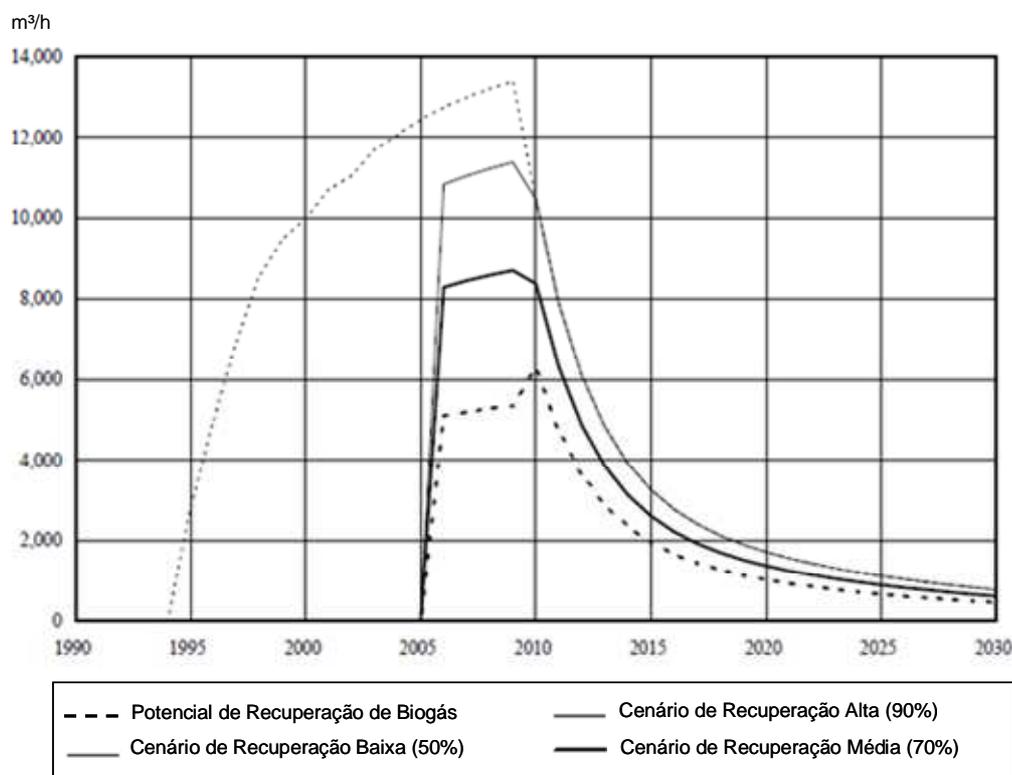


Figura 11: Projeção de recuperação do gás de lixo no aterro de Muribeca – PE
Fonte: World Bank, 2009

Fazendo o estudo de viabilidade econômica, o projeto foi analisado em múltiplos cenários, incluindo a duração do projeto (até 2012 ou 2019), percentual de investimento inicial (25 ou 100%) e valores dos CERs (\$4, 5, ou 6/ton. de CO₂eq.). O valor de venda da energia utilizado foi de \$0,029/kWh.

Os resultados demonstrando a viabilidade econômica do aterro sanitário de Muribeca em todas as análises de sensibilidade realizadas estão presentes na Tabela 16.

Tabela 16: Análise Econômica do aterro de Muribeca - PE

	Período do projeto	Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1,000 \$)	Taxa Interna de Retorno (%)
Cenários	2005 -2012	5	100	\$1,268	11.5%
	2005 -2012	5	25	\$959	15.8%
	2005 -2019	5	100	\$3,415	15.3%
	2005 -2019	5	25	\$3,113	28.0%

Fonte: World Bank, 2009

De acordo com os resultados da análise econômica, o aterro de Muribeca é viável. No entanto, com o período do projeto de 2005 a 2019 o mesmo tem uma viabilidade maior em relação ao período mais curto (2005 a 2012).

1.9.8 Huaycoloro - Peru

O aterro sanitário foi aberto em 1994 e está previsto o encerramento das operações em 2040, com uma capacidade total de aproximadamente de 40 milhões de toneladas de RSU.

O aterro recebe o depósito de aproximadamente 2,2 toneladas de RSU por dia. O projeto está localizado em um local que compreende um total aproximado de 1.575 ha, sendo que 240 ha são utilizados para o depósito dos resíduos sólidos urbanos. A operação do projeto é administrada pela PETRAMAS.

A Figura 12 apresenta a recuperação projetada do gás de lixo em três cenários.

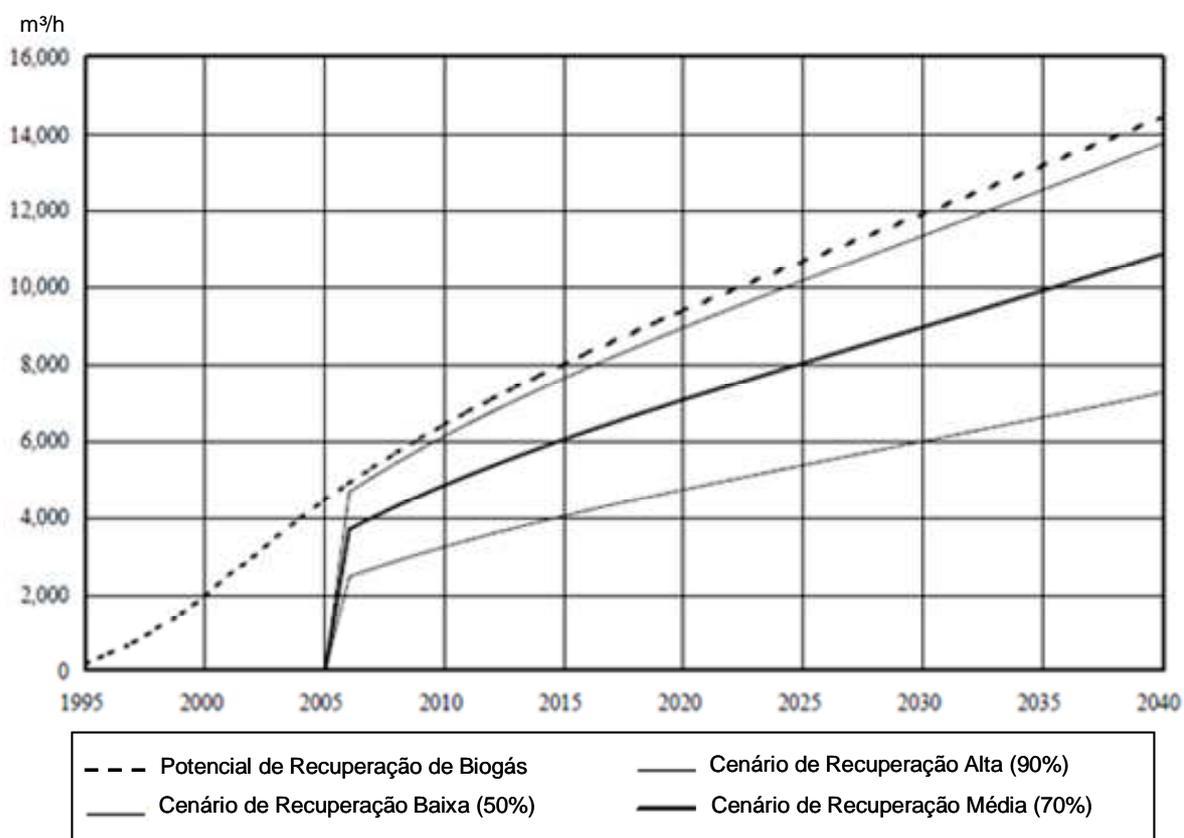


Figura 12: Projeção de recuperação do gás de lixo no aterro de Huaycoloro

Fonte: World Bank, 2009

Considerando a instalação de uma termoelétrica em 2007, estima-se que haverá suficiente gás para suportar inicialmente uma UTE de 6 MW. Como as taxas de recuperação do gás de lixo esperadas devem se elevar ao longo do período (pois o aterro não irá fechar para a entrada de novos resíduos) da avaliação de projeto, a expansão da UTE pode ser possível. Espera-se que em 2012 haverá gás disponível para uma central energética de aproximadamente 8,8 MW, e em 2019 haverá gás disponível para uma UTE de aproximadamente 11,3 MW. Para a avaliação econômica, foi considerada uma UTE de 5,74 MW. Na análise econômica não foi considerada uma possível expansão da UTE.

Fazendo o estudo de viabilidade econômica, o projeto foi analisado em múltiplos cenários, incluindo a duração do projeto (até 2012 ou 2019), percentual de

investimento inicial (25 ou 100%) e valores dos CERs (\$4, 5, ou 6/ton. de CO₂eq.). O valor de venda da energia utilizado foi de \$0,035/kWh.

Os resultados demonstrando a viabilidade econômica do aterro sanitário de Huaycoloro em todas as análises de sensibilidade realizadas estão presentes na Tabela 17.

Tabela 17: Análise Econômica do aterro de Huaycoloro - Peru

Período do projeto		Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1.000 \$)	Taxa Interna de Retorno (%)
Cenários	2005 – 2012	5	100	\$1,410	15.0%
	2005 – 2012	5	25	\$1,221	25.4%
	2005 – 2019	5	100	\$7,439	25.2%
	2005 – 2019	5	25	\$7,255	48.8%

Fonte: World Bank, 2009

2 METODOLOGIA

2.1 Modelos Matemáticos para o Cálculo da Geração de Biogás

A metodologia utilizada nesse trabalho é a recomendada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - USEPA (2005). No entanto, neste trabalho serão apresentadas outras metodologias de cálculo de geração de metano como é o caso do Banco Mundial e do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) que fornecem a geração e composição do gás. Com isto, será possível definir e especificar qual o equipamento que será utilizado para o devido aproveitamento do gás metano. Além disto, será feito o EVTE (Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica).

2.1.1 USEPA

O modelo apresentado pela USEPA através da Equação 1 é usado para estimar a geração de biogás para um dado ano com base em todos os resíduos despejados até este ano. Projeções para múltiplos anos são desenvolvidas variando o ano de projeção e reaplicando as equações. O ano de maior geração de biogás ocorre normalmente no encerramento do aterro ou no ano seguinte ao mesmo (dependendo do índice de deposição do ano final). A estimativa de produção de metano é expressa pela Eq. (1):

$$Q_{(CH_4)_j} = \sum_{i=1}^n 2 k L_o M_i (e^{-kti}) \quad (1)$$

Onde: Σ = Soma desde o ano de abertura+1 (i=1) até o ano de projeção(n);
i=1

$Q_{(CH_4)_i}$ = Metano produzido no ano i a partir da seção i do resíduo (m^3/ano);

k = Constante taxa de degradação de metano (ano^{-1});

L_o = Potencial máximo de geração de metano (m^3/ton);

M_i = Massa de resíduos sólidos despejados no ano i;

t_i = Idade dos resíduos despejados no ano i (anos).

O modelo da USEPA requer o conhecimento do histórico da deposição dos resíduos (ou, no mínimo, da quantidade de lixo depositado e da data de abertura do aterro sanitário); usa uma função exponencial de degradação de primeira ordem, que presume que a geração de biogás alcance o ponto máximo após um intervalo de tempo que representa o período antes da geração de metano. O modelo da USEPA supõe um intervalo de um ano entre a deposição dos resíduos e a geração de biogás. Após um ano, o modelo prevê que a geração de biogás decresça exponencialmente à medida em que é consumida a fração orgânica dos resíduos.

2.1.2 Metodologia do Banco Mundial

As equações do Banco Mundial e do IPCC têm semelhanças, como o fato de serem equações cinéticas de primeira ordem e considerarem parâmetros similares de entrada, como:

- a) massa de resíduos que ingressa no aterro anualmente;
- b) tempo de atividade do aterro e/ou após o fechamento;
- c) taxa de geração de metano (k); e
- d) potencial de geração de metano (L_0).

A capacidade potencial de geração de metano L_0 depende apenas do tipo de resíduos presentes, e varia entre 5 e 310 m³ CH₄ / t resíduo. Quanto mais elevado o conteúdo de matéria orgânica, maior será o valor de L_0 .

A taxa de geração de metano (**k**) determina a rapidez de geração do biogás e de esgotamento do vazadouro. É função da umidade do resíduo, tipo de resíduo, disponibilidade de nutrientes para o processo anaeróbico, pH e temperatura. As taxas **mais rápidas** ($k=0,2$ ou uma meia vida de aproximadamente 3 anos) estão atreladas a condições de alta umidade e materiais rapidamente degradáveis, como os **restos de alimentos**. As taxas de decomposição **mais lentas** ($k=0,03$ ou uma meia vida de aproximadamente 23 anos) se associam a aterros de resíduos secos e resíduos de degradação lenta, como a **madeira e o papel**.

O Banco Mundial utiliza o Modelo Scholl Canyon que é um modelo cinético de primeira ordem com base na premissa de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro por unidade de tempo.

O modelo é representado pela Eq. (2), demonstrada abaixo:

$$Q_{(CH_4)_i} = k \times L_0 \times m_i \times e^{-k.t} \quad (2)$$

Em que:

$Q_{(CH_4)_i}$ = Metano produzido no ano i a partir da seção i do resíduo, (m³/ano);

k = Taxa da geração de metano, (ano⁻¹);

L_0 = Potencial da geração de metano, (m³ CH₄ / t resíduo);

m_i = Massa de resíduo despejada no ano i, (t/ano);

t_i = Anos após o fechamento.

Os valores sugeridos para a constante de geração de metano (**k**) estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Valores para k propostos em correspondência com a precipitação anual.

Precipitação Anual	Campo dos Valores k		
	Relativamente Inerte	Moderadamente Degradável	Altamente Degradável
< 250 mm	0,01	0,02	0,03
> 250 e < 500 mm	0,01	0,03	0,05
> 500 e < 1000 mm	0,02	0,05	0,08
> 1000 mm	0,02	0,06	0,09

FONTE: Banco Mundial, (2003)

O potencial de geração de metano (L_0) representa sua produção total por tonelada de lixo. Valores típicos para este parâmetro variam de 125 m³ a 300 m³ de metano/tonelada de resíduo.

O Banco Mundial propõe a utilização de um valor pré-estabelecido de L_0 de 170 m³ de metano/tonelada de resíduos, ou outro valor conforme a Tabela 19.

Tabela 19: Valores L_0 em função da degradação do resíduo.

Categorização do Lixo	Valor Mínimo para L_0	Valor Máximo para L_0
Lixo Relativamente Inerte	5	25
Lixo Moderadamente Degradável	140	200
Lixo Altamente Degradável	225	300

FONTE: BANCO MUNDIAL, (2003)

A Equação (2) não permite uma representação apropriada de aterros de RSU ativos, já que no caso a exponencial da equação assume o valor unitário, o que fornece para aterros sem grandes flutuações no ingresso anual de resíduos uma geração constante de metano, independente do tempo de atividade do aterro.

2.1.3 Metodologia do IPCC

Os ditames do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) - (1996), descrevem dois métodos para estimar as emissões de metano procedentes de aterros: o **método simplificado**, que tem como base a suposição de que o total de metano potencial se libera durante o ano em que se realiza a disposição dos resíduos, Eq. (3), e o **método de decomposição de primeira ordem**, Eq. (4) e Eq. (5). O método de decomposição de primeira ordem permite um perfil de emissões que tem dependência do tempo transcorrido e que reflete melhor as reais pautas do processo de degradação ao longo do tempo.

$$CH_4(t/ano) = (RSU_T * RSU_F * L_0 - R(t)) * (1 - OX) \quad (3)$$

$$CH_4gerado(t/ano) = \sum \left[(A * k * RSU_T(x) * RSU_F(x) * L_0(x)) * e^{-k(t-x)} \right] \quad (4)$$

$$CH_4emitido(t/ano) = [CH_4gerado - R(t)] * (1 - OX) \quad (5)$$

Em que:

t = ano de realização do inventário.

x = ano de contribuição (desde início de atividade até t).

$A = \frac{(1-e^{-k})}{k}$; fator de normalização para corrigir a soma.

k = constante de geração, ano⁻¹.

$RSU_T(x)$ = total de RSU gerados no ano x , t/ano.

$RSU_F(x)$ = fração de RSU depositada no aterro no ano x .

$RSU_T(x) * RSU_F(x)$ = massa de resíduos despejada no ano x , t/ano

L_0 = potencial de geração de metano (t CH₄/t RSU);

$L_0 = FCM(x) * COD(x) * COD_F * F * 16/12$.

$FCM(x)$ = fator de correção do metano no ano x .

$COD(x)$ = fração de carbono orgânico degradável no ano x (t C/t RSU).

COD_F = fração do carbono orgânico degradável assimilado.

F = fração de metano no gás do aterro (na ausência de dados 0,5).

16/12 = conversão de carbono a metano.

$R(t)$ = quantidade de metano recuperada no ano t .

OX = fator de oxidação (fração).

A Equação (4) não permite uma representação adequada de aterros de RSU fechados, pois a fração exponencial é sempre crescente, o que produz uma elevação constante na geração de biogás.

2.1.3.1 Determinação do Fator de Correção para o Metano

O IPCC (1996), no relatório guia para a realização de inventários de gases de efeito estufa, propõe valores do FCM (Fator de Correção do Metano) em função do tipo de aterro onde se realize a disposição dos RSU, quer dizer, a localização, temperatura e o tipo de resíduo sólido urbano são fundamentais para a determinação e orientação para a produção do gás do lixo nos aterros sanitários. Classifica os vazadouros em duas categorias, *controlados* e *não controlados*, e define um valor do Fator de Correção do Metano a cada tipo mencionado.

Aos **aterros controlados** se define um valor do **FCM de um (1)**. O IPCC conceitua como aterros controlados aqueles nos quais existe uma deposição controlada dos resíduos, ou seja, áreas específicas para depositar os resíduos e algum grau de controle da coleta do lixo. Deverá ser usado pelo menos uma das seguintes metodologias para deposição e tratamento de resíduos: material de cobertura, compactação mecânica ou nivelamento de desperdícios.

No caso dos **aterros não controlados**, conceituados como vazadouros ou lixões, os valores do Fator de Correção do Metano (FCM) que a CETESB (2002) recomenda, variam com a altura da pilha de disposição, como indicado na Tabela 20.

Tabela 20: Fator de Correção do Metano (FCM) pelo IPCC.

LDRS	FCM
Altura maior ou igual a 5 m	80%
Altura menor que 5m	40%
Locais sem classificação	60%

FONTE: CETESB, (2002)

2.1.3.2 Constante de Geração.

A constante de geração, **k**, representa a velocidade de degradação da matéria orgânica. Se este parâmetro não estiver caracterizado o IPCC recomenda um valor de **0,05**.

2.1.3.3 Carbono Orgânico Degradável (COD).

O carbono orgânico degradável é a fração acessível para a decomposição bioquímica dos resíduos. A Tabela 21 mostra os valores recomendados pelo IPCC para os diferentes resíduos.

Tabela 21: Valores recomendados para o Carbono Orgânico Degradável (COD) nos principais tipos de resíduos.

COMPONENTE	PORCENTAGEM DE COD EM MASSA
A. PAPEL, PAPELÃO E TECIDOS	40
B. RESÍDUOS DE PARQUES E JARDINS	17
C. RESTOS DE ALIMENTOS	15
D. MADEIRA	30

FONTE: IPCC (1996)

Para o cálculo do COD é proposta a Eq. (6):

$$\text{COD (fração)} = 0,4 A + 0,17 B + 0,15 C + 0,30 D \quad (6)$$

Cujo, A, B, C e D, são definidos:

A: Fração dos RSU que corresponde ao papel e aos têxteis.

B: Fração dos RSU que corresponde aos resíduos de jardins e parques e outros resíduos orgânicos putrescíveis (excluídos os alimentos).

C: Fração dos resíduos que correspondem a restos de alimentos.

D: Fração dos resíduos que correspondem aos resíduos de madeira e palha.

2.1.3.4 Fração do Carbono Orgânico Degradável Assimilado COD_F

O COD_F é a fração do carbono orgânico degradável que de fato se degrada. O carbono orgânico degradável não se decompõe totalmente e parte permanece no aterro inclusive durante longos períodos. Na ausência de dados o IPCC propõe um valor de 77% para o COD_F.

2.1.3.5 Fator de Oxidação OX

O fator de oxidação reflete a quantidade de metano procedente dos aterros que se oxida no solo ou em outros materiais que cobrem os resíduos. Estudos realizados demonstram que os aterros sanitários costumam expressar resultados de oxidação mais altos que os lixões. Até o momento não existem valores aceitos internacionalmente e, na ausência de dados, se assume um valor igual a zero (0).

O uso de valores de Oxidação diferentes de zero é justificado no caso de aterros sanitários, mas em outros casos, o uso de um valor de oxidação diferente de zero deve estar claramente documentado e respaldado por referências.

2.1.3.6 Incertezas Associadas

A Tabela 22 apresenta a faixa de incerteza associada a cada parâmetro, sendo que a taxa de recuperação do metano depende da maneira que são estimadas as quantidades de metano recuperado.

Tabela 22: Incertezas associada aos parâmetros sugeridos pelo IPCC.

PARÂMETRO	FAIXA DE INCERTEZA
$MSW * MSW_F$	$> \pm 10\%$
$DOC = 0,21$	- 50% , + 20%
$DOC_F = 0,77$	- 30% , 0%
$FCM = 1$	- 10% , 0%
$F = 0,5$	- 0% , 20%
RECUPERAÇÃO DE METANO (R)	A faixa de incerteza dependerá da forma em que são estimadas as quantidades de metano recuperado, mas é provável que essa incerteza seja relativamente pequena se comparada com outras quando se aplicam sistemas de medição.
OX	O fator OX deverá ser incluído na análise da incerteza quando tenha sido indicado um valor diferente de zero
TAXA DE GERAÇÃO DE METANO k = 0,05	- 40% , + 300 %

FONTE: IPCC (1996)

2.2 Estrutura do projeto, implementação e riscos

O Brasil é o País da América Latina com mais experiência em projetos de transformação de biogás em energia. Vários destes projetos foram postos em operação nos últimos anos ou estão sendo implantados, e incluem diversos projetos desenvolvidos sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). As metodologias para definição da linha de base e para o monitoramento de três aterros sanitários brasileiros serviram de parâmetros para novas metodologias consolidadas para projetos de gás de aterro, nos termos do MDL. Isso simplificou o desenvolvimento desses projetos não apenas no Brasil como também em outras

partes. Além disso, o Brasil é um País enorme com um grande potencial ainda não aproveitado para esse tipo de projetos de produção de energia com biogás. No entanto, diversas barreiras à entrada no mercado têm de ser ultrapassadas para que tais projetos atinjam seu potencial. Essas barreiras podem ser técnicas, institucionais, legais e financeiras, e são discutidas abaixo.

- a) barreiras de ordem técnica: em cidades com uma população acima dos 100.000 / 150.000 habitantes existem, freqüentemente, uma falta de consciência (educação ambiental) ou interesse com relação a projetos de transformação de biogás em energia e são necessários mais incentivos, como por exemplo, isenções de tributos. Em cidades menores, existe uma falta de entendimento (educação formal, acesso a informação e ausência de entendimento da mesma) quanto à forma mais eficaz de construção e gestão de um aterro sanitário. Desse modo, é mínimo o interesse ou a preocupação com a captura de metano em aterros sanitários, e poucos estudos têm sido completados ou atividades realizadas para melhorar o uso de metano nos aterros. Isso significa que existe uma falta de tecnologia de gestão de biogás aplicável à realidade brasileira, e a maioria das municipalidades não usa a tecnologia apropriada para os aterros. Adicionalmente, a tecnologia de captação do biogás não é muito conhecida.
- b) barreiras de ordem Institucional: faltam mecanismos de controle e supervisão na atual legislação ambiental brasileira. O País comete equívocos no cumprimento das regras ambientais, e não existe um incentivo institucional para a captação de metano em aterros sanitários e transformá-lo em energia elétrica.
- c) barreiras de ordem legal: atualmente, não existem padrões legais sólidos para definir os limites de emissões de metano dos aterros sanitários para a atmosfera.
- d) barreiras de ordem financeira: nas cidades com população de até 100.000 habitantes, a falta de mecanismos financeiros é uma barreira importante. Em cidades maiores, a falta de aterros que estejam de acordo com os

regulamentos ambientais serve como barreira potencial ao desenvolvimento de novos aterros sanitários. Mais especificamente, em cidades grandes como São Paulo existe uma preocupação crescente de parte da população e das instituições em relação às questões ambientais, como, por exemplo, o efeito estufa e os problemas de saneamento. No entanto, a captura de metano não tem suscitado muito interesse devido à falta de estímulo econômico para o desenvolvimento do equipamento necessário.

2.2.1 Etapas para implantação de um projeto de produção de energia em aterros sanitários através do biogás do lixo

A Figura 13 apresenta um Fluxograma para implantação de uma UTE, possibilitando uma melhor visualização das principais etapas para a realização de um projeto de produção de energia renovável através do biogás de lixo de aterros sanitários e para buscar a obtenção de créditos de carbono.

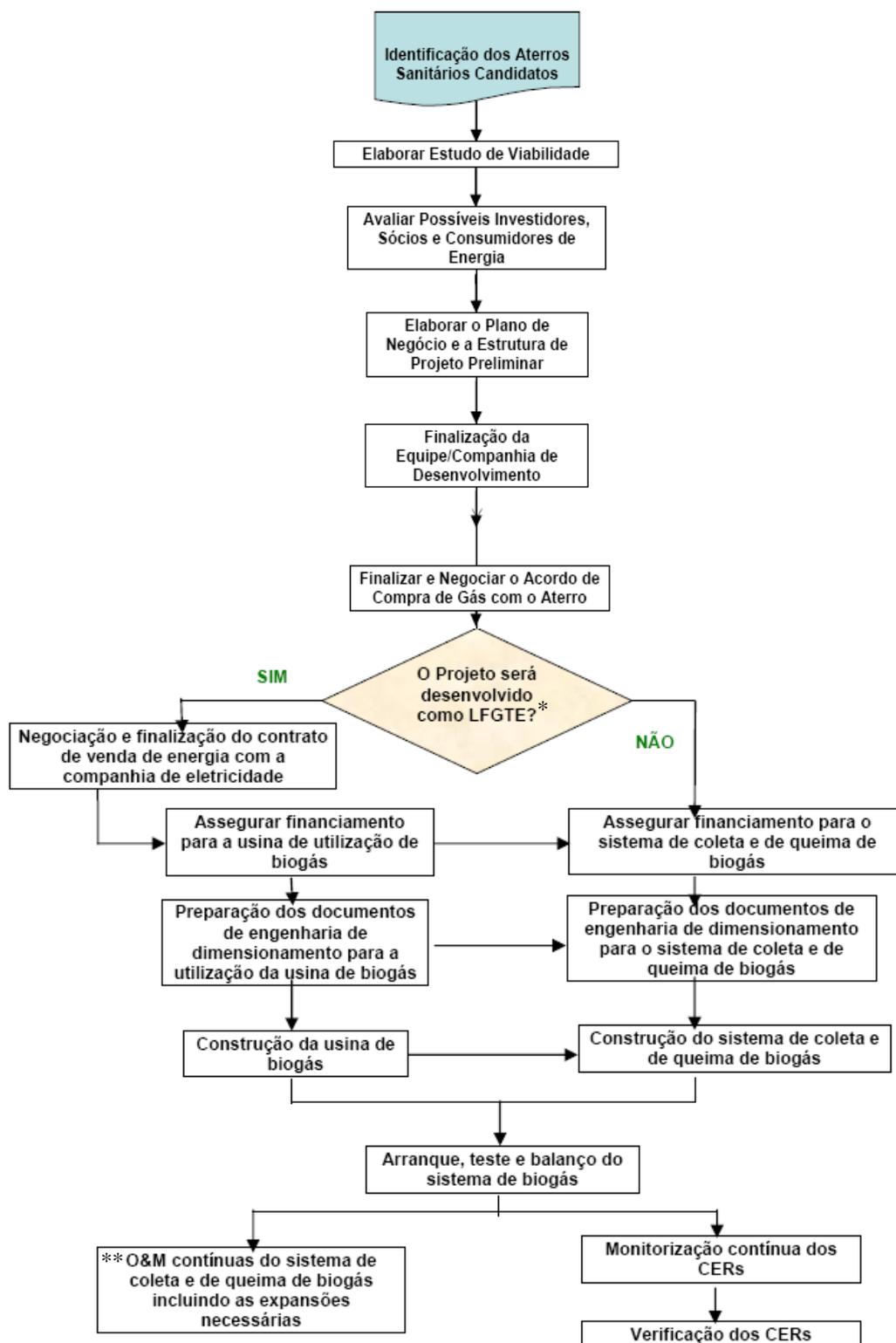


Figura 13: Fluxograma para implantação de uma Usina de Energia.

Fonte: Manual para a Preparação de Projetos de Energia de Biogás na América Latina e no Caribe do Banco Mundial

* LFGTE - Desenvolvimento de projetos para geração de energia a partir do biogás do lixo.

* O&M - Operação e Manutenção

2.3 Estudo de Caso: Aterro Sanitário de Gramacho

O aterro sanitário de Gramacho foi escolhido devido sua importância técnica, econômica, social e ambiental para a cidade do Rio de Janeiro e sua região metropolitana.

O aterro onde o projeto está sendo implantado já possui sistema de captação e queima do biogás, que inclui poços igualmente distribuídos para extração de biogás por exaustão forçada (pressão negativa) por meio de sopradores, rede de tubos conectados transportando o biogás até a unidade de tratamento e queima em *flare*, além de cobertura integral de material impermeável, como PVC, sobre a massa de resíduos. Atualmente o aterro de Gramacho está iniciando a sua produção de energia através do biogás de lixo (Comlurb, 2009).

2.4 Análise Econômica e Tributação

Para a análise do investimento do estudo de caso, foram utilizados os seguintes métodos de análises.

2.4.1 Valor Presente Líquido (VPL)

É o somatório dos custos e das receitas líquidas do projeto (ou previstas) durante sua vida econômica, trazidos a data de atualização do fluxo de caixa, utilizando-se para isso a taxa de desconto apropriada: a taxa mínima de atratividade - TMA - do segmento de negócio.

A fórmula do VPL pode ser definida pela Eq. (7), como:

$$VPL = \sum_{K=0}^n \frac{E(CF_K)}{(1+i)^{k+j}} \quad (7)$$

Onde:

- E** Valor esperado
- CF** Valor genérico do fluxo de caixa líquido no período K (positivo se for benefício, negativo se for custo);
- i** Taxa de desconto: TMA;
- k** Período no instante k do fluxo de caixa;
- j** Posição do vetor no período (início= 0)

2.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Considera os desembolsos da empresa - valores negativos - para fazer um projeto como um “empréstimo” a ser “pago” posteriormente com os embolsos ou receitas - valores positivos - proporcionados pelo mesmo projeto. Com essa metodologia, a TIR é a taxa de retorno implícita no fluxo de caixa, que só depende da relação entre os valores positivos e negativos, a qual iguala esses desembolsos aos embolsos com isso tornando o VPL=0.

A TIR é uma taxa média que considera toda a vida econômica do projeto e é expressa em termos anuais. Esta taxa é calculada obtendo-se as raízes da Eq. (8):

$$\text{TIR: } \sum_{k=0}^n \frac{E(CF_k)}{(1 + \text{TIR})^{k+j}} = 0 \quad (8)$$

Gitman (2002) afirma que o critério de decisão, quando a TIR é usada para tomar decisões do tipo aceitar ou rejeitar um projeto é o seguinte: se a TIR for maior que o custo de capital, aceita-se o projeto; se for menor, rejeita-se o projeto. Com esse critério garante-se que a empresa esteja obtendo, pelo menos, sua taxa devida de retorno. Mas apenas esse critério conceitual de decisão do Gitman sobre a TIR não basta para a tomada de decisão do investidor. Por isso, o projeto para ser realizado deve ter uma TIR positiva e maior rentabilidade que outras opções de investimentos em projetos e/ou no mercado financeiro.

2.4.3 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Para fazer a avaliação do fluxo de caixa líquido do projeto, considerando o valor do dinheiro no tempo, o risco e o retorno aceitável relativo ao segmento de negócio será peça fundamental determinar uma taxa de desconto, que será uma base para o cálculo dos indicadores econômicos do projeto.

A Taxa Mínima de Atratividade - TMA - é definida como a taxa de desconto que exige o retorno mínimo do projeto em análise, em função do seu risco de mercado, de modo a assegurar a remuneração do capital próprio e do capital de

terceiros. Essa taxa é o Custo Médio Ponderado de Capital - CMPC ou WACC - Weighted Average Cost of Capital.

2.4.4 Valor Presente Líquido X Taxa Interna de Retorno

Para projetos independentes e não excludentes, os métodos da Taxa Interna de Retorno e do Valor Presente Líquido levam à mesma decisão de rejeição ou aceitação do projeto, pois sempre que o Valor Presente Líquido for positivo a Taxa Interna de Retorno será maior do que a Taxa Mínima de Atratividade (projeto viável) e vice-versa, o mesmo acontecendo para Valor Presente Líquido negativo com Taxa Interna de Retorno menor do que a Taxa Mínima de Atratividade (projeto inviável).

Assumindo que dois projetos são mutuamente excludentes (e só se tem recursos para realização de um dos projetos), ou seja, a decisão de investimento em um implica a não realização do outro, pode existir um conflito na decisão de qual investir.

Surge então uma dúvida entre qual critério adotar, VPL ou TIR. Nesse caso, o critério adotado será o VPL, pois ele indica adição de valor já levando em conta o custo de capital e, além disso, pressupõe que os fluxos de caixa são reinvestidos a TMA, enquanto que a Taxa Interna de Retorno traz implícita na sua equação a suposição de que os fluxos de caixas gerados serão reinvestidos ao valor apurado da TIR. Tal suposição faz com que este indicador assumira um valor virtual de retorno do projeto quando não há esta possibilidade.

Então, na exposição dos resultados do estudo de caso, o investidor deve comparar os cenários das diversas análises de sensibilidade que serão realizadas. Nas mesmas, o investidor deve priorizar projetos que tenham um maior VPL, mesmo que a TIR seja menor em comparação com outro cenário.

2.4.5 Tributos

Para a elaboração do Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica do projeto é necessária a apuração dos tributos incidentes nos ganhos obtidos com a venda da energia elétrica produzida e com os créditos de carbono. De acordo com a Tabela 23 (MME, 2005 e OMA,2006), serão listados os tributos que serão incluídos no fluxo de caixa do projeto.

Tabela 23: Tributos incidentes em projetos de energia.

Tributos				
	Tributos	Alíquota	Incidência	Competência
1	COFINS	7,6%	Receita Bruta	FEDERAL
2	PIS	1,6%	Receita Bruta	FEDERAL
3	ICMS	0%	Receita Bruta	ESTADUAL
4	IR*	15 + 10%	Lucro antes dos impostos	FEDERAL
5	CSLL	9%	Lucro antes dos impostos	FEDERAL

* IR = 15% até R\$ 240.000/ano + 10% acima de R\$ 240.000/ano

Nota:

COFINS: Contribuição Permanente sobre Movimentações Financeiras.

PIS: Programa de Integração Social.

ICMS: Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços.

IR: Imposto de Renda

CSLL: Contribuição Social sobre o Lucro

O ICMS é um tributo estadual e em decorrência do Convênio ICMS nº 107/2002, sua alíquota é zero (MME,2005). No caso do Imposto sobre produtos industrializados (IPI), a incidência do mesmo não foi considerada (alíquota é zero) de acordo com o Decreto nº 4542/2002. Na Tabela 23 as tarifas do PIS/COFINS são não cumulativas, mas as tarifas adotadas no EVTE foram cumulativas, com o PIS (0,65%) e o COFINS (3,0%). Por fim, a incidência de Impostos sobre Serviços (ISS) sobre as operações relativas a comercialização de energia elétrica devem ser desconsideradas por força do §3º do Art. 155 da Constituição Federal (CF).

Com relação à tributação das receitas do Crédito de Carbono (CERs), incidem apenas IRPJ e CSLL. Já as operações que envolvem a exportação de “Créditos de Carbono”, não incidem PIS e COFINS por força de imunidade, prevista no art. 149, §2º, I, da CF. No caso de ISS, não há incidência desse imposto, pois os CERs são considerados cessões de direito e não prestação de serviços pela jurisprudência majoritária.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Aterro de Gramacho

Atualmente a cidade do Rio de Janeiro tem a sua produção **de 8 a 9,3 ton./dia de lixo**. De acordo com a Figura 14, considerando o valor de 263.370 toneladas/mês, pode-se concluir que a produção diária da cidade do Rio de Janeiro encontra-se em 8.779 toneladas/dia. Como o objetivo do estudo é analisar o aterro de Gramacho, também foi contabilizada a quantidade de lixo mensal e diário de Duque de Caxias. Veja na Tabela 24 uma síntese desses dados.



Figura 14: Panorama do lixo no estado do Rio de Janeiro.

Tabela 24: Contabilização dos resíduos sólidos urbanos (ton./mês e ton./dia).

Cidades	Tonelada/mês	Tonelada/dia
Rio de Janeiro	263.370	8.779
Duque de Caxias	16.000	533,33
Somatório	279.370	9.312,33

Para recolher o lixo, em vinte e duas cidades fluminenses [com mais de 100 mil habitantes], empresas privadas recebem R\$ 40 milhões das prefeituras.

De acordo com Araruna (2008), *“a coleta e a destinação de resíduos sólidos comprometem de 7% a 15% dos orçamentos municipais”*. Como as prefeituras costumam gastar cerca de 60% de seus recursos com folha de pagamento, o lixo muitas vezes lidera a lista de outras despesas. Com isto, destaca-se a importância de estudos técnicos e científicos que resultem em soluções e/ou alternativas para minimizar o problema dos resíduos sólidos urbanos.

Ressalta-se que o aterro de Gramacho está sendo administrado pelo consórcio Novo Gramacho, formado pelas empresas Biogás Energia Ambiental (constituída pela Logus e pela Heleno Fonseca), a paranaense J. Malucelli Construtora de Obras e a S.A. Paulista de Construções e Comércio. O consórcio Novo Gramacho venceu a licitação da Comlurb, no Rio de Janeiro, para operar por 15 anos o aterro sanitário de Gramacho.

O *status* mais recente do Aterro de Gramacho foi a conclusão da primeira fase da Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos, que trata diariamente, segundo a Comlurb, 960 m³ de chorume. Essa era uma das principais preocupações dos ambientalistas temendo a contaminação da Baía de Guanabara. O próximo passo é a conversão de energia através do biogás do lixo, que poderá ocorrer ainda nesse ano de 2009, de acordo com previsões da Comlurb.

3.2 Determinação do Biogás a ser Produzido

É fundamental para alcançar o objetivo proposto, ter o conhecimento da quantidade de biogás que será produzido para determinar a quantidade de energia que poderá ser gerada.

Na Tabela 25 é exposto o histórico da disposição de resíduos, que são os dados fundamentais para elaborar o EVTE.

Tabela 25: Histórico da Deposição de Resíduos.

Ano	Resíduos depositados (toneladas)	Resíduos Acumulados (toneladas)
1993	1.646.374	1.646.374
1994	1.669.443	3.315.817
1995	1.800.209	5.116.026
1996	2.325.161	7.441.187
1997	2.414.508	9.855.695
1998	2.390.021	12.245.716
1999	2.403.311	14.649.027
2000	2.454.563	17.103.590
2001	2.417.409	19.520.999
2002	2.473.918	21.994.917
2003	2.359.715	24.354.632
2004	2.641.513	26.754.632
2005	2.678.078	29.154.632
2006	2.801.754	31.722.632
2007	2.834.715	34.290.632
2008	2.859.384	37.210.632
2009	1.429.692	38.670.632

Notas:

1. Dados fornecidos pela COMLURB, 2007.
2. Taxas de deposição históricas (1993-2007) baseadas em pesos medidos pela balança no aterro.
3. Estimativas para 2008 e 2009 são baseadas em dados preliminares de 2009.
4. Data de encerramento do aterro em 2009/1 fornecida pela COMLURB. Capacidade total do aterro (38,6 milhões de toneladas) baseada na data de encerramento e em taxas de deposição históricas e projetadas.

3.2.1 Composição dos Resíduos

É importante ter-se em conta a composição dos resíduos quando se avalia um projeto de recuperação de biogás, em particular o conteúdo orgânico, o conteúdo

em umidade e a degradação das frações dos diversos resíduos. Por exemplo, aterros com elevado conteúdo de lixo alimentares, altamente degradáveis, tenderão a produzir biogás mais cedo, mas durante um período de tempo mais curto. O efeito da composição dos resíduos na produção de biogás é discutido mais adiante.

A Tabela 26 apresenta um resumo dos dados sobre a composição dos resíduos no aterro.

Tabela 26: Composição dos Resíduos do Aterro de Gramacho.

Componentes	Fracção do Fluxo de Resíduos (percentagem)
Alimentos e Resíduos Verdes	49,3
Papel e Cartão	24,8
Plásticos	15,3
Borracha, Pele, Têxteis, Ossos	3,0
Metais	2,9
Madeira	0,7
Vidro	3,1
Escombros de Construção e Demolição	0,9
Total	100,0

3.3 Aspectos técnicos do sistema de coleta e utilização de biogás

O aterro possui um sistema de coleta e controle de biogás, que consiste essencialmente em três sistemas separados (SCS Engineers, 2005): uma série de drenos, um sistema de drenagem e queima de biogás, e um sistema de recuperação de LFGTE (que é o desenvolvimento de projetos para geração de energia a partir do biogás do lixo). Cada um destes sistemas será discutido abaixo:

- a) Sistema de Ventilação de Biogás: o sistema de ventilação de biogás consiste em aproximadamente 263 drenos que não estão ligados a qualquer sistema de tubulação de coleta. Os drenos foram construídos fazendo-se escavações com profundidade de 3 a 5 m, onde foram

instaladas as tubulações de policloreto de vinila (PVC), sendo que as escavações foram preenchidas com brita. Os drenos estão bem distribuídos ao longo do aterro.

- b) Sistema de Drenagem e de Queima de Biogás: o sistema de drenagem e de queima de biogás consiste em 16 drenos adicionais que estão ligados através de um sistema de tubulação em PVC a um pequeno ventilador e a uma estação de queima. A construção dos drenos é similar à descrita acima. Os drenos, ventilador e estação de queima estão localizados na porção central do aterro.

O ventilador tem uma capacidade de 1.880 m³/h. Um queimador do tipo vela tem uma capacidade de 2.500 m³/h.

- c) Sistema de LFGTE: o sistema de LFGTE (que é o desenvolvimento de projetos para geração energia a partir do biogás do lixo) consiste numa série de 27 drenos que estão ligados a uma tubulação de polietileno de alta densidade (HDPE) e a um motor que funciona com uma combinação de biogás /Biodiesel e que fornece energia a um gerador de 200 kilowatt (kW).

A usina de LFGTE está gerando aproximadamente 80 kW (SCS Engineers, 2005) de eletricidade que é usada para fornecer energia a uma estação de tratamento de percolado, e está operando principalmente com biodiesel e não com biogás.

Entende-se que está planejado que a usina de LFGTE forneça energia aos escritórios dentro do local e às instalações de manutenção, assim como ao centro de reciclagem, e deverá eventualmente operar usando quantidades iguais de biogás e biodiesel.

3.3.1 Potencial de Recuperação do Biogás e Dimensionamento do Sistema de Coleta e Controle

Este ponto cobre os componentes do sistema de coleta e utilização de biogás. Com base na avaliação do potencial de recuperação de biogás no aterro

sanitário de Gramacho apresentado com mais detalhes no Apêndice A, a quantidade de biogás recuperável (22.000 m³/h, em 2010) é suficiente para o desenvolvimento de um sistema que utilize o biogás como fonte de geração de eletricidade. A eletricidade gerada na usina de transformação do gás do aterro em energia pode levar a economias na compra de eletricidade para uso no aterro e pode também produzir receitas com a venda da eletricidade excedente para o mercado.

Para assegurar a combustão de todo o biogás coletado e maximizar a redução das emissões de gases do efeito estufa, qualquer biogás que não seja usado como combustível na usina de transformação de gás instalada no próprio aterro sanitário será queimado num queimador de biogás. Podem ser feitas reduções adicionais das emissões de GEEs na medida em que fontes de combustíveis normalmente utilizados para a geração de eletricidade sejam substituídas pelo uso de metano na Usina Termoelétrica de Biogás.

Apesar do aterro atualmente ter vários drenos, alguns dos quais são usados em sistemas de coleta de biogás ativos, estes drenos não estão construídos de um modo que permita o seu uso do sistema de produção de energia elétrica através do biogás do lixo ativo. Conseqüentemente, um sistema de coleta de biogás ativo (incluindo novos poços) terá de ser instalado.

Para maximizar as taxas de recuperação de biogás, o sistema de coleta deverá ser abrangente e instalado sobre áreas fechadas do aterro.

Para a determinação do Potencial de Recuperação do Biogás utilizando a Metodologia USEPA, é necessário aplicar a Equação 1 supracitada na Metodologia desse trabalho. Com isso, é preciso definir o valor da capacidade de recuperação potencial de metano L_0 e a taxa de degradação de metano k

O valor para a capacidade de recuperação potencial de metano L_0 para o aterro sanitário de Gramacho está estimado pelo documento de concepção do projeto em 84,8 m³/ton (World Bank, 2005). Esse valor é apropriado para o aterro sanitário de Gramacho que recebe 1.140 mm/ano de precipitação (Comlurb, 2008). Abaixo na Tabela 27, a metodologia de cálculo é demonstrada.

Tabela 27: Determinação do Valor de L_0 (potencial máximo de geração de metano).

	Aterros Sanitários dos Estados Unidos	Aterro Sanitário de Gramacho	Ratio: Gramacho/Estados Unidos.
Orgânico %	68,2%	77,8%	1,14
Peso Seco %	80,3%	63,7%	0,79
Valor de L_0	93,6 m ³ /Mg	84,8 m ³ /Mg	0,91

Para determinar a taxa de degradação de metano (k) no aterro sanitário de Gramacho, foi feito um estudo comparativo dos componentes dos resíduos encontrados no aterro de Gramacho com relação aos resíduos depositados nos aterros típicos da USEPA (USEPA, 2005), apropriados para a precipitação anual de Gramacho (1.140 mm/ano de precipitação). Esse estudo é apresentado na Tabela 28.

Tabela 28: Comparação da Composição dos Resíduos Gramacho x EUA.

Componente dos Resíduos	Aterro Sanitário de Gramacho (%)	Estados Unidos Típico (%)	Categoria de Degradabilidade	Valores de k
Resíduos Alimentares (1)	46,6	11,5	Rápido	0,30
Resíduo Verde (rápida) (1)(2)	1,4	5,6	Rápido	0,30
Outros Orgânicos	0,0	1,6	Rápido	0,30
Resíduo Verde (médio) (1)(2)	1,4	5,6	Médio	0,060
Papel	24,8	26,6	Médio	0,060
Madeira	0,7	10,3	Lento	0,015
Borracha, Pele, Têxteis	3,0	6,9	Lento	0,015
Plásticos	15,3	9,7	Inerte	0,0
Metais	2,9	5,4	Inerte	0,0
Vidro	3,1	5,3	Inerte	0,0
Outros Inorgânicos	0,9	11,4	Inerte	0,0

NOTAS:

1. Assume "resíduo orgânico" = 75% resíduo alimentar e 25% resíduo verde.
2. Assume resíduo verde 50% de materiais verdes (rápida decomposição) e 50% folhas e ramos (decomposição média).

Nesse comparativo de dados feito pela Tabela 28, constata-se que o fluxo de resíduos no aterro sanitário de Gramacho contém uma quantidade significativamente superior de resíduos alimentares (altamente degradáveis) do que as encontradas nos resíduos típicos nos Estados Unidos. Como os resíduos alimentares são muito

facilmente degradáveis, a produção de biogás ocorre mais rapidamente, mas durante um período de tempo menor. Logo, um gráfico da recuperação de biogás de Gramacho, apresentará um declive mais acentuado (atingindo fluxos máximos mais rapidamente), mas sua produção sustentável por um longo prazo será mais baixa que no caso da recuperação que utiliza resíduos com componentes de mais baixa degradação (caso dos aterros americanos). O conteúdo orgânico mais elevado resultará num potencial mais elevado de geração de metano por tonelada de resíduo.

Então, de acordo com o documento de concepção do projeto (World Bank, 2005) os valores para as três constantes taxa de degradação de metano (k) usadas na modelagem da recuperação do biogás no aterro sanitário de Gramacho são:

- a) resíduos de decomposição rápida: 0,30 por ano.
- b) resíduos de decomposição média: 0,060 por ano.
- c) resíduos de decomposição lenta: 0,015 por ano.

A Tabela 29 mostra os valores praticados para k e L_0 nos principais projetos de geração de energia através do biogás de lixo em aterros sanitários.

Tabela 29: Sumário dos valores de k e L_0 .

1	MMA / ESALQ (Estimativa do Potencial de Geração Energia de Aterros em Regiões Metropolitanas)
	$k = 0,05$ a $0,15$ e $L_0 = 140$ a 190 m^3/t
2	Projeto Anaconda (BVRJ/MBRE – Documento de Concepção de Projeto)
	$k = 0,10$ e $L_0 = 170,8$ m^3/t
3	Nova Gerar (Documento de Concepção de Projeto)
	$k = 0,10$ e $L_0 = 164$ m^3/t ($2,63$ ft^3/lb)
4	Aterro de Salvador (Documento de Concepção de Projeto)
	$k = 0,12$ e $L_0 = 180$ m^3/t

Por fim, com a aplicação da metodologia USEPA no aterro de Gramacho, sua recuperação de biogás de lixo em 2009 será no patamar de 30.000 m^3/h . Após o fechamento do local, espera-se que a recuperação do gás de lixo venha a se declinar rapidamente, conforme o Gráfico 6.

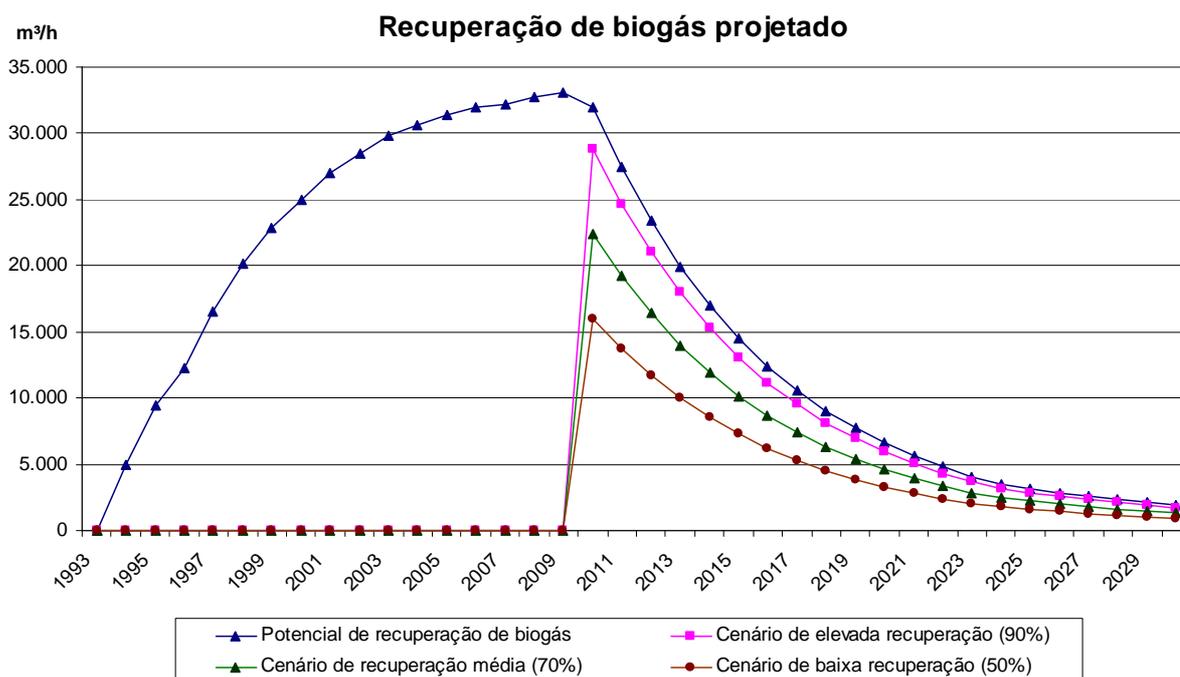


Gráfico 6: Recuperação de biogás projetada no Aterro Sanitário de Gramacho.

3.3.2 Construção do Sistema de Coleta Inicial

Os Componentes do Sistema de Coleta e Controle, em uma das áreas do aterro foram observados com elevados níveis de percolado durante o teste de bombeamento realizado pela SCS Engineers (empresa de engenharia especializada na área). Se esta condição for representativa do aterro inteiro, a utilização apenas de poços de drenagem vertical poderá não ser possível para uma coleta eficiente de biogás. Com isso, o ideal é a instalação de uma mistura de poços de drenagem vertical e coletores horizontais para coletar biogás. Por fim, foi assumido que o sistema de coleta de gás iria consistir nos seguintes elementos de acordo com a SCS Engineers (2005).

- a) Instalação de aproximadamente 55 poços de drenagem vertical. Uma das diretrizes gerais para empreendimentos deste tipo estabelece que, normalmente, poços de drenagem têm um “raio de influência (ROI)” que varia de 1,25 a 2,5 vezes sua profundidade, dependendo da razão entre

tubos sólidos e tubos perfurados, da permeabilidade do resíduo e de outros fatores.

Os dados dos testes de bombeamento indicaram que o ROI do poço de drenagem (que foi constantemente bombeado para a retirada de percolado) no aterro sanitário de Gramacho é aproximadamente 1,7 vezes profundidade do poço. Com base nestes dados, tipicamente recomenda-se um espaçamento entre os poços de cerca de 100 m para o Plano de Dimensionamento Conceitual. No entanto, devido ao risco de elevados níveis de percolado, recomenda um espaçamento entre os poços menos denso de 1 poço por 2 ha e o uso de coletores horizontais.

Para fins orçamentários, presume-se que cada poço de drenagem seria adaptado com uma cobertura de poço com uma válvula de controle de fluxo e pontos de monitoração de gás.

- b) Instalação de aproximadamente 4.530 metros de coletores horizontais. Os coletores consistirão em tubulação HDPE perfurada instalada em fossas resultantes da escavação em 3 m dentro do resíduo.

Para propósitos orçamentários, presume-se que cada coletor horizontal seria adaptado com duas coberturas de poço cada uma com uma válvula de controle de fluxo e pontos de monitoração, um em cada ponta do coletor.

- c) Instalação de bombas de percolado em todos os poços de drenagem vertical. Com base nos testes de bombeamento, presume-se que bombas de percolado serão necessárias em todos os poços de drenagem de gás para reduzir os níveis de percolado e melhorar a eficiência da coleta de gás. As bombas irão bombear para dentro de um tanque de armazenamento de plástico, e o percolado será depois bombeado para um caminhão-tanque.

d) Instalação de aproximadamente 11.102 metros de tubulação de polietileno de alta densidade (HDPE) para ligar os poços de drenagem à estação de queima e à estação de controle do biogás. Esta tubulação inclui uma tubulação principal com cabeçotes dimensionados para acomodar elevadas taxas de fluxo de gás e tubulações laterais menores, dimensionadas para fazer a ligação com os poços de drenagem.

Para propósitos orçamentários, assume-se que a tubulação consistirá em:

–122 m de tubulação de cabeçote com 914 mm de diâmetro

–3.690 m de tubulação de cabeçote com 762 mm de diâmetro

–1.580 m de tubulação de cabeçote com 457 mm de diâmetro

–1.980 m de tubulação de cabeçote com 305 mm de diâmetro

–3.730 m de tubulação de cabeçote com 153 mm de diâmetro

e) Instalação de um sistema de tratamento e monitoramento do condensado. O condensado que se forma na rede de tubulação do biogás à medida que o gás quente arrefece poderá causar problemas operacionais significativos se não forem tomadas as decisões necessárias. O sistema de coleta de biogás deverá ser dimensionado para acomodar a formação do condensado. Presume-se que isso será conseguido através linhas de condensado auto-drenantes de 700 m de HDPE de 110 mm de diâmetro, que irão drenar para uma vala específica do sistema de tratamento do condensado que está à volta do local.

f) Instalação de um ventilador e uma estação de queima. Embora seja esperado que a situação operacional predominante seja com a usina de utilização de biogás usando a maior parte do gás coletado, antecipa-se que uma fração significativa de biogás não será utilizada pela usina e terá de ser queimada num dispositivo de controle secundário. Os queimadores também servirão de equipamentos adicionais de controle para garantir a

contínua redução de emissões nos períodos de baixa produção ou durante a manutenção dos equipamentos principais.

O sistema adotado deverá ser composto por um queimador do tipo fechado para permitir que tanto as reduções das emissões dos gases poluentes quanto os componentes da descarga possam ser testados e quantificados (o teste da descarga não é possível em queimadores abertos do tipo vela).

Para fins orçamentários, foi suposto que a construção do sistema inicial incluiria a instalação de aproximadamente 22.950 m³/h de capacidade de queima de gás, bem como de equipamento de ventilação. Esta capacidade é suficiente para tratar a taxa máxima de recuperação de biogás projetada sob o cenário de média recuperação (22.370 m³/h).

g) Instalação de uma usina de utilização de biogás. Para propósitos orçamentários, presume-se que a construção do sistema inicial irá ocorrer no ano logo após o fechamento do aterro sanitário (o aterro sendo fechado em 2009, sendo que a operação do sistema inicial poderá começar em 2009/2010) e deverá incluir a instalação de um conjunto motor-gerador com uma capacidade bruta de 10 MW (motores de sete [7] x 1,433 MW). Esta usina deverá necessitar de aproximadamente 6.060 m³/hora de biogás para operar com capacidade total, que estará disponível nos 8 primeiros anos sob o cenário de média recuperação. Presume-se que será necessário algum pré-tratamento do biogás para retirada da umidade e de outros compostos indesejáveis (H₂S e excesso de CO₂).

No caso da UTE de biogás mencionada acima, a partir do nono (9º) ano (2018), não irão existir quantidades suficientes de biogás para sustentar todos os sete motores. Dois dos motores terão de ser retirados, deixando uma capacidade bruta de 7,165 MW (motores de 5 x 1,433 MW). Isto requererá aproximadamente 4.330 m³/h de biogás para operar com capacidade total, que estará disponível até o 11º ano (2020).

A partir do 12º ano (2021), não irão existir quantidades suficientes de biogás para sustentar todos os 5 motores. Mais dois dos motores terão de ser retirados, deixando uma capacidade bruta de 4,30 MW (motores de três [3] x 1,433 MW). Isto requererá aproximadamente 2.600 m³/h de biogás para operar com capacidade total, que estará disponível até o 15º ano (2024).

3.3.3 Expansão e Manutenção do Sistema de Coleta

Com o objetivo de se manter um elevado nível de eficiência no sistema de coleta e maximizar as taxas de recuperação de biogás e as reduções de emissão de gases do efeito estufa, será necessário expandir o sistema de coleta e fazer um programa regular de operação e manutenção do equipamento correspondente. Após o início do funcionamento do sistema, os dados operacionais deverão ser registrados e cuidadosamente revistos no que diz respeito aos critérios de projeto do sistema, e os ajustes adequados deverão ser feitos. Modificações específicas do “layout” dos aterros existentes indicadas pelos dados operacionais poderão incluir as seguintes:

- a) poços não produtivos ou danificados necessitarão ser reparados e substituídos;
- b) áreas do aterro onde dados monitorados indiquem um excesso de biogás poderão ter taxas de recuperação mais elevadas se forem instalados poços adicionais;
- c) o monitoramento progressivo dos níveis de percolado nos poços indicará se são ou não necessárias bombas de sucção.

3.4 **Custos Orçamentários para Sistema de Coleta e Queima de biogás**

Com o objetivo de avaliar os aspectos econômicos do projeto, foram estimados os custos de capital para o desenvolvimento de um projeto de recuperação de biogás e sua utilização no aterro sanitário. Também foram levantados os custos anuais esperados para a operação, manutenção e expansão

regular do sistema de coleta de biogás, junto com custos recorrentes para a expansão da capacidade da estação de ventilação/queima e da usina.

3.4.1 Custos do Sistema de Coleta e Queima de Biogás

O custo orçamentário estimado da construção do sistema de coleta e de queima ficou em US\$ 5.890.880. Esses são custos associados ao sistema de coleta de gás descrito previamente e apresentados no Apêndice A, e incluem: poços de drenagem de gás, coletores horizontais, cabeçotes e tubulação lateral, drenagem do condensado, instalação de uma estação de ventilação e de queima.

A Tabela 30 apresenta um sumário executivo dos itens de custo. Um orçamento mais detalhado desses custos e dos valores respectivos está no Apêndice A.

Tabela 30: Custos Orçamentários Iniciais do Sistema de Coleta do Biogás com Queimador.

Item	Custo Total Estimado (US\$)
Mobilização e Gestão do Projeto	150.000
Tubulação principal de coleta de gás ⁽¹⁾	2.250.250
Tubulação lateral	173.200
Passarelas	47.300
Gestão do Condensado	27.300
Poços de Drenagem Vertical ⁽²⁾	323.000
Coletores Horizontais ⁽³⁾	971.830
Equipamento de Ventilação e Queima (queimador) ⁽⁴⁾	1.400.000
Engenharia, Contingência, e Custos Iniciais de Transação do MDL ⁽⁵⁾	558.000
Custo Total Estimado	\$5.890.880

Fonte: SCS Engineers, 2005

NOTAS:

(1) A tubulação de coleta inclui as válvulas de isolamento.

(2) Os custos dos poços de drenagem incluem poços, cabeçotes dos poços, tampas para a cobertura dos poços, válvulas de controle de fluxo, bomba de percolado e tanque de armazenamento, e deposição dos resíduos de perfuração para os 55 poços

(3) Os custos do coletor horizontal incluem a tubulação, brita, cabeçotes dos poços, e válvulas de controle do fluxo para 4.530 m de coletor horizontal.

(4) Esses equipamentos incluem o ventilador e queimador: cinco ventiladores de 4.590 m³/h e queimadores, trabalho de construção, equipamento para medição e registro de biogás, custos de *start-up* do queimador e teste de início.

(5) Os custos iniciais de transação do MDL são estimados em \$50.000 e incluem a preparação do Documento de Concepção do Projeto, registro, validação e procedimentos legais.

3.4.2 Custos de Operação e Manutenção para o Sistema de Coleta e Queima de Biogás

Estimam-se os custos orçamentários para a operação e manutenção do sistema de coleta de gás em aproximadamente 5% dos custos do sistema inicial, ou seja, cerca de US\$ 295.000. Esses custos incluem tanto os relativos à operação e manutenção do sistema de coleta existente, tais como trabalho, verificações, manutenção de rotina e consertos, e substituições nos poços quanto os destinados às expansões regulares do sistema de coleta. Dado que o aterro será fechado, estima-se que os custos de operação e manutenção sejam reduzidos em 50% se o aterro ainda estiver em operação. A Tabela 31 apresenta um sumário dos itens de custo.

Tabela 31: Custos Orçamentários Anuais de Operação, Manutenção e Expansão/Substituição do Sistema de Coleta e de Queima.

<u>Itens Incluem:</u>	
Mão de obra	
Monitoramento dos custos do equipamento	
Peças e componentes	
Poços de drenagem adicionais, coletor horizontal, e reparação e substituição de tubulação lateral	
Engenharia/Contingências	
Custos Totais Estimados (US\$)	\$295.000

3.4.3 Custos para Registro, Monitoramento e Verificação para o Sistema de Coleta e Queima de Biogás

Outros custos anuais incluem os associados com o ciclo do projeto do MDL, incluindo taxas de registro e monitoramento e verificação dos Certificados de Emissões Reduzidas (CER). Como demonstrado na Tabela 32, esses custos foram estimados em aproximadamente US\$ 40.000 em 2006. Custos adicionais do ciclo de

projeto do MDL incorridos anualmente, tais como o custo de venda dos CERs e os custos de mitigação de risco, deverão ser relativamente pequenos (menos de 10% do valor dos CERs) tendo em vista os preços de CERs utilizados.

Tabela 32: Custos Orçamentários Anuais de Registro, Monitoramento e Verificação do Projeto.

Itens Incluem: Custos administrativos associados à Comissão Executiva e às taxas de registro Monitoramento e Verificação dos CERs	
Custo Total Estimado	US\$ 40.000

3.5 Geração Elétrica

Realizou-se estimativa dos custos de capital e dos custos anuais para construção de uma UTE abastecida com biogás usando a tecnologia de motores de combustão interna.

3.5.1 Estimativa Orçamentária do Custo Inicial da Usina

Estima-se em aproximadamente US\$ 9.624.000 o custo inicial de uma UTE de 10 MW (bruto) abastecida com biogás para substituir o consumo de energia no local e vender a energia excedente à rede. Esses custos são adicionais aos do sistema de coleta e de queima de biogás, e deverão entrar em vigor no 2º ano. Assume-se que a UTE começará a operar no 1º dia do 3º ano do projeto e continuará a operar até o 15º ano. A Tabela 33 apresenta um sumário do custo inicial de cada item. Uma descrição mais detalhada dos custos iniciais e dos respectivos valores está nos Apêndices A e B.

Tabela 33: Custos Orçamentários da UTE

Item	Custo Total Estimado (\$) ⁽¹⁾
Usina de energia de 10 MW abastecida com biogás ⁽²⁾	\$8.025.000
Interconexão de 3 km	\$500.000
Construção da usina/trabalho no local (incluindo tubulação)	\$174.000
Medição do biogás e equipamento de registro	\$50.000
Engenharia/Contingências (10% de outros custos)	\$875.000
Custo Total Estimado	\$9.624.000

NOTAS:

(1): Os valores estão em US dólares (cotação de 2,6738), e não estão ajustados à inflação.

(2): Os custos da usina prevêem geradores de energia mantidos em contêineres, sem necessidade de qualquer construção.

3.5.2 Estimativa Orçamentária de Operação e Manutenção Anual

Os custos orçamentários anuais estimados da operação e manutenção da UTE iniciais ficaram em aproximadamente 1,8 centavos de dólar por kWh de saída de eletricidade (estimados em 73,55 milhões de kWh em 2007), ou cerca de US\$ 1.323.900,00, incluindo mão-de-obra e equipamento - inclusive para a operação e manutenção dos equipamentos da usina (mão-de-obra, testes, manutenção de rotina e reparos).

A Tabela 34 apresenta os custos estimados de operação e manutenção da UTE.

Tabela 34: Custos Orçamentários Anuais de Manutenção da UTE.

<u>Itens incluem:</u> Mão-de-obra Monitoramento dos custos do equipamento Peças, materiais e transporte	
Custos Totais Estimados	US\$ 1.323.900

3.5.3 Aspectos Finais Sumarizados para Geração de Energia

Na Tabela 35, é apresentado um sumário das taxas de recuperação de biogás esperadas e as capacidades previstas para a usina, mostrando os anos durante os quais o fluxo projetado deverá ser suficiente para atender à capacidade dos motores em operação.

Tabela 35: Sumário das Taxas de Recuperação de Biogás e Capacidade (Bruta) da Usina Termoelétrica

Ano	Taxa de Recuperação de Biogás projetada (m ³ /h)	Capacidade Bruta da Usina de Motor de Combustão Interna (kW)
2012	23.404	10.031
2013	19.973	10.031
2014	17.045	10.031
2015	14.546	10.031
2016	12.414	10.031
2017	10.594	10.031
2018	9.041	7.165
2019	7.716	7.165
2020	6.585	7.165
2021	5.619	4.299
2022	4.796	4.299
2023	4.093	4.299
2024	3.493	4.299

Na Tabela 36, é feito um sumário das possibilidades e potencialidades de geração de energia para esse projeto.

Tabela 36: Sumário dos pressupostos temporais dos sistemas de coleta e operação e capacidade (MW) do projeto.

Ano	Pressupostos
2010	Sistema de coleta de gás e de queima em construção
2011	Início do Sistema de Coleta e de queima. Usina em construção.
2012	Início do funcionamento da usina de energia ; Sistema a operar à capacidade de 10 MW.
2013	Sistema a operar à capacidade de 10 MW
2014	Sistema a operar à capacidade de 10 MW
2015	Sistema a operar à capacidade de 10 MW
2016	Sistema a operar à capacidade de 10 MW
2017	Sistema a operar à capacidade de 10 MW
2018	Sistema a operar à capacidade de 7,2 MW
2019	Sistema a operar à capacidade de 7,2 MW
2020	Sistema a operar à capacidade de 4,3 MW
2021	Sistema a operar à capacidade de 4,3 MW
2022	Sistema a operar à capacidade de 4,3 MW
2023	Sistema a operar à capacidade de 4,3 MW
2024	Sistema a operar à capacidade de 4,3 MW

A alternativa em que se considerava a inexistência de UTE (cenário de apenas queima) não foi objeto da análise financeira, pois o objetivo da dissertação é a produção de energia através do biogás do lixo e a possível obtenção de créditos de carbono. Sob este cenário alternativo indesejável, assume-se que não se constrói uma usina elétrica e todo o biogás é consumido num queimador.

3.6 Avaliação Econômica

As questões econômicas relativas a um projeto de recuperação do biogás do lixo para produção de energia foram avaliadas usando a projeção dos custos de capital e dos custos anuais descritos detalhadamente no Apêndice B, bem como as receitas previstas descritas abaixo. Para o propósito desta avaliação, foi presumido

que os fluxos de receitas incluem as relativas à venda de eletricidade e à economia de não mais ser necessário comprá-la para atender as necessidades do aterro (sob o cenário de projeto de utilização); incluem também as receitas associadas às reduções das emissões de GEE. Com isso é possível, por exemplo, obter receitas geradas através da venda de créditos de carbono.

Um sumário da avaliação econômica e dos pressupostos é apresentado abaixo. Uma análise mais detalhada da questão econômica encontra-se nas tabelas no Apêndice B.

3.6.1 Pressupostos Básicos

Os seguintes pressupostos gerais foram usados para avaliar as questões econômicas do projeto:

- a) a avaliação econômica foi feita para um período de 15 anos;
- b) duas opções de financiamento foram consideradas, uma sem nenhum financiamento das despesas de capital (por exemplo, a aplicação inicial de 100% das despesas de capital) e outra com financiamento de 75% das despesas iniciais de capital (25% de aporte de capital inicial);
- c) foram considerados diversos cenários para a avaliação dos Certificados de Emissões Reduzidas (CER), com preços de venda de US\$ 5, US\$ 6, US\$ 7, US\$ 8, US\$ 10, US\$ 13, US\$ 15, US\$ 17 e US\$ 20 por tonelada de CO₂ equivalente;
- d) usou-se a mesma taxa de juros de 8% anual no cálculo do valor presente líquido (VPL) e para o financiamento do empréstimo;
- e) o período de pagamento do empréstimo para o investimento inicial (75% do valor = \$11.636.160,00) foi de 15 anos;
- f) para esta análise, foi considerado o pagamento de aproximadamente 20 por cento de receitas de CER ao proprietário do aterro sanitário pelo uso de biogás (representado por uma taxa de \$0,035/MMBtu). Tem-se como base na experiência internacional, que o pagamento ao proprietário do

aterro pelo biogás pode variar entre 10 a 30 por cento das receitas de CER. Se o proprietário do aterro decidisse desenvolver o projeto sozinho (o que não é usual) podia-se assumir este valor como sendo nulo;

- g) a venda de biogás tem reajuste anual de 3%;
- h) gastos futuros com operação e manutenção e com a melhoria do sistema têm reajuste anual de 3%.

Além desses pressupostos básicos, para a construção da UTE, aplicam-se os seguintes pressupostos técnicos e econômicos:

- a) a usina consistirá inicialmente de sete motores de 1,433 MW a combustão interna que são comprados no 1º ano e que funcionarão do 3º ano ao 8º ano. Após 8º ano, o fluxo de biogás irá diminuir e serão apenas suficientes para operar cinco motores do 9º ano ao 11º ano, e três motores de 12º ano ao 15º ano;
- b) não são considerados os motores que são retirados de serviço à medida que a produção de biogás diminui, na análise financeira, apesar destes terem um valor de revenda considerável. Incluindo esse item na análise financeira, o projeto se torna mais viável e são obtidos melhores indicadores econômicos como: Taxa Interna de Retorno e Valor Presente Líquido;
- c) presumiu-se uma redução de 7% na produção de eletricidade da usina para cobrir a carga parasítica, bem como um fator de capacidade da usina de 90% devido a períodos rotineiros e não-rotineiros de inatividade. O biogás coletado durante o tempo de manutenção da usina será direcionado para a queima;
- d) supõe-se que toda a eletricidade gerada pelo projeto seja vendida fora do aterro. É fato que parte da eletricidade gerada irá suprir as necessidades energéticas no aterro, e isso é considerado um aumento de receitas, já que a eletricidade comprada da rede (no mercado cativo em empresas como Light ou Ampla, por exemplo) é mais cara que a eletricidade gerada e vendida pelo projeto, pois não incidem impostos como PIS, COFINS

(PIS + COFINS = 9,25%) e ICMS (patamar médio de tributação é de 18 a 25%).

3.6.2 Despesas do Projeto

Para a avaliação econômica, foram consideradas as seguintes despesas para a construção da UTE:

- a) investimento inicial de capital para os sistemas de coleta e de queima de biogás, e da usina termoelétrica;
- b) compra de biogás do proprietário do aterro;
- c) custo anual para a operação, manutenção, registro anual de CER, monitoração e verificação.

3.6.3 Receitas do Projeto

Existem três projetos principais de geração de energia a partir do biogás em escala comercial, atualmente ativos no Brasil. Em São Paulo e no Rio de Janeiro existem respectivamente os projetos da Nova Gerar e Bandeirantes, assim como outro projeto na Bahia. A projeção para o preço de venda de energia foi baseada nos seguintes cenários reais de determinação de preços para projetos:

- a) no Estado de São Paulo, existem produtores independentes de energia (PIE) que produzem energia a partir de bagaço de cana de açúcar e vendem a eletricidade a uma instalação de eletricidade local através de um acordo de venda de energia (PPA), a um preço aproximado de 80,00R\$/MWh (cerca de U. S. \$ 0,029/kWh). No entanto, o projeto do Aterro de Bandeirantes, no qual um banco é um PIE, produzirá energia a partir de biogás e fornecerá para sua matriz. Como compensação todas as sucursais do banco (Unibanco) recebem eletricidade gratuitamente. Logo estão propensos a vender a eletricidade no preço de compra, que é acima de R\$200,00/MWh (\$0,074/kWh) (Nova Gerar e World Bank, 2005).

- b) se um projeto obtiver qualificação para o PROINFA¹ - um programa do governo federal para incentivo às energias renováveis, através do qual a ELETROBRAS estabelece um contrato de fornecimento de compra e venda de energia (PPA) durante 20 anos, a partir de 1º de Março de 2004, pôde-se receber R\$169,08/MWh (aproximadamente \$ 0,062/kWh). Esse Valor Econômico referente à Tecnologia Específica da Fonte está fixado por meio de Portaria MME nº 45, de 2004 e reajustado até a data de assinatura do contrato pelo Índice Geral de Preços - Mercado – IGP-M/FGV. Após a assinatura do contrato, esse valor será reajustado, anualmente, também pelo IGP-M/FGV (MME, 2004).
- c) o Documento de Apreciação do Projeto (PAD), para o projeto de energia a partir do biogás financiado pelo GEF (que é o Fundo Mundial do Meio Ambiente ou Global Environmental Facility) nos projetos da Nova Gerar, expressa que um acordo de compra de energia esteve disponível com uma condição de pelo menos 12 anos e uma tarifa de base de eletricidade de US \$0,048/kWh. (Nova gerar e World Bank, 2005).

Elaborando a análise financeira tendo como base o princípio do conservadorismo, dos três cenários de preços, o menor será utilizado (\$0,029/kWh). Com isto, as seguintes receitas de projeto foram consideradas sob o cenário da UTE para a avaliação econômica:

- a) do 3º ano ao 8º ano, a UTE produz um total de 54.504 MW/ano, que pode ser vendido a uma taxa de U.S. \$0,029/kWh, com base nas taxas médias estimadas de compra de energia por atacado;
- b) reduções certificadas de emissões dos GEE são vendidas a partir de uma taxa entre U.S. \$5 a \$7 por tonelada de CO₂eq com base na gama de potenciais preços de compra considerados pelo Banco Mundial para estes projetos. (Carbon Market, 2009).

¹ O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica é um programa instituído em 2002 para diversificar a matriz energética brasileira e buscar soluções de cunho regional com a utilização de fontes renováveis de energia, mediante o aproveitamento econômico dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis. O Proinfa prevê o aumento da participação da energia elétrica produzida com base em fontes renováveis no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN).

Presumiu-se que o biogás coletado que exceda a capacidade da UTE será queimado, bem como o biogás coletado durante períodos de paralisação da usina.

O apêndice B apresenta um sumário mais detalhado das receitas do projeto.

3.6.4 Sumário das Avaliações Econômicas

A Tabela 37 traz um sumário dos resultados da avaliação econômica no cenário da UTE, apresentando uma composição de opções de financiamento, preços de venda dos Certificados de Emissões Reduzidas e cenários de duração do projeto apresentando o **Valor Presente Líquido (VPL)** e a **Taxa Interna de Retorno (TIR)** do projeto. Esses valores incluem tanto receitas da comercialização dos créditos de carbono, quanto as receitas da venda de energia produzida a partir do biogás de lixo. Os resultados não têm a incidência de impostos, mas será apresentado no item 3.6.5, cenários incluindo impostos considerando um projeto no estado do Rio de Janeiro.

Tabela 37: Sumário da Avaliação Econômica (UTE).

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
7	11,14%	\$3.090.368
8	14,3%	\$7.062.694
10	19,16%	\$15.007.347
13	24,66%	\$26.924.326
15	27,65%	\$34.868.978
20	33,77%	\$54.730.610
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
7	13,13%	\$2.228.430
8	18,9%	\$6.200.756
10	26,74%	\$14.145.409
13	34,92%	\$26.062.388
15	39,23%	\$34.007.041
20	47,83%	\$53.868.672
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

Como demonstrado na Tabela 37 às projeções econômicas para UTE apresentam-se atrativas (valores positivos para VPL e TIR) para todos os cenários

de preços de venda de CER (a partir de CER = \$7 ton. CO₂ eq.) e de financiamento. Utilizando o VPL, como critério prioritário para decisão do investimento, o investidor deverá utilizar o projeto com 100% de Investimento Inicial de capital. Mas se o investidor carecer de recursos para fazer os 100% de aporte inicial de capital, o mesmo poderá realizar o projeto via 25% de investimento inicial de capital. Pelo fato de pagar juros na opção de realizar o projeto via aporte de 25% de investimento inicial de capital, o mesmo não terá a mesma VPL, que é o principal indicador para análise de investimentos de projetos, mas ainda assim, o projeto será viável de acordo com a Tabela 37.

Mas se o investidor realizar a produção de energia a partir do biogás do lixo utilizando o valor da CER (US\$ 5 ton.CO₂ eq.) obtido no aterro sanitário de Santa Tecla no Rio Grande do Sul ou Adrianópolis em Nova Iguaçu, os indicadores financeiros (VPL e TIR) não se encontram em patamares favoráveis, de acordo com a Tabela 38.

Tabela 38: Avaliação Econômica com UTE (CER a \$5 e \$6 ton.CO₂ eq.)

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
5	0,00%	(\$4.854.285)
6	6,9%	(\$881.959)
Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
5	0,00%	(\$5.716.223)
6	0,00%	(\$3.263.598)
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

Na Tabela 39 é mostrada a simulação com os patamares de CER US\$ 5 e 6 ton.CO₂ eq., mas utilizando uma taxa de venda de energia de um cenário otimista no valor de \$0,035 kWh. Mesmo com alguns valores positivos de TIR e VPL, o projeto não obteve um valor aceitável de taxa interna de retorno, que geralmente é no patamar acima de 10%.

Tabela 39: Sumário da Avaliação Econômica com UTE (energia a \$0,035 kWh)

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
5	5,06%	(\$2.401.660)
6	9,6%	\$1.570.666
Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
5	0,00%	(\$3.263.598)
6	9,65%	\$708.729
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,035 kWh		

Ressalta-se que a análise econômica indica essencialmente o fluxo de dinheiro para quem está desenvolvendo o projeto (assume-se que será alguém de fora). A receita para o proprietário do aterro é geralmente representada pelo preço de venda de biogás a \$0,35/MMBtu.

Por fim, foi feita uma análise de sensibilidade utilizando uma variação do preço de venda da energia (elevando 20% o preço do cenário médio chegando ao valor de 0,035 \$/kWh e reduzindo 20% o preço do cenário médio obtendo o valor de 0,022 \$/kWh). Os resultados desta análise de sensibilidade estão no Apêndice B que são informações importantes para ajudar na decisão do empresário de quando e como investir na produção de energia a partir do biogás. No Apêndice B, foi feito um estudo sobre a viabilidade da produção de energia a partir do biogás sem a obtenção de receitas com a comercialização dos créditos de carbono. Com isso, conclui-se que é inviável esse projeto exceto se houver uma elevação muito significativa no preço da energia em \$/kWh (num patamar percentual aproximado de 250% sob o cenário base de 0,029 \$/kWh) para compensar a ausência das receitas através da obtenção dos créditos de carbono.

3.6.5 Análise econômica com tributos

A Tabela 40 traz um sumário dos resultados da avaliação econômica no cenário com tributos da UTE, apresentando o **Valor Presente Líquido (VPL)** e a **Taxa Interna de Retorno (TIR)** do projeto.

Tabela 40: Sumário da Avaliação Econômica com UTE (U.S \$0,029 kWh) e tributos.

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
7	3,30%	(\$3.459.694)
8	7,2%	(\$745.884)
10	12,20%	\$4.622.214
13	17,45%	\$12.574.544
15	20,23%	\$17.834.737
17	22,66%	\$23.078.208
20	25,85%	\$30.943.414
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
7	-	(\$2.408.150)
8	9,00%	\$391.314
10	17,68%	\$5.866.428
13	25,55%	\$13.823.422
15	29,57%	\$19.083.615
17	33,03%	\$24.327.086
20	37,51%	\$32.192.292
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

A Tabela 41 traz um sumário dos resultados da avaliação econômica no cenário com tributos da UTE com o valor da energia de U.S \$0,035 kWh. Verifica-se que o projeto é viável, mesmo com os tributos. No entanto, o patamar dos CERs ideal para viabilização e realização do projeto é de U.S \$13 ton. CO₂ eq., pois assim o investidor terá uma margem considerável de segurança, caso ocorra algum problema na execução do projeto e isso venha trazer custos não previstos. Vale ressaltar que CER = U.S \$17 ton. CO₂ eq. foi o valor obtido pelo Aterro de Gramacho em seu projeto (Comlurb, 2009). Enfim, após as diversas análises de sensibilidade é fato que a viabilidade do projeto está condicionada à venda dos créditos de carbono.

Tabela 41: Sumário da Avaliação Econômica com UTE (U.S \$0,035 kWh) e tributos.

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
7	6,10%	(\$1.721.791)
8	8,9%	\$953.996
10	13,25%	\$6.263.508
13	18,11%	\$14.149.073
15	20,76%	\$19.392.544
17	23,11%	\$24.636.015
20	26,21%	\$32.501.221
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,035 kWh		

Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
7	6,6%	(\$571.581)
8	12,08%	\$2.169.859
10	19,06%	\$7.512.386
13	26,33%	\$15.397.951
15	30,18%	\$20.641.422
17	33,53%	\$25.884.892
20	37,90%	\$33.750.099
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,035 kWh		

No estudo de viabilidade técnica e econômica do aterro de Santa Tecla, os valores adotados para o preço da energia em \$/kWh foram entre U.S \$0,035 até U.S \$0,0746 (Vazin,2006). No entanto, em cenários com o valor da energia elétrica acima do patamar de U.S. \$0,035 kWh, como o caso supracitado, tem-se os seguintes cenários na Tabela 42 que viabilizam o projeto para o patamar de U.S \$10 e \$17 ton. CO₂ eq.

Tabela 42: Sumário da Avaliação Econômica com UTE e tributos.

Investimento inicial de 100% = 15.514.880			
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWh)
10	14,71%	\$8.880.212	0,045
10	15,96%	\$11.476.556	0,055
10	17,07%	\$14.072.901	0,065
10	18,06%	\$16.669.246	0,075

Investimento inicial de 25% = 3.878.720			
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWh)
10	20,95%	\$10.129.089	0,045
10	22,56%	\$12.725.434	0,055
10	23,96%	\$15.321.779	0,065
10	25,22%	\$17.918.123	0,075

Investimento inicial de 100% = 15.514.880			
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWh)
17	23,81%	\$27.232.359	0,045
17	24,47%	\$29.828.704	0,055
17	25,09%	\$32.425.049	0,065
17	25,67%	\$35.021.393	0,075

Investimento inicial de 25% = 3.878.720			
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWh)
17	34,31%	\$28.481.237	0,045
17	35,05%	\$31.077.582	0,055
17	35,75%	\$33.673.926	0,065
17	36,42%	\$36.270.271	0,075

Com isso, cenários com os créditos de carbono a U.S. \$10 ton. CO₂ eq. e o valor da energia elétrica no patamar de no mínimo U.S. \$/kWh 0,045 o projeto também seria viável, mesmo com a inclusão dos impostos (que podem ser isentos de acordo com leis específicas e do Estado onde o projeto será instalado, elevando assim a viabilidade do projeto).

Por fim, no Anexo B, serão elaboradas análises de sensibilidades adicionais para o caso de outras tecnologias de aproveitamento do gás de lixo (GDL) como a venda do gás diretamente para o mercado consumidor através de gasodutos.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho investigou as condições de produção (e sua devida viabilidade técnica e econômica) de biogás de lixo em aterros sanitários, com a escolha do aterro de Gramacho para o estudo de caso. Com isso, foi proposta uma destinação final de RSU's mais apropriada, proporcionando a redução do chorume, dos odores e da poluição ambiental. Como consequência, a elevação da vida útil do aterro sanitário e segurança ambiental local;

A geração de energia no aterro de Gramacho através do biogás de lixo provem de uma fonte renovável e limpa que proporcionará receitas (Apêndice B) para os municípios através da venda desta energia e obtenção de créditos de carbono. Com isso, o Estado do Rio de Janeiro estará contribuindo no processo de desenvolvimento sustentável (cidades limpas), com o desenvolvimento de pesquisas e projetos sobre o tema.

Com base nos resultados da análise técnica e econômica (presentes de forma detalhadas nos Apêndices A e B), o projeto de geração de energia a partir do biogás para o Aterro Sanitário de Gramacho, é viável para os diversos cenários analisados com diferentes combinações das variáveis como o valor dos Créditos de Carbono acima do patamar de U.S.\$13 a tonelada equivalente de CO₂, duração do projeto (15 anos) e esquemas de financiamento analisados.

Para os cenários onde não é considerada a obtenção de receitas de créditos de carbono, a produção de energia através do biogás de lixo não tem viabilidade econômica, mesmo fazendo a análise de sensibilidade e utilizando o valor de kWh (\$ 0,074; Nova Gerar e World Bank, 2005) da energia vendida em um patamar otimista.

O aproveitamento do biogás em escalas operacionais e comerciais mais elevadas poderá: reduzir os custos com o tratamento dos RSUs, gerar receita para os municípios e para as empresas, além de mitigar os danos ambientais, que afetam o panorama atual de mudanças climáticas.

É necessário que as prefeituras sejam alertadas para este potencial energético do lixo, podendo transformar um passivo ambiental em recursos

financeiros. Para isso, são necessários que sejam divulgados para as prefeituras os programas de financiamentos a fundo perdidos, como é o caso da linha de políticas de governo do FUNTEC/BNDES.

Analisando sob o ponto de vista sócio-econômico e ambiental, a produção de energia através do biogás do lixo em aterros sanitários representa ganhos para a sociedade (qualidade de vida, geração de empregos e redução de subempregos), para as prefeituras (representam uma fonte extra de renda com a comercialização da energia gerada pelo biogás) e para o meio ambiente (com redução de emissões de CH₄, possível redução de combustíveis fósseis, no caso de aproveitamento energético, redução de odores e vetores nos aterros devido a boas práticas de gerenciamento, dentre outras).

É necessário num próximo momento, projetar uma segunda fase de aproveitamento de biogás, onde a rede de captação será conectada a todos os drenos do aterro, e a proximidade do fim das operações nesse local permitirá a redução das perdas. Esta adequação do sistema permitirá extrair uma maior fração do biogás gerado e nesse sentido sugere-se um acompanhamento deste processo, de modo a verificar a margem de erro das previsões feitas e a adequação dos parâmetros de forma a refinar os cálculos.

Por fim, a implantação de uma termelétrica a partir do biogás do lixo, gera diversas contribuições para o País (principalmente para a região atendida), dentre as quais, serão listadas as principais abaixo:

- a) contribuição para a sustentabilidade ambiental local;
- b) contribuição para o desenvolvimento das condições de trabalho e a geração líquida de empregos;
- c) contribuição para a distribuição de renda;
- d) contribuição para capacitação e desenvolvimento tecnológico (possibilidade de reprodução da tecnologia empregada, observando o seu efeito demonstrativo, avaliando, ainda, a origem dos equipamentos, a

existência de *royalties* e de licenças tecnológicas e a necessidade de assistência técnica internacional);

e) contribuição para o desenvolvimento regional, que pode ser medida a partir da integração do projeto com outras atividades sócio-econômicas na região de sua implantação.

f) conscientização da população com relação ao desenvolvimento de práticas sustentável e produção de energia renovável e limpa.

4.1 Discussões e Perspectivas Futuras

As reservas brasileiras de petróleo e gás natural (combustíveis fósseis) são limitadas, e ambos têm que ser importados (embora a Petrobras afirme que o Brasil seja auto-sustentável em Petróleo, a mesma importa um percentual significativo de petróleo do tipo leve, do qual o Brasil não é auto-suficiente) para fazer face às demandas da população e da indústria. O Brasil precisa reconhecer o valor dos recursos alternativos de energia (energias renováveis). O Brasil foi pioneiro no uso da energia de biomassa para produzir combustíveis como o etanol. O País também possui uma grande infra-estrutura de biodigestão, incluindo alguns fabricantes locais dos equipamentos.

Abaixo na Tabela 43 e no Gráfico 07 é possível verificar a reduzida presença da Biomassa na matriz energética brasileira que é de 24TWh e 4,8% com relação a oferta de energia elétrica total do País (497,4 TWh).

Tabela 43: Mercado energético Brasileiro.

Oferta Interna de Energia Elétrica

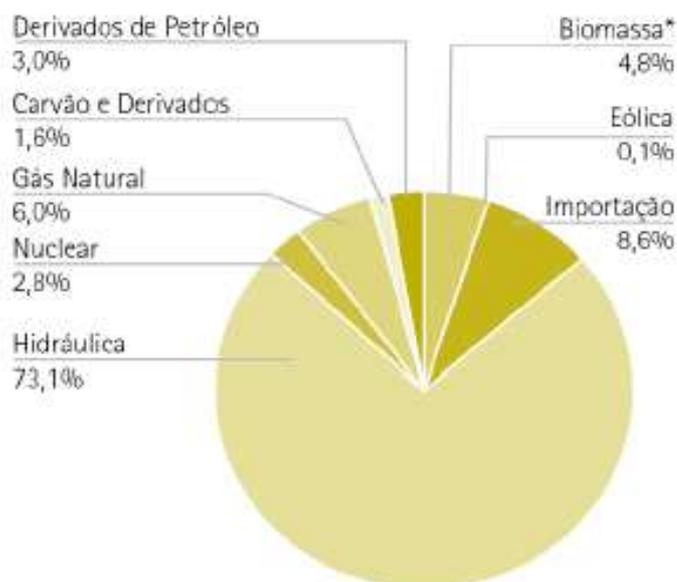
			TWh
FONTES	2008	2007	△ %
TOTAL	497,4	485,9	2,4%
Energia Não Renovável	66,2	48,0	37,9%
Gás Natural	29,9	15,5	92,8%
Derivados de Petróleo	15,1	13,4	13,4%
Nuclear	13,9	12,3	12,8%
Carvão e Derivados ¹	7,2	6,8	6,3%
Energia Renovável	431,2	437,9	-1,5%
Hidráulica	363,8	374,0	-2,7%
Importação	42,9	40,9	5,0%
Biomassa ²	24,0	22,5	6,7%
Eólica	0,56	0,56	-0,4%

¹ Inclui gás de coqueria

² Inclui lenha, bagaço de cana, lixo e outras recuperações

Fonte: EPE (2009)

Conforme Cetesb (1999), a geração de metano em depósitos de resíduos sólidos urbanos brasileiros está na ordem de 677 Gg., cuja densidade padrão definida é de 0,716 Kg/m³, o que significa cerca de 945 milhões de metros cúbicos anuais. Como o metano representa cerca de 50 a 55% do volume de biogás, têm-se 1.718 milhões de metros cúbicos anuais desse gás, considerando uma recuperação típica de 90%, sendo que estariam disponíveis 1.546 Mm³ de biogás para geração de energia elétrica. Isso representaria ao País, utilizando usinas termoelétricas baseadas em motores a combustão interna com eficiência na faixa de 20% (caso do ciclo Otto), uma energia disponível de 2,1TWh, que alimentaria 1750 mil residências com o consumo médio mensal de 100kWh, o que equivale a uma cidade de mais de 3 milhões de habitantes. Como muitos aterros não tem economicidade para produção de energia através do biogás de lixo, a energia disponível seria um patamar ainda bem menor que os 2,1 TWh.



(*) Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações

Gráfico 7: Oferta de energia interna.

Fonte: EPE (2009)

Diante do exposto, é possível constatar que o biogás não tem um impacto significativo na matriz brasileira mesmo considerando o valor de 2,1 TWh com relação a oferta total de 497,4 TWh que não representa nem 1% da matriz energética brasileira. Mas se todas as cidades brasileiras utilizassem o biogás de lixo em detrimento de outras fontes de energias mais poluentes, seria possível contribuir para redução das consequências das mudanças climáticas visto que o gás metano é mais nocivo que o gás carbônico (CO₂). Outra vantagem do biogás de lixo com relação às hidroelétricas seria sua utilização para gerar energia elétrica próximo ao centro consumidor, evitando assim investimentos em novas linhas de transmissão de energia elétrica.

Existe grande número de companhias nacionais e de subsidiárias de companhias de países industrializados envolvidas na gestão de resíduos sólidos no Brasil. O País já tem acesso, portanto, ao know-how e a tecnologias relevantes existentes em outros países e não produzidas localmente. As companhias operando no Brasil estão bem adaptadas para executar projetos de conversão de biogás em energia sem a necessidade de assistência técnica significativa do exterior.

Adicionalmente, a legislação brasileira permite que os produtores independentes, tais como as usinas de conversão de biogás em energia, vendam energia à rede existente. Há programas nacionais (embora ainda incipientes e com divulgação relativa) que oferecem um preço de compra de energias renováveis melhor que o de mercado, o que constitui um incentivo econômico inicial aos projetos de conversão de biogás em energia.

Neste sentido e em resumo, sugerem-se as seguintes medidas para promover e potencializar a produção de energia através do biogás do lixo:

- a) simplificação do sistema de licenciamento ambiental para aterros sanitários, que atualmente é complexo e lento;
- b) adoção de instrumentos fiscais favoráveis, privilegiando municípios que se enquadrem em critérios de preservação ambiental, como é o caso da implantação de aterros sanitários com aproveitamento energético. O Anexo A explica a situação atual de um instrumento fiscal que favorece a preservação do meio ambiente que é o ICMS Ecológico. No estado do Rio de Janeiro, o ICMS ecológico ainda precisa de alguns ajustes, ressaltando que os Estados de Minas Gerais e Pernambuco estão com a legislação mais avançada com a presença de critérios específicos - como tratamento de lixo – para concessão das supracitadas vantagens fiscais.
- c) disseminação de dados técnicos sobre a construção e operação de aterros sanitários com aproveitamento de biogás do lixo e sobre as alternativas tecnológicas de geração de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos;
- d) estabelecimento de linhas de crédito por bancos de fomento (como BNDES) com taxas favorecidas (ou até mesmo a fundo perdido, com incentivo ao fomento da investigação científica e inovação tecnológica) para construção de aterros sanitários com sistemas de aproveitamento de biogás;
- e) notificação por parte do governo estadual ou federal das prefeituras que mantêm lixões (ou outros procedimentos inapropriados na área técnica e ambiental), sem nenhum controle ambiental ou aproveitamento energético.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. V.; COSTA FILHO, M. A. F.; SOUZA, M. C. L.. *Technical and economical feasibility analysis of energy generation through the biogas from garbage in landfill - an alternative of renewable energy generation*. In: 20th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM), Gramado - RS, 2009.
- ABREU, F. V.; COSTA FILHO, M. A. F.; SOUZA, M. C. L.. *Biogás de aterros sanitários para geração de energia renovável e limpa - um estudo de viabilidade técnica e econômica*. In: IX Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (CIBIM), 2009.
- AGUIAR, A. E. B. *O Biogás e sua tecnologia*. Brasília: Min. de Minas e Energia, 1981.
- ARARUNA, José - Reportagem sobre Resíduos Sólidos Urbanos com Prof. José Araruna, pag. 20 - Jornal O Globo, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama de resíduos sólidos no Brasil*. São Paulo, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10.004: resíduos sólidos: classificação*. Rio de Janeiro, 2004.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA *Referência agosto de 2009*. Brasília, 2009. Disponível em <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 20 ago. 2009.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. *Acesso as taxas de cambio e inflação*. Brasília, 2009. Disponível em <www.bc.gov.br>. Acesso em: 1 mar. 2009.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 59-100, mar. 2008
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Linhas de apoio financeiro*. Brasília, 2009. Disponível em <www.bndes.gov.br>. Acesso em: 1 mar. 2009.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Programa de apoio financeiro à investimentos em fontes alternativas de energia elétrica*. Brasília, 2009. Disponível em <www.bndes.gov.br>. Acesso em: 1 mar. 2009..
- BATISTA, L. F. *Manual técnico, construção e operação de biodigestores*. Brasília: EMBRATER, 1981.
- BEN. Balanço Energético Nacional, 2008. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2008.pdf>. Acesso em 1 nov. 2009.
- BENINCASA, M.; ORTOLANI, A. F.; LUCAS JÚNIOR, J. *Biodigestores convencionais*. São Paulo: FUNEP, 1991.
- BIOGAS WORKS. *Histórico do biogás*. Austrália, 2009. Disponível em: <www.biogasworks.com>. Acesso em: 1 ago. 2009.

BIOMASS CONFERENCE OF THE AMERICAS, 3., 1997, Montréal. *Papers*. Québec: Pergamon Press, 1997.

BRASMETANO. *Conjunto motogerador para biogás de aterro e créditos de carbono: landbox* 2009. São Paulo, 2009. Disponível em: <www.brasmetanosustentabilidade.com>. Acesso em: 1 ago. 2009.

CALDERONI, Sabetai. *Os Bilhões perdidos no lixo*. SP: Humanitas: FELCH/USP, 1996.

CERVEIRA, D.R.P.; CLIMERU, M.F. *Energia dos Resíduos da Região do Médio Paranapanema*, Relatório Final do Projeto de Formatura. PEA – EPUSP, Sao Paulo 2000.

COELHO, S. T. et al. *Estado da arte do biogás: relatório de acompanhamento*. São Paulo: Centro Nacional de Referência em Biomassa, 200

CÂMARA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.cebds.org.br/cebds/mc-convencao-clima.asp>>. Acesso em: 1 ago. 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Biogás: pesquisas e projetos no Brasil*. São Paulo, 2006.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO. *Biodigestor rural*. São Paulo, 1987. (Serie Eletrocampo).

COMASTRI FILHO, J. A. *Biogás: independência energética do pantanal do Mato Grosso*. Corumbá: EMBRAPA, 1981.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA. *Apresentação de Usina de Biogás*. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: < <http://www.rio.rj.gov.br/comlurb/>>. Acesso em: 3 nov. 2009.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA. *Potencial energético do biogás de aterros*. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://comlurb.rio.rj.gov.br/potencial_bio_gas.htm>. Acesso em: 1 ago. 2008.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA e Monteiro J. H. P. *Eficiência Energética e energias renováveis nas cidades brasileiras*. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.iclei.org/fileadmin/user_upload/documents/LACS/Portugues/Noticias_e_Eventos/Lista_de_Eventos/Seminario_POA_23set09/Jose_Penido_sessao1.2.pdf>. Acesso em: 13 set. 2007.

COSTA, D. F. *Biomassa como fonte de energia, conversão e utilização*. 2002. Monografia (Especialização)-Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, do Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

COSTA, D. F. *Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto*. 2006. Dissertação (Mestrado)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CUNHA, M. E. G. *Análise do setor ambiental no aproveitamento energético de resíduos: um estudo de caso do município de Campinas*. 2002. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2002.

CRAVEIRO, A. M. *Produção de biogás*. São Paulo: IPT, 1982.

CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS, ATERRO SANITÁRIO DE ADRIANÓPOLIS. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <www.novagerar.com.br>. Acesso em: 1 mar. 2009.

DE BAERE, L. Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANAEROBIC DIGESTION OF SOLID WASTE, 2., 1999, Barcelona. *Papers*. [S.l.: s.n.], 1999.

DEPLEDGE, Joanna. *Um guia do processo da mudança do clima*. Brasília: Ministério da Ciência e da Tecnologia, 2008. Disponível em: <www.mct.gov.br/index.php/content/view/3893.html>. Acesso em: 1 ago. 2008.

DUARTE, A. C.; BRAGA, M. C. B. Projetos de MDL em aterros sanitários brasileiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. *Saneamento Ambiental: compromisso ou discurso*. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007. v. 1.

ECO SECURITIES. *Projeto de aproveitamento do biogás de aterro sanitário: novagerar: documento de concepção do projeto (PDD)*. Brasil, 2004.

ENSINAS, A. V. *Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas/SP*. 2003. Dissertação (Mestrado)-Universidade de Campinas, Campinas, 2003.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Consumo de energia no Brasil cresceu 5,6% em 2008*. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20090415_1.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2009.

EXAME - Anuário Exame de Infra Estrutura 2008-2009. Rio de Janeiro, dez. 2008

FIGUEIREDO, N. J. V., *“Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de Energia elétrica e iluminação a gás – estudo de caso”*, Universidade Presbiteriana Mackenzie – São Paulo, 2007.

HANSEN, J. Desarmando a bomba relógio do aquecimento global. *Scientific American Brasil*, São Paulo, v. 12, p.16-25, 2005.

HENRIQUES, R. M., *Aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma abordagem tecnológica*, 2004. Dissertação (Mestrado) - Programa de Planejamento Energético COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

HENRIQUES, R. M., *Potencial para Geração de Energia Elétrica no Brasil com Resíduos de Biomassa Através da Gaseificação*, 2009. Tese (Doutorado) - Programa de Planejamento Energético COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

IPCC. *Climate change 1995: the science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996.

IPCC. *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

KANAYAMA, P.H. *Minimização de Resíduos Sólidos Urbanos e Conservação de Energia*. São Paulo, 1999. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

LISS, E. W. *Natural gas power system for the distributed generation market*. In: POWER-GEN INTERNATIONAL CONFERENCE, 1999, New Orleans, Louisiana. Paper. [S.l.: s.n.], 1999.

LUSK, P. *Anaerobic digestion and opportunities for international technology*. [S.l.: s.n.], 1997.

LORA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R. (Coord.). *Geração termoelétrica: planejamento, projeto e operação*. São Paulo: Única, 2004. p. 457-461.

LOUREIRO, Wilson. *ICMS ecológico em perguntas e respostas*. Paraná: Fag, 2001.

_____. *ICMS ecológico na biodiversidade*. 2002. Tese (Doutorado)-Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2002.

LOUREIRO, Wilson; LEVY, Denise Urias. *ICMS ecológico e as RPPN*. Paraná: Tributo verde, 2006. Disponível em: <<http://tributoverde.com.br/site/modules/news/>>. Acesso em: 19 ago. 2009.

LUCAS JÚNIOR, J.; SOUZA, C. F. *Construção e operação de biodigestores*. São Paulo: FUNEP; Viçosa: CPT, 2008.

MAGALHÃES, A. P. T. *Biogás: um projeto de saneamento urbano*. São Paulo: Novel, 1986.

McCARTY, P. L. *Anaerobic waste treatment fundamentals*. *Public Works*, New York, v. 94, p. 91-94, 1974.

MIKKEL, Johannessen, Lars. *Guidance note on recuperation of landfill gas from municipal solid waste landfills*. Washington, D.C: Banco Mundial, 1999. (World Bank working paper series, 4).

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. *Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos "aterros sanitários" nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil*. Brasília, 2005.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. *O biogás e sua tecnologia*. Brasília, 1981.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Balanço energético nacional 1996..

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. *Balanço energético nacional*. Brasília, 2008
Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em: 1 ago. 2009.

_____. *Plano decenal de expansão do setor elétrico 2006-2015*. Brasília, 2006.

MONTEIRO, J. H. P. et al. *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MUYLAERT, M. S. et al (Coord.). *Consumo de energia e aquecimento do planeta: análise do mecanismo de desenvolvimento limpo: MDL do Protocolo de Quioto: estudo de caso*. Rio de Janeiro: COPPE. 2000.

NEDER, L.T.C. Reciclagem de Resíduos Sólidos de Origem Domiciliar. Análise da Implantação e da Evolução de Programas Institucionais de Coleta Seletiva em Alguns Municípios Brasileiros. Dissertação de Mestrado. USP - Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental. São Paulo, 1995.

OLIVEIRA, L. B. *Resíduos sólidos urbanos: lixo ou combustível?* - Artigo do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 1999.

OLIVEIRA, L. B. *Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil*. 2004. Tese (Doutorado)-Programa de Planejamento Energético COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

OLIVEIRA, L. B. *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos e abatimento de emissões de gases do efeito estufa*. 2000. Dissertação (Mestrado)-Programa de Planejamento Energético COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

ORGANIZAÇÃO DA SOCIEDADE CIVIL DE INTERESSE PÚBLICO MOBILIDADE E AMBIENTE. *Estudo de pré-viabilidade econômica*. Rio de Janeiro, 2006.

ORTOLANI, A. F.; BENICASA, M.; LUCAS JÚNIOR, J. *Biodigestores rurais, modelos indiano, chines e batelada*. Jaboticabal: FUNEP, 1991.

PALMER, D. G. *Biogás: energy from animal waste*. New York: Solar Energy Research Institute, 1981.

PECORA, V. *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: estudo de caso*. Dissertação (Mestrado)-Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PENIDO, J.H. M et al. *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

PINATTI, D.G et al. Report on bioenergy in Brazil. In: ANNUAL MEETING OF INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 1999, Alabama. *Papers*. Alabama: University Conference Center, 1999.

POLPRASERT, C. *Organic wast recycling: technology and management*. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1996.

ROSA, L.P. et alli (2003). "Geração de Energia a partir de Resíduos Sólidos Urbanos e Óleos Vegetais". In: TOLMASQUIM, M.T (Coord) Fontes Alternativas de Energia no Brasil - CENERGIA. 1a Ed. Editora Interciência. 515 p.

ROSA, L.P.(2001) O apagão – Por que veio? Como sair dele? Editora Revam – 1ª edição – Rio de Janeiro. 125 p.

ROVERE, Emílio Lebre La; COSTA, Cláudio do Vale; DUBEUX, Carolina Burle Schmidt. *Aterros sanitários no Brasil e o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL): oportunidades de promoção de desenvolvimento sócio-ambiental*. Paraná: NAE-Secom, 2005.

SALES, Renata Hortencia; da SILVA, F. J. A. Aterro sanitário e crédito de carbono perspectivas para região metropolitana de Fortaleza. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. *Saneamento ambiental*. Rio de Janeiro: ABES, 2007.

SCS Engineers, 2005. <www.scsengineering.com/LFG.../lfgesysconst.html>. Acesso em: 10 jun. 2009.

SEIXAS, J. *Construção e funcionamento de biodigestores*. Brasília: EMBRAPA, 1981.

SEROA DA DA MOTTA & CHERMONT, L. S. Aspectos econômicos da gestão integrada de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IPEA, 1996. (Texto para discussão n.º 416).

SOUTO, Mirela Chiapani. Mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL): para o tratamento de gases de efeito estufa, gerado no aterro sanitário da marca ambiental/ES através da comercialização do crédito de carbono, atende ao Protocolo de Quioto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. *Saneamento ambiental*. Rio de Janeiro: ABES, 2007.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL S.A. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Volume I e II, McGraw- Hill, 1994.

TOLMASQUIM, M. T. *Fontes renováveis do Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

UNITED NATIONS. Kyoto protocol to the United Nations. FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 1998, Washington. *Papers*. Washington, 1998.

UNITED NATIONS. Kyoto Protocol. In: FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2009, Alemanha. *Papers*. Alemanha, 2009. Disponível em: <<http://unfccc.int/2860.php>>. Acesso em: 26 nov. 2009a.

_____. Overview of Project Activity Cycle. In: FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2009, Alemanha. *Papers*. Alemanha, 2009. Disponível em: <<http://unfccc.int/2860.php>>. Acesso em: 25: nov. 2009b.

U.S.ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. *Air emission from municipal solids waste landfill: background information for proposed standards and guidelines: emission standards division: EPA-450/3-90-011a*. USA, 1991.

_____. *Energy project landfill gas utilization software (E-PLUS): user's manual: EPA-30-B-97-006*. USA, 1997b.

USINA VERDE. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <www.usinaverde.com.br>. Acesso em: 1 ago. 2009.

VANZIN, E. *Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no caso de Santa Tecla*. 2006. Dissertação (Mestrado)-Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2006.

VERMA S. *Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes* 2002. Dissertação (Mestrado)-Department of Earth & Environmental Engineering, Columbia University, 2002.

WILLUMSEN, H. C. *Energy recovery from landfill gas in Denmark and Worldwide*. Ukraine: LG Consultant, 2001.

WORLD BANK. Washington, 2005. Disponível em: <http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas_estudios_prefac_en.htm>. Acesso em: 1 out. 2009.

WORLD BANK. Washington, 2005. Disponível em: <http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/English/Gramacho_PreFeasibility_Study_English.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2009.

APÊNDICE A - CENÁRIOS E ASPECTOS TÉCNICOS

Tabela 44: Dados iniciais básicos; Projeção de recuperação potencial de biogás (Aterro Sanitário de Gramacho - RJ).

Ano	Taxa de Deposição	Resíduos Acumulados	Potencial de recuperação de biogás		
	(ton/ano)	(ton)	(m³/h)	(cfm)	(MMBtu/h)
1993	1.646.374	1.646.374	0	0	0,0
1994	1.669.443	3.315.817	4.993	2.939	89,2
1995	1.800.209	5.116.026	9.399	5.532	168,0
1996	2.325.161	7.441.187	12.296	7.237	219,7
1997	2.414.508	9.855.695	16.535	9.732	295,5
1998	2.390.021	12.245.716	20.106	11.834	359,3
1999	2.403.311	14.649.027	22.833	13.439	408,0
2000	2.454.563	17.103.590	25.040	14.738	447,4
2001	2.417.409	19.520.999	26.970	15.874	481,9
2002	2.473.918	21.994.917	28.422	16.729	507,9
2003	2.359.715	24.354.632	29.793	17.536	532,4
2004	2.400.000	26.754.632	30.585	18.002	546,5
2005	2.400.000	29.154.632	31.401	18.482	561,1
2006	2.568.000	31.722.632	31.986	18.827	571,6
2007	2.747.760	34.290.632	32.212	18.959	575,6
2008	2.920.000	37.210.632	32.747	19.274	585,2
2009	1.460.000	38.670.632	33.053	19.454	590,6
2010	0	38.670.632	31.958	18.810	571,1
2011	0	38.670.632	27.424	16.141	490,0
2012	0	38.670.632	23.404	13.775	418,2
2013	0	38.670.632	19.973	11.756	356,9
2014	0	38.670.632	17.045	10.032	304,6
2015	0	38.670.632	14.546	8.562	259,9
2016	0	38.670.632	12.414	7.307	221,8
2017	0	38.670.632	10.594	6.236	189,3
2018	0	38.670.632	9.041	5.321	161,6
2019	0	38.670.632	7.716	4.541	137,9
2020	0	38.670.632	6.585	3.876	117,7
2021	0	38.670.632	5.619	3.307	100,4
2022	0	38.670.632	4.796	2.823	85,7
2023	0	38.670.632	4.093	2.409	73,1
2024	0	38.670.632	3.493	2.056	62,4

Tabela 45: Cenário de elevada recuperação; Projeção da recuperação (90%) potencial de biogás (Aterro Sanitário de Gramacho - RJ).

Cenário de elevada recuperação								
Ano	Eficiência do Sistema de Coleta (%)	Recuperação de Biogás Previsto			Capacidade Máxima da Usina de Energia* (MW)	Fluxo de Biogás de Base Estimado (m³/hr)	Emissões de Metano - Estimativas de redução**	
		(m³/hr)	(cfm)	iMMBtu/hr)			(toneladas CH ₄ /ano)	(toneladas CO ₂ eq/ano)
1993	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
1994	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
1995	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
1996	0,15%	18	11	0,3	0,0	0	0	0
1997	0,15%	25	15	0,4	0,0	0	0	0
1998	0,15%	30	18	0,5	0,0	0	0	0
1999	0,15%	34	20	0,6	0,1	0	0	0
2000	0,15%	38	22	0,7	0,1	0	0	0
2001	0,15%	40	24	0,7	0,1	0	0	0
2002	0,15%	43	25	0,8	0,1	0	0	0
2003	0,15%	45	26	0,8	0,1	0	0	0
2004	0,15%	46	27	0,8	0,1	0	0	0
2005	0,15%	47	28	0,8	0,1	0	0	0
2006	0,15%	48	28	0,9	0,1	0	127	2.675
2007	0,15%	48	28	0,9	0,1	0	128	2.694
2008	0,15%	49	29	0,9	0,1	0	130	2.739
2009	0,15%	50	29	0,9	0,1	0	132	2.764
2010	90%	28.762	16.929	514,0	47,6	48	76.363	1.603.624
2011	90%	24.682	14.527	441,0	40,8	41	65.529	1.376.118
2012	90%	21.063	12.398	376,4	34,9	35	55.923	1.174.387
2013	90%	17.976	10.580	321,2	29,7	30	47.725	1.002.229
2014	90%	15.340	9.029	274,1	25,4	25	40.729	855.308
2015	90%	13.092	7.706	233,9	21,7	22	34.758	729.925
2016	90%	11.173	6.576	199,6	18,5	18	29.663	622.922
2017	90%	9.535	5.612	170,4	15,8	16	25.315	531.605
2018	90%	8.137	4.789	145,4	13,5	13	21.604	453.675
2019	90%	6.944	4.087	124,1	11,5	11	18.437	387.169
2020	90%	5.926	3.488	105,9	9,8	10	15.734	330.412
2021	90%	5.057	2.977	90,4	8,4	8	13.427	281.976
2022	90%	4.316	2.540	77,1	7,1	7	11.459	240.640
2023	90%	3.683	2.168	65,8	6,1	6	9.779	205.364
2024	90%	3.143	1.850	56,2	5,2	5	8.346	175.258
2025	90%	2.838	1.670	50,7	4,7	5	7.535	158.226
2026	90%	2.562	1.508	45,8	4,2	4	6.802	142.848
2027	90%	2.313	1.361	41,3	3,8	4	6.141	128.965
2028	90%	2.088	1.229	37,3	3,5	3	5.544	116.431
2029	90%	1.885	1.110	33,7	3,1	3	5.006	105.116
2030	90%	1.702	1.002	30,4	2,8	3	4.519	94.900

NOTA:

* A capacidade máxima da UTE assume uma taxa de aquecimento bruta de 10.800 Btus por kWh.

** Reduções de emissões não incluem a geração de eletricidade, e foi calculada usando uma densidade de metano (com a temperatura e pressão padronizada) de 0,000716 ton/m³.

Tabela 46: Cenário de baixa recuperação; Projeção da recuperação (50%) potencial de biogás Aterro Sanitário de Gramacho – RJ.

Cenário de Baixa recuperação								
Ano	Eficiência do Sistema de Coleta (%)	Recuperação de Biogás Previsto			Capacidade Máxima da Usina de Energia* (MW)	Fluxo de Biogás de Base Estimado (m³/hr)	Emissões de Metano - Estimativas de redução**	
		(m³/hr)	(cfm)	(MMBtu/hr)			(toneladas CH ₄ /ano)	(toneladas CO ₂ eq/ano)
1993	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
1994	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
1995	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
1996	0,15%	18	11	0,3	0,0	0	0	0
1997	0,15%	25	15	0,4	0,0	0	0	0
1998	0,15%	30	18	0,5	0,0	0	0	0
1999	0,15%	34	20	0,6	0,1	0	0	0
2000	0,15%	38	22	0,7	0,1	0	0	0
2001	0,15%	40	24	0,7	0,1	0	0	0
2002	0,15%	43	25	0,8	0,1	0	0	0
2003	0,15%	45	26	0,8	0,1	0	0	0
2004	0,15%	46	27	0,8	0,1	0	0	0
2005	0,15%	47	28	0,8	0,1	0	0	0
2006	0,15%	48	28	0,9	0,1	0	127	2.675
2007	0,15%	48	28	0,9	0,1	0	128	2.694
2008	0,15%	49	29	0,9	0,1	0	130	2.739
2009	0,15%	50	29	0,9	0,1	0	132	2.764
2010	50%	15.979	9.405	285,5	26,4	26	42.424	890.902
2011	50%	13.712	8.071	245,0	22,7	23	36.405	764.510
2012	50%	11.702	6.888	209,1	19,4	19	31.068	652.437
2013	50%	9.986	5.878	178,5	16,5	17	26.514	556.794
2014	50%	8.522	5.016	152,3	14,1	14	22.627	475.171
2015	50%	7.273	4.281	130,0	12,0	12	19.310	405.514
2016	50%	6.207	3.653	110,9	10,3	10	16.479	346.068
2017	50%	5.297	3.118	94,7	8,8	9	14.064	295.336
2018	50%	4.521	2.661	80,8	7,5	7	12.002	252.042
2019	50%	3.858	2.271	68,9	6,4	6	10.243	215.094
2020	50%	3.292	1.938	58,8	5,4	5	8.741	183.562
2021	50%	2.810	1.654	50,2	4,6	5	7.460	156.653
2022	50%	2.398	1.411	42,8	4,0	4	6.366	133.689
2023	50%	2.046	1.204	36,6	3,4	3	5.433	114.091
2024	50%	1.746	1.028	31,2	2,9	3	4.636	97.366
2025	50%	1.577	928	28,2	2,6	3	4.186	87.903
2026	50%	1.423	838	25,4	2,4	2	3.779	79.360
2027	50%	1.285	756	23,0	2,1	2	3.412	71.647
2028	50%	1.160	683	20,7	1,9	2	3.080	64.684
2029	50%	1.047	616	18,7	1,7	2	2.781	58.398
2030	50%	946	557	16,9	1,6	2	2.511	52.722

NOTA:

* A capacidade máxima da UTE assume uma taxa de aquecimento bruta de 10.800 Btus por kWh.

** Reduções de emissões não incluem a geração de eletricidade, e foi calculada usando uma densidade de metano (com a temperatura e pressão padronizada) de 0,000716 ton/m³.

Tabela 47: Cenário de recuperação média; Projeção da recuperação (70%) potencial de biogás Aterro Sanitário de Gramacho - RJ.

Cenário de recuperação média								
Ano	Eficiência do Sistema de Coleta (%)	Recuperação de Biogás Previsto			Capacidade Máxima da Usina de Energia* (MW)	Fluxo de Biogás de Base Estimado (m³/hr)	Emissões de Metano - Estimativas de redução**	
		(m³/hr)	(cfm)	(MMBtu/hr)			(toneladas CH ₄ /ano)	(toneladas CO ₂ eq/ano)
1993	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
1994	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
1995	0%	0	0	0,0	0,0	0	0	0
1996	0,15%	18	11	0,3	0,0	0	0	0
1997	0,15%	25	15	0,4	0,0	0	0	0
1998	0,15%	30	18	0,5	0,0	0	0	0
1999	0,15%	34	20	0,6	0,1	0	0	0
2000	0,15%	38	22	0,7	0,1	0	0	0
2001	0,15%	40	24	0,7	0,1	0	0	0
2002	0,15%	43	25	0,8	0,1	0	0	0
2003	0,15%	45	26	0,8	0,1	0	0	0
2004	0,15%	46	27	0,8	0,1	0	0	0
2005	0,15%	47	28	0,8	0,1	0	125	2.626
2006	0,15%	48	28	0,9	0,1	0	127	2.675
2007	0,15%	48	28	0,9	0,1	0	128	2.694
2008	0,15%	49	29	0,9	0,1	0	130	2.739
2009	0,15%	50	29	0,9	0,1	0	132	2.764
2010	70%	22.370	13.167	399,7	37,0	37	59.393	1.247.263
2011	70%	19.197	11.299	343,0	31,8	32	50.967	1.070.314
2012	70%	16.383	9.643	292,7	27,1	27	43.496	913.412
2013	70%	13.981	8.229	249,8	23,1	23	37.120	779.511
2014	70%	11.931	7.023	213,2	19,7	20	31.678	665.240
2015	70%	10.182	5.993	182,0	16,8	17	27.034	567.719
2016	70%	8.690	5.115	155,3	14,4	14	23.071	484.495
2017	70%	7.416	4.365	132,5	12,3	12	19.689	413.471
2018	70%	6.329	3.725	113,1	10,5	10	16.803	352.859
2019	70%	5.401	3.179	96,5	8,9	9	14.340	301.132
2020	70%	4.609	2.713	82,4	7,6	8	12.237	256.987
2021	70%	3.934	2.315	70,3	6,5	7	10.444	219.315
2022	70%	3.357	1.976	60,0	5,6	6	8.913	187.164
2023	70%	2.865	1.686	51,2	4,7	5	7.606	159.727
2024	70%	2.445	1.439	43,7	4,0	4	6.491	136.312
2025	70%	2.207	1.299	39,4	3,7	4	5.860	123.064
2026	70%	1.993	1.173	35,6	3,3	3	5.291	111.104
2027	70%	1.799	1.059	32,1	3,0	3	4.776	100.306
2028	70%	1.624	956	29,0	2,7	3	4.312	90.558
2029	70%	1.466	863	26,2	2,4	2	3.893	81.757
2030	70%	1.324	779	23,7	2,2	2	3.515	73.811

NOTA:

* A capacidade máxima da UTE assume uma taxa de aquecimento bruta de 10.800 Btus por kWh.

** Reduções de emissões não incluem a geração de eletricidade, e foi calculada usando uma densidade de metano (com a temperatura e pressão padronizada) de 0,000716 ton/m³.

Tabela 48: Estimativa dos custos capitais de projeto: Utilização do biogás Aterro sanitário de Gramacho (Custos para realizar apenas a Combustão do Metano por Queima).

Custo de Item	Quantidade	Unidade	Custo da Unidade (U.S. \$)	Custo Total Inicial (U.S. \$)
Mobilização e Gestão de Projeto	1	cada	\$50.000	\$50.000
Poços de Drenagem de Gás, Poços Profundos (25 m de profundidade total)	20	cada	\$7.200	\$144.000
Poços de Drenagem de Gás, Poços Superficiais (15 m de profundidade total)	35	cada	\$5.120	\$179.000
Valas Horizontais (assume-se 152 mm de tubulação) - 3 m abaixo do solo	4.530	m	\$211	\$955.830
Cabeçotes AcuFlow de 2" para coletores horizontais	20	cada	\$650	\$16.000
Tubulação de Cabeçote (assume-se 914 mm) - acima do solo	122	m	\$470	\$60.340
Tubulação de Cabeçote (assume-se 762 mm) - acima do solo	3.690	m	\$333	\$1.258.770
Tubulação de Cabeçote (assume-se 457 mm) - acima do solo	1.580	m	\$137	\$228.460
Tubulação de Cabeçote (assume-se 305 mm) - acima do solo	1.980	m	\$72	\$154.560
Tubulação de Cabeçote (assume-se 152 mm) - acima do solo	3.730	m	\$40	\$173.200
Tubulação para drenar o condensado do biogás até ao tratamento assume-se 102 mm de HDPE	700	m	\$39	\$27.300
Filtros para o condensado, auto-drenantes	0	cada	\$8.000	\$0
Buracos com bombagem	0	cada	\$19.500	\$0
Válvula Borboleta de 36-polegadas, operada por engrenagem	1	cada	\$43.000	\$43.000
Válvula Borboleta de 30-polegadas, operada por engrenagem	10	cada	\$35.000	\$350.000
Válvula Borboleta de 18-polegadas, operada por engrenagem	8	cada	\$16.940	\$135.520
Válvula Borboleta de 12-polegadas, operada por engrenagem	6	cada	\$3.267	\$19.600
Passarelas (24" CMP)	183	m	\$180	\$32.900
Passarelas (36" CMP)	61	m	\$236	\$14.400
Estação de queima de biogás (2700cfm/4590 m3/hr capacidade de biogás)	5	cada	\$280.000	\$1.400.000
Construção e trabalho no local	1	cada	\$50.000	\$50.000
Arranque do queimador	1	cada	\$15.000	\$15.000
Teste de origem	1	cada	\$25.000	\$25.000
Medição do biogás e equipamento de registo	0	cada	\$15.000	\$0
Engenharia, contingência, e custos de transação antecipados dos CDM	1	cada	\$558.000	\$558.000
			Custo total de construção =	\$5.890.880

Fonte: SCS Engineers, 2005

Notas:

1. Custos de extração dos poços incluem: cabeçalhos dos poços, tampas para os poços, válvulas borboleta, e deposição do refugo da perfuração
2. Instalação de queima inclui a chama, ventiladores, controles, tubulação, válvulas, fundação e cercar o local

Tabela 49: Estimativa dos custos do capital de projeto: utilização de biogás, Aterro sanitário de Gramacho (utilização do metano para geração de eletricidade).

Custo do Item	Quantidade	Unidade	Custo da Unidade (U.S. \$)	Custo Total Inicial (U.S. \$)
Construção da usina e trabalho no local	1	cada	\$150.000	\$150.000
Tubulação de cabeçote (assume-se 914 mm) - acima do solo	50	m	\$470	\$24.000
Medição de biogás e equipamento de registro	1	cada	\$50.000	\$50.000
Usina de energia de 10 MW usando como combustível o biogás (US\$800/kW de capacidade instalada)	10.031	cada	\$800	\$8.025.000
Conexão de eletricidade (Incluindo licenciamento e engenharia - 1km)	1	cada	\$500.000	\$500.000
Direito de Passagem (incl. Acima)	1	cada	\$0	\$0
Engenharia e Contingência	1	cada	\$875.000	\$875.000
			Custo total de construção =	\$9.624.000

Fonte: SCS Engineers, 2005

Nota: Custos são adicionais ao sistema de coleta e aos custos da estação de queima

Realizando o somatório dos custos para realização do projeto para a realização da efetiva produção de energia através do gás metano, tem-se o valor de US\$15.514.880,00 (em dólares). Esse número será o valor do investimento do projeto que terá que ser obtido de duas maneiras. Ou através de capital próprio do investidor, ou através de uma combinação entre capital próprio e capital de terceiros (que poderão [os capitais de terceiros] serem obtidos através de instituições financeiras como o BNDES que tem taxa de juros mais atrativa do que as instituições financeiras privadas, que seria a outra opção). Para o BNDES, por exemplo, o mesmo exige geralmente que o investidor tenha 20% de capital próprio do valor do investimento (que nesse caso seria = \$ 3.102.976,00) e financia 80% desse valor de 15,5 milhões (\$ 12.411.904,00). Por uma questão de conservadorismo, no estudo de viabilidade técnica e econômica dessa dissertação, a análise econômica foi realizada com 25% de capital próprio e 75% de capital a ser financiado.

Os valores utilizados são em dólar, devido à existência de diversos equipamentos que são oriundos do exterior e também é uma forma de mitigar riscos com a questão da taxa cambial (U\$/R\$). Vale ressaltar que a cotação utilizada dolar/real foi 2,6738 (taxa de acordo com os valores oficiais divulgados pelo Banco Central no período em que orçamento foi requerido para esse projeto, em 2005). Com

isso, em reais o valor desse investimento para a realização do projeto de produção de energia através do gás metano seria na faixa de R\$ 41.483.700,00.

Mesmo atualizando esse valor de US\$ 15.514.880,00 para 2009, de acordo com a inflação acumulada no período com o uso das taxas oficiais do Banco Central (na faixa de 23% a 26% nesse período de 2005 a 2009), o valor de investimento chegaria a um valor de aproximado de \$19,4 milhões.

De acordo com o Apêndice D, a cotação mundial média dos créditos de carbono (CER) está na faixa de \$10 (US\$/ton). Com esse patamar, o projeto está com sua viabilidade técnica e econômica assegurada. Somente se houver um viés de baixa na cotação do CER (patamar abaixo de \$8 ton. CO₂ equivalente) ou no valor do kWh da energia (uma queda, por exemplo, para um patamar de 0,022 kWh) o projeto terá sua viabilidade comprometida.

Outra possibilidade que poderá tornar inviável a produção de energia a partir do biogás do lixo é a ocorrência de um crescimento em 20% do valor do investimento inicial de 15 milhões (chegando a um valor de \$19,4 milhões.) devido atualizações monetárias decorrentes da inflação acumulada no período, aliado a um viés de baixa da cotação do CER ou do valor em kWh da energia.

APÊNDICE B - CENÁRIOS ECONÔMICOS**Tabela 50:** Sumário executivo econômico

Dados de primordiais do projeto	1º ano ao 8º ano	9º ano ao 15º ano
Capacidade inicial bruta da usina (MW)	10,03	7,17
Capacidade inicial de rede da usina (MW) (7% carga parasítica)	9,33	6,66
Fator de capacidade da usina	90%	90%
Produção de energia anual (MWh/ano)	73.548	52.535
Venda de energia fora do aterro (MWh/ano)	73.548	52.535
Custo capital total da instalação	15.514.880	
Taxa de juro de dívida (BNDES ou banco privado)	8%	
Vida útil do Financiamento (anos)	15	
Taxa de venda de CER (\$/toneladas de CO ₂ eq)	7 a 20	
Taxa de Vendas de Energia fora do Local (\$/kWh)	0,029	

A taxa de juros do BNDES foi obtida através do seu próprio site, conforme é possível visualizar no quadro abaixo. Foi determinado um valor de 8% que está acima de 7,15% determinado pelo BNDES, pois será deixada uma margem de segurança para possíveis flutuações com viés de alta na Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) ou até mesmo da remuneração do BNDES (a remuneração do BNDES que está inclusa dentro do valor de 7,15%).

No estudo de caso foi utilizada a Taxa Mínima de Atratividade de 8% a.a., tendo como parâmetro projetos de investimentos semelhantes. É válido lembrar, que no Aterro Sanitário de Santa Tecla, também foi utilizado esse mesmo percentual (Vanzin, 2006)

Na Tabela 51, a evolução dos valores da taxa de TJLP, ao longo dos últimos anos.

Tabela 51: Percentual da taxa de juros de longo prazo – TJLP (%a.a.).

2009	
JANEIRO a MARÇO	6,25%

2008	
OUTUBRO a DEZEMBRO	6,25%
JULHO a SETEMBRO	6,25%
ABRIL a JUNHO	6,25%
JANEIRO a MARÇO	6,25%

2007	
OUTUBRO a DEZEMBRO	6,25%
JULHO a SETEMBRO	6,25%
ABRIL a JUNHO	6,5%
JANEIRO a MARÇO	6,5%

Tabela 52: Custo do Financiamento.

Linhas de Financiamento	Remuneração do BNDES (% a.a.)	Custo Financeiro	Participação Máxima (%)
Energia			
- Energia Elétrica - Geração (exceto térmicas a carvão ou a óleo)	0,9	TJLP (100%)	80
- Energia Elétrica - Geração Térmica a carvão ou a óleo (1)	1,8	TJLP (50%) e TJ-453 (50%)	60
- Energia Elétrica - Transmissão	1,3	TJLP (100%)	70
- Energia Elétrica - Distribuição (1)	1,3	TJLP (50%) e TJ-453 (50%)	60
- Energias Renováveis	0,9	TJLP (100%)	80
Logística			
- Modal Ferroviário: Regiões Norte e Nordeste e Redução de Gargalos Ferroviários	0,0	TJLP (100%)	100
- Modais aéreo, ferroviário, rodoviário, portos e terminais	0,9	TJLP (100%)	80
- Setor Rodoviário	1,3	TJLP (70%) e TJ-453 (30%)	70
Petróleo e Gás			
- Exploração de petróleo e gás (1)	1,8	TJ-453 (100%)	60
- Desenvolvimento, produção e refino de petróleo (1)	1,8	TJ-453 (100%)	70
- Desenvolvimento, produção e processamento de gás	1,3	TJ-453 (100%)	70
- Transporte e Distribuição	1,3	TJ-453 (100%)	70
Telecomunicações (1)	1,8	TJ-453 (100%)	60
Projetos Estruturadores de Transporte Urbano	0,9	TJLP (100%)	100(*) 90(**) 80(***)
Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos	0,9	TJLP (100%)	100(*) 90(**) 80(***)

- Dados Consolidados da Análise Econômica

Abaixo, um resumo consolidado de forma mais detalhada, com o Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno, das análises de sensibilidades realizadas.

Tabela 53: Dados Consolidados da Análise Econômica (VPL X TIR).

Investimento Inicial	Investimento Inicial de capital (%)	CER (US\$ / ton.Co ₂ eq.)	TIR	VPL
\$15.514.880	100%	7	7,68%	(\$257.092)
\$15.514.880	100%	8	11,8%	\$3.715.234
\$15.514.880	100%	10	17,44%	\$11.659.887
\$15.514.880	100%	13	23,44%	\$23.576.866
\$15.514.880	100%	15	26,62%	\$31.521.519
\$15.514.880	100%	20	33,02%	\$51.383.151
\$3.878.720	25%	7	0%	(\$1.119.030)
\$3.878.720	25%	8	14,5%	\$2.853.297
\$3.878.720	25%	10	24,2%	\$10.797.949
\$3.878.720	25%	13	33,3%	\$22.714.928
\$3.878.720	25%	15	37,9%	\$30.659.581
\$3.878.720	25%	20	46,9%	\$50.521.213

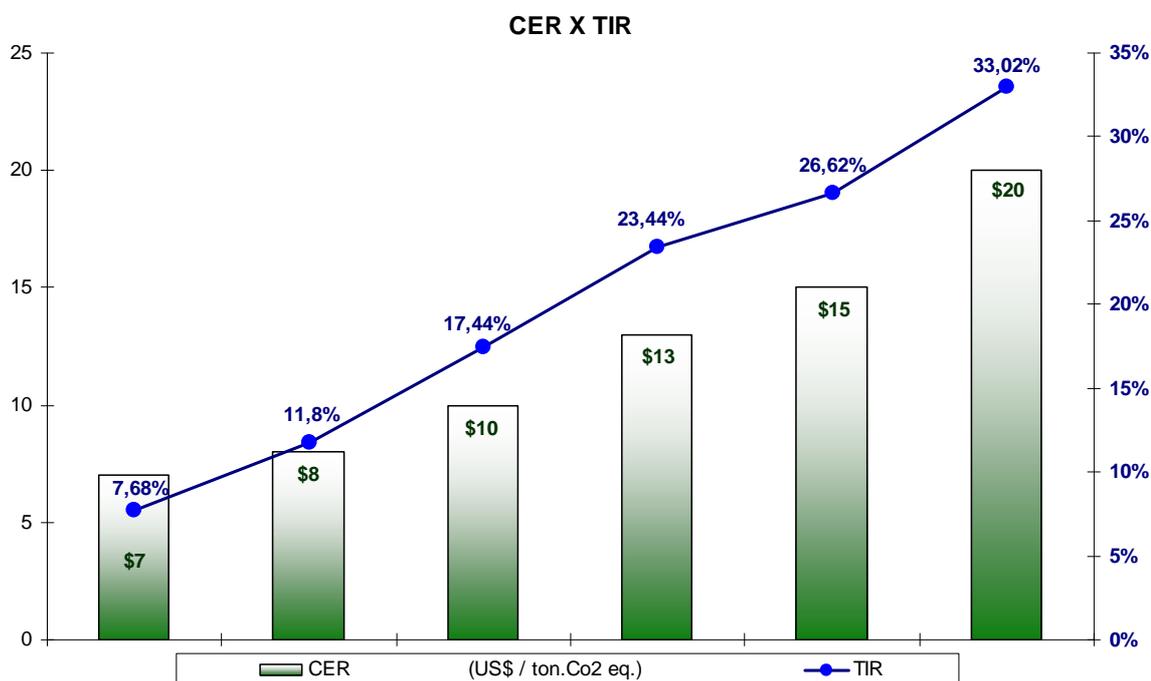


Gráfico 8: Comparativo CER X TIR (%) com o Investimento inicial de 100%.

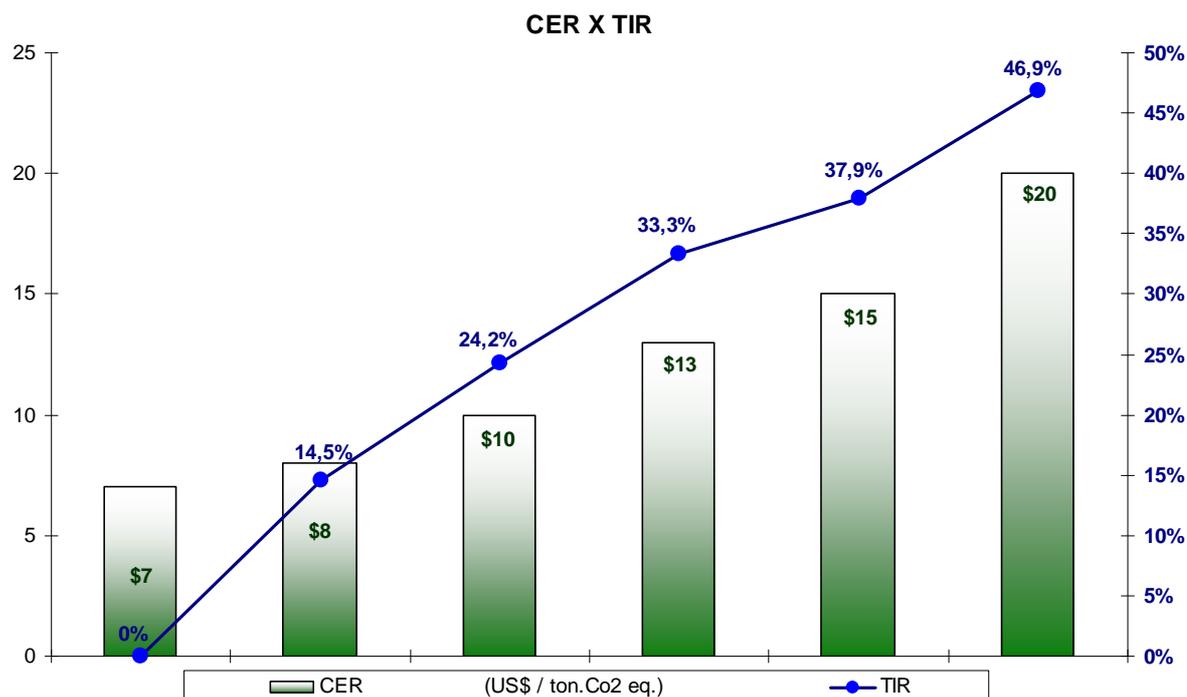


Gráfico 9: Comparativo CER X TIR (%) com o Investimento inicial de 25% (outros 75% são financiamentos).

- Análise de Sensibilidade

Tabela 54: Cenário Médio; Análise de Sensibilidade com o \$/kWh de 0,029.

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
CER (US\$ / ton. Co ₂ eq.)	TIR	VPL
7	11,14%	\$3.090.368
8	14,3%	\$7.062.694
10	19,16%	\$15.007.347
13	24,66%	\$26.924.326
15	27,65%	\$34.868.978
20	33,77%	\$54.730.610
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
CER (US\$ / ton. Co ₂ eq.)	TIR	VPL
7	13,13%	\$2.228.430
8	18,9%	\$6.200.756
10	26,74%	\$14.145.409
13	34,92%	\$26.062.388
15	39,23%	\$34.007.041
20	47,83%	\$53.868.672
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

Comentários:

Esse é o cenário padrão que será utilizado na realização do EVTE da dissertação. Não obstante, é válido verificar a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o VPL (Valor Presente Líquido) dos cenários seguintes para melhor visualização dos riscos e rentabilidades do projeto.

Tabela 55: Cenário Pessimista; Análise de Sensibilidade com o \$/kWh de 0,022.

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
7	8,29%	\$228.972
8	12,4%	\$4.201.298
10	17,98%	\$12.145.951
13	23,90%	\$24.062.930
15	27,04%	\$32.007.582
20	19,16%	\$15.007.347
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,022 kWh		

Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
7	0,00%	(\$632.966)
8	15,9%	\$3.339.360
10	25,23%	\$11.284.013
13	34,05%	\$23.200.992
15	38,55%	\$31.145.645
20	47,40%	\$51.007.276
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,022 kWh		

Tabela 56: Cenário Otimista; Análise de Sensibilidade com o \$/kWh de 0,035.

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
7	12,91%	\$5.542.993
8	15,6%	\$9.515.319
10	20,07%	\$17.459.972
13	25,27%	\$29.376.951
15	28,15%	\$37.321.603
20	34,11%	\$57.183.235
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,035 kWh		

Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
7	16,24%	\$4.681.055
8	20,9%	\$8.653.381
10	27,89%	\$16.598.034
13	35,63%	\$28.515.013
15	39,78%	\$36.459.666
20	48,19%	\$56.321.297
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,035 kWh		

Após a realização da análise de sensibilidade, pode-se concluir que uma queda no valor da taxa de venda da Energia, reduz a viabilidade e o retorno do projeto. Se essa taxa ficar no patamar de 0,22 \$/kWh e de forma concomitante, um valor da CER muito baixo (o que pode vir a acontecer, devido à crise mundial de 2008/2009 que tem gerado instabilidades nos mercados mundiais) o projeto provavelmente não será realizado nesse momento, ou o investidor irá esperar um pouco, exercendo uma opção real e investir mais a frente. Então a redução do valor das taxas de venda de Energia (\$/kWh) e de forma conjunta com a redução do valor dos CER, são fatores que reduzem a viabilidade técnica e econômica do projeto.

Na Tabela 57 será demonstrado outro cenário com uma elevação do investimento para um patamar de US\$ 19,4, utilizando todos os outros parâmetros utilizados no cenário médio/padrão (por exemplo, US\$ 0,029 / kWh e CER = US\$ 10 ton. Co₂ eq.).

Tabela 57: Cenário com Investimento total elevado para US\$ 19.495.127.

Investimento inicial de 100% = 19.495.127,60		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
10	13,66%	\$7.974.473
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

Investimento inicial de 25% = 4.873.781,90		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
10	17,76%	\$6.891.410
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

Abaixo serão analisados os cenários para produção de energia a partir do biogás do lixo sem a obtenção de receitas com os créditos de carbono. É fato que o projeto só será viável se houver uma elevação muito significativa no preço da energia em \$ / kWh. Só para efeitos comparativos, no Brasil, o projeto que obteve maior remuneração no valor em \$ / kWh foi o projeto do “Aterro Bandeirantes”, no qual um banco (no caso, o Unibanco) é o IPP (produtores independentes de energia). O mesmo produz energia a partir de biogás e fornecendo-a à matriz. Como compensação, todas as sucursais do banco recebem eletricidade gratuitamente. Logo estão vendendo a eletricidade com um preço que comprariam no mercado, que é acima de R\$200,00/MWh (aproximadamente \$0,074/kWh). Mesmo com esse valor de \$0,074/kWh o projeto tem uma baixa TIR e um VPL negativo. Abaixo é possível visualizar um comparativo entre valor da energia (\$/kWh), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL).

Tabela 58: Cenário sem obtenção de receitas com créditos de carbono; Análise de Sensibilidade com diversas taxa de venda de energia em \$/kWh.

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
Taxa de venda de energia fora do local (\$ / kWh)	TIR	VPL
0,074	3,09%	(\$6.321.228)
0,084	6,52%	(\$2.233.520)
0,094	9,09%	\$1.854.189
0,104	11,19%	\$5.941.897
0,114	12,96%	\$10.029.606
0,124	14,51%	\$14.117.314
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.) = 0		

Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
Taxa de venda de energia fora do local (\$ / kWh)	TIR	VPL
0,074	-0,85%	(\$7.183.166)
0,084	4,87%	(\$3.095.458)
0,094	8,87%	\$992.251
0,104	11,99%	\$5.079.959
0,114	14,57%	\$9.167.668
0,124	16,79%	\$13.255.376
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.) = 0		

Abaixo serão apresentados dois cenários com o devido detalhamento das receitas e despesas da Usina de Biogás. Com isso, foi possível realizar a Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL) apresentados nesse trabalho.

- 1) **Cenário 1** com Investimento inicial de US\$ 15.514.880,00 e sem financiamento.
- 2) **Cenário 2** com Investimento inicial de US\$ 3.878.720,00 (25% de US\$ 15.514.880,00) e com financiamento de US\$ 11.636.160,00.

Os cenários apresentados são subsídios fundamentais para colaborar na decisão fundamentada do empresário que decidirá qual opção e quando é mais atrativo para realizar o investimento.

Tabela 59: Cenário completo de investimento (Cenário 1 x Cenário 2).

Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) de Aterro Sanitário																							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024			
Capacidade Bruta da Usina (MW)	-	-	-	-	-	-	-	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	
Capacidade de Rede da Usina (MW)	-	-	-	-	-	-	-	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	
Fator de Capacidade da Usina (%)	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	
Taxa de Vendas de Energia fora do Local (\$/kWh)	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038	0,039	0,040	0,041	0,043	0,044	0,045	0,047	0,048	0,049	0,051			
Vendas de Energia fora do Local (MWh/ano)	-	-	-	-	-	-	-	73.548,0	73.548,0	73.548,0	73.548,0	73.548,0	73.548,0	73.548,0	52.535,0	52.535,0	52.535,0	52.535,0	52.535,0	52.535,0	52.535,0	52.535,0	
Receitas de Energia fora do local	-	-	-	-	-	-	-	2.623.188,1	2.701.883,8	2.782.940,3	2.866.428,5	2.952.421,3	3.040.994,0	2.237.333,1	2.304.453,1	2.373.586,7	2.444.794,3	2.518.138,2	2.593.682,3	2.671.492,8			
														0,935	0,935								
Taxa de Recuperação de Biogás (m³/hora)	47,1	48,0	48,3	49,1	49,6	22.370,5	19.196,8	16.382,6	13.981,0	11.931,5	10.182,4	8.689,7	7.415,9	6.328,7	5.401,0	4.609,2	3.933,5	3.356,9	2.864,8	2.444,8			
Redução de base (m³/hora)	0,0779	0,0794	0,0799	0,0813	0,0820	37,0	31,8	27,1	23,1	19,7	16,8	14,4	12,3	10,5	8,9	7,6	6,5	5,6	4,7	4,0			
Redução de Emissões de Metano (ton. ano)	125,06	127,39	128,28	130,41	131,63	59.393,5	50.967,3	43.495,6	37.119,6	31.678,1	27.034,3	23.071,2	19.689,1	16.802,8	14.339,6	12.237,5	10.443,6	8.912,6	7.606,1	6.491			
CERs para Reduções de Metano (ton. CO ₂ e/ano)	2626,16	2675,10	2693,94	2738,68	2764,30	1.247.263,4	1.070.313,8	913.412,1	779.511,3	665.239,5	567.719,3	484.495,0	413.470,9	352.858,5	301.131,5	256.987,4	219.314,6	187.164,4	159.727,2	136.312,1			
Taxas de Venda de CER (\$/tonelada CO ₂ e)	0	0	0	0	0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
Receitas de CER das Reduções de Metano (\$/ano)	-	-	-	-	-	12.472.634,3	10.703.138,2	9.134.121,2	7.795.112,8	6.652.395,3	5.677.193,4	4.844.950,3	4.134.709,1	3.528.585,2	3.011.315,4	2.569.874,3	2.193.145,9	1.871.643,6	1.597.271,7	1.363.121,1			
CERs da Deslocação de Energia (ton. CO ₂ e/ano)	-	-	-	-	-	-	-	78.696,4	78.696,4	78.696,4	78.696,4	78.696,4	78.696,4	78.696,4	56.212,5	56.212,5	56.212,5	56.212,5	56.212,5	56.212,5	56.212,5	56.212,5	
Receitas do Deslocamento de Energia (\$/ano)	-	-	-	-	-	-	-	786.963,6	786.963,6	786.963,6	786.963,6	786.963,6	786.963,6	562.124,5	562.124,5	562.124,5	562.124,5	562.124,5	562.124,5	562.124,5	562.124,5	562.124,5	
RECEITA TOTAL	-	-	-	-	-	12.472.634	10.703.138	12.544.273	11.283.960	10.222.299	9.330.585	8.584.335	7.962.667	6.328.043	5.877.893	5.505.586	5.200.065	4.951.906	4.753.079	4.596.738			
IFG Recuperado (MMBtu/ano)	7.373,1	7.510,5	7.563,4	7.689,0	7.761,0	3.501.780,4	3.004.981,8	2.564.469,2	2.188.533,2	1.867.707,1	1.593.912,2	1.360.254,1	1.160.848,9	990.675,3	845.448,1	721.510,4	615.741,2	525.477,2	448.445,3	382.705,9			
Contribuição de Equidade para o Custo Capital	15.514.880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Preço de Compra de Biogás (\$/MMBtu)	0,035	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	
Custos Anuais para a Compra de Biogás (\$)	0	0	0	0	0	0	124.866	109.758	96.478	84.805	74.545	65.525	57.597	50.628	44.503	39.118	34.385	30.226	26.568	23.353			
Taxa de O&M da Usina de Energia (\$/kWh)	0,0180	0,0185	0,0191	0,0197	0,0203	0,0209	0,0215	0,0221	0,0228	0,0236	0,0242	0,0249	0,0257	0,0264	0,0272	0,0280	0,0289	0,0298	0,0306	0,0316			
Custo Anual de O&M da Usina de Energia	0	0	0	0	0	0	0	1.628.186	1.677.031	1.727.342	1.779.163	1.832.537	1.887.514	1.938.690	1.990.350	2.042.180	2.094.171	2.146.314	2.198.508	2.250.752	2.303.046	2.355.390	
O&M Anual de Sist. de Coleta e de Controle de Gás e Custos de Injeção	0	0	0	0	0	0	352.245	362.813	373.697	384.908	396.455	408.349	420.599	433.217	446.214	459.600	473.388	487.590	502.218	517.284			
Registro, Monitorização & Verificação Anual	0	0	0	0	0	0	47.762	49.195	50.671	52.191	53.757	55.369	57.030	58.741	60.504	62.319	64.188	66.114	68.097	70.140			
Serviço Anual de Dívida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Pagamentos a Contribuir	0	0	0	0	0	600.000	624.000	648.960	674.918	701.915	729.992	759.191	789.559	821.141	853.987	888.147	923.672	960.619	999.044	1.039.006			
Pagamentos ao Fundo de Part. dos Colaboradores	0	0	0	0	0	1.200.000	1.248.000	1.297.920	1.349.837	1.403.830	1.459.983	1.518.383	1.579.118	1.642.283	1.707.974	1.776.230	1.847.345	1.921.239	1.998.088				
CUSTOS TOTAIS ANUAIS	15.514.880	0	0	0	0	600.000	2.348.874	4.046.912	4.170.716	4.300.999	4.437.741	4.580.956	4.730.683	4.331.536	4.477.841	4.630.419	4.789.386	4.954.875	5.127.038	5.306.040			
FLUXO (receita-custos)	(15.514.880)	-	-	-	-	11.872.634	8.354.265	8.497.361	7.113.244	5.921.301	4.892.844	4.003.379	3.231.864	1.996.506	1.400.052	875.167	410.679	(2.969)	(373.959)	(709.302)			

Cenário 1

Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) de Aterro Sanitário																							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024			
Capacidade Bruta da Usina (MW)	-	-	-	-	-	-	-	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	10,03	
Capacidade de Rede da Usina (MW)	-	-	-	-	-	-	-	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	
Fator de Capacidade da Usina (%)	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	
Taxa de Vendas de Energia fora do Local (\$/kWh)	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038	0,039	0,040	0,041	0,043	0,044	0,045	0,047	0,048	0,049	0,051			
Vendas de Energia fora do Local (MWh/ano)	-	-	-	-	-	-	-	73.548,0	73.548,0	73.548,0	73.548,0	73.548,0	73.548,0	52.535,0	52.535,0	52.535,0	52.535,0	52.535,0	52.535,0	52.535,0	52.535,0	52.535,0	
Receitas de Energia fora do local	-	-	-	-	-	-	-	2.623.188,1	2.701.883,8	2.782.940,3	2.866.428,5	2.952.421,3	3.040.994,0	2.237.333,1	2.304.453,1	2.373.586,7	2.444.794,3	2.518.138,2	2.593.682,3	2.671.492,8			
														0,935	0,935								
Taxa de Recuperação de Biogás (m³/hora)	47,1	48,0	48,3	49,1	49,6	22.370,5	19.197	16.383	13.981	11.931	10.182	8.690	7.416	6.329	5.401	4.609	3.934	3.357	2.865	2.445			
Redução de base (m³/hora)	0,0779	0,0794	0,0799	0,0813	0,0820	37	32	27	23	20	17	14	12	10	8	7	6	5	4				
Redução de Emissões de Metano (ton. ano)	125,06	127,39	128,28	130,41	131,63	59.393,5	50.967,3	43.496	37.120	31.678	27.034	23.071	19.689	16.803	14.340	12.237	10.444	8.913	7.606	6.491			
CERs para Reduções de Metano (ton. CO ₂ e/ano)	2626,16	2675,10	2693,94	2738,68	2764,30	1.247.263,4	1.070.314	913.412	779.511	665.240	567.719	484.495	413.471	352.859	301.132	256.987	219.315	187.164	159.727	136.312			
Taxas de Venda de CER (\$/tonelada CO ₂ e)	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Receitas de CER das Reduções de Metano (\$/ano)	-	-	-	-	-	12.472.634,3	10.703.138,2	9.134.121,2	7.795.113	6.652.395,3	5.677.193,4	4.844.950,3	4.134.709,1	3.528.585,2	3.011.315,4	2.569.874,3	2.193.146	1.871.644	1.597.272	1.363.121			
CERs da Deslocação de Energia (ton. CO ₂ e/ano)	-	-	-	-	-	-	-	78.696,4	78.696,4	78.696,4	78.696,4	78.696,4	78.696,4	78.696,4	56.212,5	56.212,5	56.212,5	56.212,5	56.212,5	56.212,5	56.212,5	56.212,5	
Receitas do Deslocamento de Energia (\$/ano)	-	-	-	-	-	-	-	786.964	786.964	786.964	786.964	786.964	786.964	562.125	562.125	562.125	562.125	562.125	562.125	562.125	562.125	562.125	
RECEITA TOTAL	-	-	-	-	-	12.472.634	10.703.138	12.544.273	11.283.960	10.222.299	9.330.585	8.584.335	7.962.667	6.328.043	5.877.893	5.505.586	5.200.065	4.951.906	4.753.079	4.596.738			
IFG Recuperado (MMBtu/ano)	7.373,1	7.510,5	7.563,4	7.689,0	7.761,0	3.501.780	3.004.982	2.564.469	2.188.533	1.867.707	1.593.912	1.360.254	1.160.849	990.675	845.448	721.510	615.741	525.477	448.445	382.706			
Contribuição de Equidade para o Custo Capital	3.878.720	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Preço de Compra de Biogás (\$/MMBtu)	0,0348	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	
Custos Anuais para a Compra de Biogás (\$)	0	0	0	0	0	0	124.866	109.758	96.478	84.805	74.545	65.525	57.597	50.628	44.503	39.118	34.385	30.226	26.568	23.353			
Taxa de O&M da Usina de Energia (\$/kWh)	0,0180	0,0185	0,0191	0,0197	0,0203	0,0209	0																

APÊNDICE C - TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

Uma abordagem complementar à análise empresarial de projetos de investimento baseada no Fluxo de Caixa Descontado é a Teoria de Opções Reais. A aplicação deste enfoque será tanto maior quanto maiores forem as incertezas e as flexibilidades gerenciais relacionadas ao projeto. Contudo, cabe ressaltar que esta metodologia não substitui o método do Fluxo de Caixa Descontado, apenas pode contribuir para enriquecer a avaliação empresarial do projeto.

A Teoria das Opções Reais, também chamada de teoria do investimento sob incertezas, é uma metodologia relativamente recente (começou a ser desenvolvida na década de 80) e que reconhece o valor das flexibilidades gerenciais (ou opções) que estão embutidas naturalmente em um projeto (ou que podem ser incluídas a certo custo). Em geral, quanto maiores forem às incertezas, maior será o valor dessas flexibilidades ou opções.

Essa metodologia geralmente usa técnicas de modelagem das incertezas ao longo do tempo – os processos estocásticos – e técnicas de otimização dinâmica sob incerteza, como por exemplo, a programação dinâmica sob incerteza.

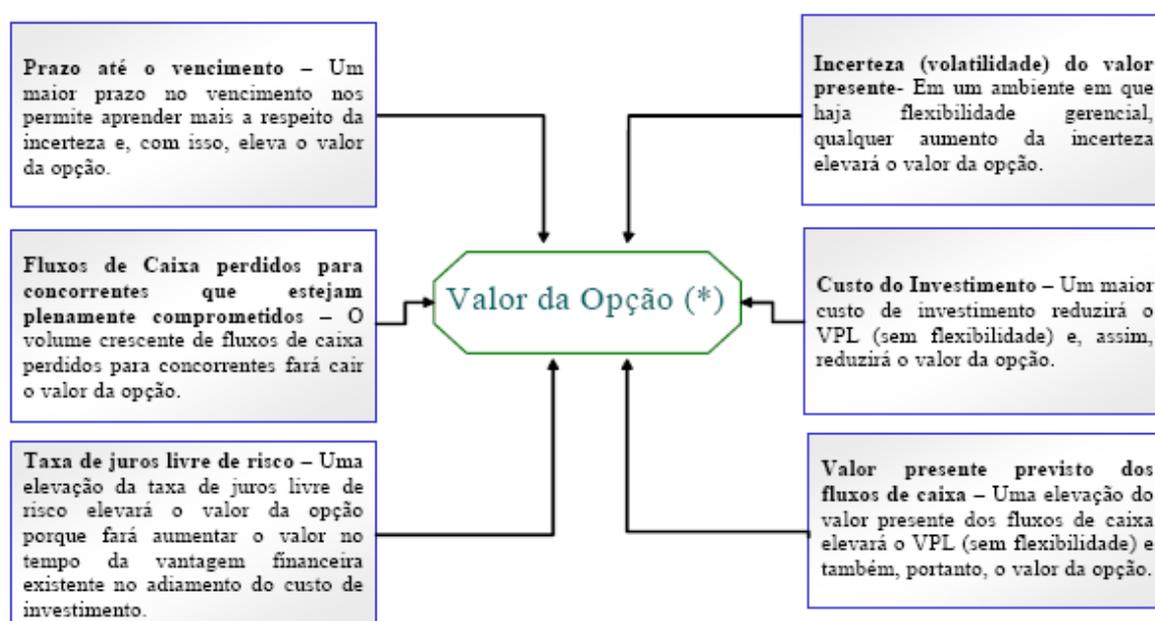
A Teoria das Opções Reais pode ser vista como um problema de maximização de valor sujeito a restrições [uma diferença importante entre as opções financeiras e as reais é o fato de que a administração pode afetar o valor do ativo objeto (um projeto físico que está sob seu controle), ao passo que as opções financeiras são “apostas” feitas por terceiros que não podem afetar o destino do ativo objeto (por exemplo, uma ação de uma empresa na Bolsa de Valores)].

Tipicamente, procura-se maximizar o VPL (função objetivo) através do gerenciamento ótimo das flexibilidades gerenciais (opções), sujeito a incertezas de mercado (preço do petróleo, demanda de gás, etc.), a incertezas técnicas (volume e qualidade de uma reserva, desempenho de uma nova tecnologia, etc.), e a incertezas estratégicas (comportamento de outras firmas, cooperadoras ou concorrentes que podem alterar o valor do projeto).

O valor de uma opção se eleva com a variabilidade do valor do ativo objeto. Como se dá com as opções financeiras, o valor de uma opção real depende de cinco parâmetros: o valor de mercado do ativo objeto em que se baseia a opção; o preço de exercício da opção; o prazo restante até o vencimento da opção; a

volatilidade do ativo objeto; e a taxa de juros livre de risco. Todos estes estão claramente definidos para as opções financeiras, mas exigem melhor compreensão no que se refere às opções reais. Um sexto parâmetro, que deve ser incluído em Opções Reais, é a taxa de dividendos pagos pelo ativo objeto (“dividend yield”), que pode ser interpretado como os fluxos de caixa (como % do valor do ativo objeto) que deixam de ser ganhos enquanto não se exerce a opção [Se a opção real for escrita como uma função de variáveis mais básicas como o preço de commodities, então a taxa de dividendos é interpretada como “*convenience yield*” (taxa de conveniência) e pode ser estimada com dados do mercado futuro: $S = F \exp[-(r - \delta)t]$, onde S é o preço spot, F é o preço futuro de um contrato expirando em t anos, r é a taxa de juros livre de risco e δ é o *convenience yield* que se quer estimar].

Neste contexto, os parâmetros que afetam o valor de uma opção real são apresentados de forma resumida na Figura 15:



Obs(*) Fonte: Avaliação de Empresas – Tom Copeland, Tim Koller e Jack Murrin

Figura 15: Valor das Opções Reais.

A teoria das opções reais pode ser vista também como um esforço de complementação dos conceitos de fluxo de caixa descontado, árvore de decisão (com a abordagem correta de taxa de desconto e das probabilidades, é a teoria das opções reais em tempo discreto) e simulação de Monte Carlo (que vem sendo

usada para resolver problemas de opções reais). A teoria das opções reais busca integrar essas metodologias numa abordagem consistente, à luz da teoria de finanças corporativas.

As principais opções reais ou flexibilidades são:

- a) **opção de espera (ou de timing)**: compara fazer hoje o projeto com a opção de postergar o projeto, fazendo o mesmo no futuro em melhores condições ou mesmo não fazendo, a depender do cenário de evolução das incertezas;
- b) **opção de expansão da produção**: consiste em analisar o projeto considerando que alguns cenários podem ser ótimos à expansão da produção. Isso pode levar à aquisição de um terreno vizinho ao de um projeto de refinaria, avaliando a possibilidade de expandir a sua capacidade;
- c) **opções de abandono, de parada temporária e de mudança de uso**: consistem na possibilidade de interromper definitivamente ou provisoriamente a produção de uma unidade ou um plano seqüencial de investimento;
- d) **opções de aprendizagem**: consideram a opção que o gerente tem de investir em informação adicional antes de desembolsar uma grande soma num projeto. Exemplos são os investimentos em sísmica (não existe fluxo de caixa), em poços de delimitação, em teste de protótipos de novos equipamentos, em teste/pesquisa de mercado, em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de forma geral, em capacitação e treinamento de empregados (permitindo o exercício futuro de opções reais em melhores condições), em sistemas pilotos de produção, entre outros;
- e) **opções de input (flexibilidade de insumos)**: valiosas quando o projeto pode usar diferentes insumos para gerar um produto, pois o gerente escolhe a combinação de insumos que maximiza o valor do projeto. Um exemplo são os carros bi-combustíveis (álcool ou gasolina) e tri-combustíveis (gás, álcool ou gasolina), que são opções reais para o consumidor.

Após a explicitação da teoria das opções reais, esse apêndice será encerrado com a exposição de alguns termos econômicos pertinentes ao mercado para produção de energia renovável a partir do biogás de lixo em aterros sanitários.

Tabela 60: Termos econômicos aplicado ao mercado de lixo.

Capacidade Bruta da Usina	A capacidade da usina de energia para a saída de eletricidade antes de se ter em conta a carga parasita (a energia usada para operar a usina) e fator de capacidade da usina
Fator de Capacidade da Usina	Porcentagem do tempo total que a usina de energia está a funcionar.
Capacidade de Rede da Usina	Capacidade da usina de energia para a saída de eletricidade após se ter em conta a carga parasita e o fator de capacidade da usina
Redução de Linha de Base (linha de base de redução de emissões de metano)	A quantidade estimada de reduções de emissões de metano que deveriam ter sido destruídas/queimadas durante o ano na ausência de atividade do projeto proposto, através de requerimentos regulatórios ou contratuais, ou através da queima do biogás coletado.
Redução das Emissões de Metano	A quantidade estimada de reduções de emissões atingíveis por captura e queima através da implementação do projeto proposto, adicionalmente à redução de linha de base da emissão de metano.
CERs para Deslocamento da Energia	A quantidade estimada de créditos certificados de reduções de emissões atingidos pelo projeto proposto através do deslocamento da geração de eletricidade de outras tecnologias, como as usinas de energia convencionais que queimam combustíveis fósseis.
Preço de Compra de Biogás	Custos (em \$/MM Btu) associados com a aquisição de direitos para coletar e queimar o biogás.
Aumento do Preço da Energia Taxa de Aumento do Combustível Aumento da Operação e Manutenção da Usina de Energia Aumento da Operação e Manutenção e Melhorias ao Sistema de Coleta	Aumento anual projetado para o futuro (em percentagem) da taxa de venda ou custos para cada um dos itens listados.

APÊNDICE D - COTAÇÃO MUNDIAL DOS CRÉDITOS DE CARBONO

O valor do crédito de Carbono (CER) está sujeito às vulnerabilidades do mercado. No entanto, o valor do CER para realização da análise de sensibilidade foi definido entre \$7 a \$20 tonelada de CO₂ equivalente, levando em conta informações obtidas em sumários internacionais e aprovações de projetos de energias renováveis no Brasil, que conseguiram, ou estão em vias de aprovação, obtenção desses créditos.



Gráfico 10: Cotação dos créditos de carbono em Euro (CER) e EUA.

No Brasil, existem diversos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), considerando o preço médio da tonelada CO₂ equivalente a US\$ 10 dólares (menor preço praticado a US\$ 5 dólares e maior preço US\$ 15 dólares).

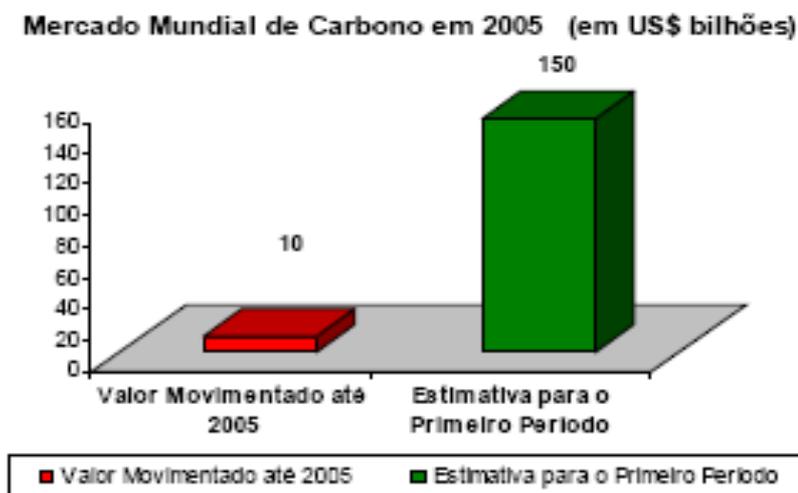
No aterro sanitário de Santa Tecla localizado no Rio Grande do Sul, por exemplo, houve a comercialização do crédito de carbono a uma cotação de US\$ 5 a tonelada de CO₂ equivalente, conforme é verificado na Tabela 61.

Tabela 61: Valor do Credito de Carbono no Aterro Santa Tecla – RS.

PROJETO ATERRO SANTA TECLA - PREMISSAS – FASE I – QUEIMA DE GÁS	
Item	Unidade
Valor de Venda de RCES (US\$ / tonelada de Carbono (t/CO ₂ eq))	5,00

FONTE: SCS ENGINEERS, 2005

O mercado de crédito de carbono movimentou até 2005, US\$10 bilhões de dólares, e tem o potencial para atingir US\$ 150 bilhões de dólares até 2012. Essa estimativa envolve os países que ratificaram e os que não ratificaram o Protocolo de Kyoto, mas criaram mecanismos de Crédito de Carbono, como é o caso dos Estados Unidos da América (EUA). Abaixo, o Gráfico 11 sintetiza a idéia apresentada.



FONTE: Elaborado pelo autor com base em dados de pesquisa documental na Revista Exame. Ed. 878, ano 40 N.º. 20, 11 out. 2006. São Paulo: Abril, 2006.

Gráfico 11: Cenário mundial financeiro do mercado de carbono.

APÊNDICE E - EXEMPLO DE PLANTAS GERADORAS EXISTENTES NO BRASIL

A recuperação do biogás, associada ao uso energético, pode colaborar para o aumento da eficiência ambiental e energética dos sistemas de tratamento de esgotos, visto que o biogás retorna ao sistema na forma de energia.

Algumas tecnologias encontradas na literatura propondo a solução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, como a utilização de turbinas a gás, embora bastante conhecidas, sofrem grande rejeição por apresentarem elevado **custo** de implantação, em função da necessidade de investimentos elevados para a limpeza do biogás e dos gases de exaustão.

Atualmente o maior projeto de geração de energia elétrica a partir do biogás está instalado no **Aterro Bandeirantes** em São Paulo, com capacidade instalada de 20MW.

O Aterro Bandeirantes em São Paulo, é um dos maiores do mundo nesse segmento, com capacidade para gerar energia para uma população de 400 mil habitantes durante dez anos. O Aterro Bandeirantes assinou em seis (6) de abril de 2006, em São Paulo, o contrato de venda de certificados (créditos de carbono) de um milhão de toneladas de carbono com o banco alemão KFW, o que deve render 24 milhões de euros.

O projeto Aterro Bandeirantes, busca proporcionar uma destinação ambientalmente segura e sustentada ao lixo produzido na Cidade. Com a transformação do gás em energia elétrica nos dois aterros, o Município deixará de lançar até 2012 um total de 11 milhões de toneladas de dióxido de carbono na atmosfera, evitando a emissão de um dos gases responsáveis pelo efeito estufa. Isso corresponderá à poluição gerada por dois (2) milhões de veículos movidos com derivados de petróleo - o equivalente a 40% da frota em circulação no Município. O projeto resultará em créditos de carbono que serão negociados em leilão, gerando recursos para a aplicação em novos projetos para a população.



Figura 16: Projeto Aterro Bandeirantes.

Outro exemplo é o aterro de São João, um dos maiores aterros do Brasil, localizado na região metropolitana de São Paulo. O objetivo do projeto é explorar o biogás produzido no aterro de São João, usando-o para gerar eletricidade. O aterro foi projetado de acordo com as práticas modernas e atualmente está classificado como 8,3 (de 0 a 10) de acordo com a avaliação do aterro da agência ambiental de São Paulo (CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Além da redução de emissões de metano, haverá também a produção de 20 MW de eletricidade a partir de fonte renovável.

Outro exemplo de aterro bem sucedido no Brasil é o de Nova Iguaçu, no Rio de Janeiro, sendo o primeiro no mundo a receber o aval da ONU para vender créditos de carbono ao Governo Holandês no valor de 8,5 milhões de Euros. Inaugurada em 2003, a **Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu (CTR NI)**, localizada na região da Baixada Fluminense, no Estado do Rio de Janeiro, foi o primeiro empreendimento consolidado pelo grupo NOVAGERAR. O projeto “Nova Gerar”, foi o primeiro projeto de Mecanismo de Desenvolvimento

Limpo (MDL), dentro das normas do Protocolo de Quioto, aprovado pela ONU no mundo. Seu modelo de infra-estrutura e gestão recebeu em 2008 as certificações ISO 9001 (gestão de qualidade) e 14001 (gestão ambiental).

A **CTR NI** é composta por:

- a) Aterro Sanitário e Industrial;
- b) Unidade de Tratamento de Efluentes Percolados (chorume);
- c) Unidade de tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde;
- d) Unidade de Reciclagem de Resíduos de Construção Civil;
- e) Unidade de Gerenciamento de Resíduos;
- f) Centro de Educação Ambiental;
- g) Viveiro de mudas de Mata Atlântica.

Outros exemplos no Brasil:

Já foram realizadas experiências de aproveitamento energético com a venda do gás de lixo em Natal e no Rio de Janeiro na década de 1970.

Segundo Muylaert (2000), foi implementado, nos anos 1970, um projeto de coleta de biogás no aterro sanitário do Caju. O transporte do biogás produzido era realizado por um gasoduto de 4 km até a planta de gás da Companhia Estadual de Gás (CEG), em São Cristóvão. Nesse local, o biogás era adicionado ao nafta e posteriormente craqueado para gás manufacturado, a fim de ser distribuído para uso residencial no Rio de Janeiro.

Em dez anos de operação, o sistema recuperou 20 milhões de m³ de GDL, que foram adicionados ao gás produzido pela planta da CEG, sem nenhum tipo de tratamento especial, a custos operacionais extremamente baixos.

Rio de Janeiro

O aterro sanitário do Caju está localizado às margens da Baía de Guanabara, a oito quilômetros do centro da Cidade do Rio de Janeiro. Foi instalado em 1935 e operou até 1977, quando foi fechado.

Durante sua operação, não existia controle sobre a quantidade e a qualidade do lixo. Na verdade, esse era um aterro aberto, com uma cobertura de terra irregular que recebeu aproximadamente 30 milhões de m³ de lixo. O aterro foi expandido em uma área de aproximadamente um milhão de m² e totalmente recoberto por camadas irregulares de argila. Seu ponto-padrão mais alto fica cerca de 20 m acima do nível do mar. Seu sistema de coleta de biogás ocupa uma área de aproximadamente 250 mil m² e está localizado nas últimas áreas aterradas.

Por causa das altas taxas de pluviosidade e insolação do Rio de Janeiro, bem como da alta taxa de material orgânico do lixo no Estado, existem condições ideais para produção de GDL. Mesmo sem qualquer tipo de tratamento do lixo e área de coleta de apenas um quarto do total do aterro, 12 anos após seu fechamento, medições realizadas pela Comlurb atestam níveis de produção de gás ainda aceitáveis para aproveitamento energético economicamente viável [Muylaert (2000)].

Natal

A cidade de Natal produzia aproximadamente 500 toneladas de lixo urbano por dia na década de 1980, que eram dispostos em um depósito controlado próximo a uma grande duna de areia.

Em função da alta percentagem de matéria orgânica, das altas taxas pluviométricas e da temperatura da região, identificou-se o grande potencial de produção de GDL. Em 1983, a administração da cidade decidiu elaborar três projetos para utilização desse gás:

- a) em uma cozinha comunitária para moradores de baixa renda da comunidade próxima ao aterro;
- b) em uma rede de distribuição de gás conectada diretamente a uma comunidade próxima de 150 habitantes; e
- c) em uma ligação para alimentação de uma caldeira de uma indústria de castanha-de-caju.

O custo do investimento estimado foi de US\$ 50 mil e, apesar de apresentado para agências de investimento federal, não obteve financiamento. Mesmo assim, a administração municipal de Natal decidiu implementar a cozinha industrial com recursos próprios, o que aconteceu em 1986.

APÊNDICE F - LEGISLAÇÃO APLICADA AOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A legislação ambiental brasileira tomou um novo rumo com a definição da nova Política Nacional de Meio Ambiente (Lei Nº 6.938/1981), incorporada à Constituição Federal de 1988.

Outro instrumento importante é a Lei de Crimes Ambientais (9.605/1998) e suas regulamentações (Decreto Nº 3.179/1999), que atribuem penas restritivas de direito a pessoas jurídicas. No que se refere a padrões específicos para resíduos sólidos, o texto dessas leis ainda não foi definido. No Brasil, a vasta maioria das regulamentações faz parte da Constituição Federal e de outros instrumentos legais federais aos quais se subordinam as legislações estaduais e municipais. Os instrumentos atuais diretamente relacionados à questão dos resíduos sólidos são encontrados principalmente nos regulamentos da ABNT. Como regra, não há exigências de coleta mandatória nem de queima de gases de aterro. Assim, por exemplo, a Resolução do CONAMA apenas requer que os projetos de deposição de resíduos considerem a coleta e queima de gases de aterro.

Serão listados abaixo os principais instrumentos de legislações, resoluções, entre outros, pertinentes ao caso:

- a) **Resolução Conama nº 005**, de 31 de março de 1993 - Dispõe sobre o tratamento de resíduos gerados em estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários;
- b) **Lei ordinária 787, de 1997** - Dispõe sobre o Programa de Prevenção de Contaminação por Resíduos Tóxicos, a ser promovido por empresas fabricantes de lâmpadas fluorescentes, de vapor de mercúrio, vapor de sódio e luz mista e dá outras providências;
- c) **Resolução Conama nº 237**, de 19 de dezembro de 1997 - Estabelece norma geral sobre licenciamento ambiental, competências, listas de atividades sujeitas a licenciamento, etc.;

- d) **Resolução Conama nº 257, de 30 de junho de 1999** - Define critérios de gerenciamento para destinação final ambientalmente adequada de pilhas e baterias, conforme especifica;
- e) **Resolução Conama nº 283/2001** – Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde. Esta resolução visa aprimorar, atualizar e complementar os procedimentos contidos na Resolução Conama nº 05/93 e estender as exigências às demais atividades que geram resíduos de serviços de saúde.

Da normalização técnica da **Associação Brasileira de Normas Técnicas** (ABNT), citam-se abaixo somente algumas mais específicas ao tema tratado:

- a) **NBR 8.419-04/1992** - Nessa norma técnica é feita a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Estabelece os requisitos e as condições mínimas necessárias para apresentar de um projeto.
- b) **NBR 8.849-04/1985** - Regulamenta a apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos;
- c) **NBR 8.843-07/1996** - Versa sobre gerenciamento de resíduos sólidos em aeroportos;
- d) **NBR 10.004** - Esta Norma classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.
- e) **NBR 10.007-09/1987** - Versa sobre a amostragem de resíduos;
- f) **NBR 12.235-04/1992** - Regulamenta o armazenamento de resíduos sólidos perigosos;
- g) **NBR 11.175-07/1990** - Regulamenta a incineração de resíduos perigosos e estabelece padrões de desempenho;

- h) **NBR 12.980-08/1993** - Versa sobre coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos.
- i) **NBR 13.463-09/1995** - Versa sobre a coleta de resíduos sólidos;
- j) **NBR 13.591-03/1996** - Regulamentação da Compostagem;
- k) **NBR 13.894-06/1997** - Versa sobre o tratamento no solo e seus devidos Procedimentos;
- l) **NBR 14.599-06/2003** - Versa sobre os requisitos de segurança para coletores-compactadores de carregamento traseiro e lateral;
- m) **NBR 14.879-08/2002** - Versa sobre Coletor-Compactador de resíduos sólidos e devida definição do volume;
- n) **NBR 12.808-01/1993** - Versa sobre os resíduos de serviços de saúde;
- o) **NBR 12.809-02/1993** - Versa sobre o manuseio de resíduos de serviço de saúde;
- p) **NBR 1.321-02/2003** - Regulamenta o transporte terrestre de resíduos;
- q) **NBR 12.807-01/1993** - Versa sobre resíduos de serviços de saúde;
- r) **NBR 8.418-12/1983** - Regulamenta a apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos.
- s) **NBR 10.157-12/1987** - Regulamenta aterros de resíduos perigosos- Critérios para projeto, construção e operação; Fixa as condições mínimas exigíveis para projeto e operação de aterros de resíduos perigosos, de forma a proteger adequadamente as coleções hídricas superficiais e subterrâneas próximas, bem como os operadores destas instalações.
- t) **NBR 13.896-06/1997** - Regulamenta aterros de resíduos não perigosos fixando as condições mínimas exigíveis para o projeto, implementação e operação de resíduos não perigosos

- u) **Regulação NBR 9.690** - Fixa especificações exigíveis de mantas de polímeros para impermeabilização, a serem aplicadas sem contato com materiais asfálticos. Como polímero, para efeito desta especificação, entende-se o policloreto de vinil (PVC).
- v) **Regulação NBR 9.229** - Fixa especificações exigíveis de mantas de elastômeros destinadas à execução de impermeabilização na construção civil. Esta Norma está baseada no copolímero de isobutileno isopreno.
- w) **Norma NBR 5.681** - Fixa condições mínimas a serem preenchidas no controle tecnológico da execução de aterros em obras de construção e edificação residenciais, comerciais ou industriais de propriedade pública ou privada.
- x) **Norma NBR 8.083** - Define os termos técnicos usados na impermeabilização.
- y) **Norma NBR 11.682** – Fixa as condições exigíveis para o estudo e controle da estabilidade dos componentes naturais ou dos componentes resultantes das escavações, assim como o controle e a estabilização de projetos de estabilização.
- z) **Norma NBR 13.028** – Define o procedimento para a elaboração e apresentação de projetos de disposição de rejeitos.
- aa) **Norma NBR 13.895** – Fixa as condições mínimas exigíveis para a construção de poços de monitoramento e amostragem.
- bb) **NBR 12810-02/1993** – Versa sobre Coleta de Serviços de Saúde

As Instituições Reguladoras do setor mais relevantes estão listadas abaixo:

- a) **CONAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente, criado pela Lei 8028/90 e responsável pela publicação das resoluções que serão mais tarde promulgadas como norma ambiental. Tem autoridade para requerer, quando considerado necessário, estudos sobre o possível impacto ambiental de projetos públicos e privados, bem como para pedir a agências federais, estaduais e municipais e a entidades privadas as

informações necessárias para avaliar os estudos ambientais e os relatórios correspondentes a projetos ou atividades que poderão causar impactos significativos no ambiente, particularmente em áreas consideradas patrimônio nacional.

- b) **IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, com sede em Brasília e escritórios em todos os estados. É uma entidade com estatuto legal e independência financeira e administrativa estabelecida com o objetivo de formular, criar e fazer cumprir a política ambiental nacional.

Já as autoridades de controle para a gestão de resíduos sólidos dentro do País são da responsabilidade dos municípios de cada estado. Por exemplo, na cidade de São Paulo a agência responsável pela gestão de resíduos sólidos é a LIMPURB. No Rio de Janeiro a COMLURB. Em São Paulo, a Agência de Proteção Ambiental e a CETESB também participam desse esforço. A Agência distribui a autorização ambiental preliminar para a operação de aterros sanitários e é responsável pela distribuição de concessões para a instalação e operação de novas unidades.

A privatização das atividades de gestão de resíduos sólidos no Brasil começou na década de 1970, mas só veio a ganhar importância na década de 1990 devido à onda de privatização que varreu todo o setor público brasileiro - atingindo, principalmente, os municípios de tamanho grande ou médio e o sul do País. Por outro lado, os resíduos industriais sempre foram geridos pelo setor privado, segundo o princípio do poluidor-pagador definido pela legislação ambiental brasileira. Esse setor é altamente ineficiente no Brasil, onde se estima não chegar a 50% o resíduo perigoso industrial que recebe tratamento adequado. Para indicar exatamente a gravidade da situação desse setor no Brasil é importante mencionar que no Estado do Rio de Janeiro, o segundo maior do País em termos de atividade industrial, existe apenas uma unidade de tratamento e disposição final de resíduos perigosos: uma associação formada por Bayer e Tredi, uma companhia francesa especializada em serviços ambientais.

Abaixo são listadas outras Instituições Relevantes, para o setor ambiental e de energias renováveis.

- a) **ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas: estabelece os padrões técnicos a nível nacional.

- b) **CETESB** - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental: agência subordinada à Secretaria Estatal do Meio Ambiente do Estado de São Paulo que realiza o controle, monitoramento e supervisão da qualidade ambiental no Estado.

- c) **CRA** - Centro de Recursos Ambientais: agência estadual ligada à Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia.

- d) **INEA** - O Governo do Estado do Rio de Janeiro criou através da Lei nº 5.101, de 04 de outubro de 2007, o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) com a missão de proteger, conservar e recuperar o meio ambiente para promover o desenvolvimento sustentável. O novo instituto, instalado em 12 de janeiro de 2009, unifica e amplia a ação dos três órgãos ambientais vinculados à Secretaria de Estado do Ambiente (SEA): a Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente (Feema), a Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (Serla) e o Instituto Estadual de Florestas (IEF).

APÊNDICE G - Contrato Típico da Compra e Venda de Biogás

São elencados abaixo os elementos chaves de um típico contrato de compra e de vendas do biogás do lixo de aterros sanitário. O contrato é caracterizado pela bilateralidade entre o “vendedor” do LFG (biogás de aterro sanitário) que é tipicamente o proprietário da operação de descarga, e o comprador do LFG.

- Indicações preliminares

As indicações preliminares destacam tipicamente:

- Responsabilidades do vendedor e do comprador;
- Os termos e condições associados com o fornecimento de LFG ao comprador; e
- Garantias de desempenho do vendedor.

- Definições

Esta seção inclui tipicamente os termos que são centrais ao acordo (por exemplo, data comercial da operação, de entrega de LFG ponto, termo do acordo, entre outros aspectos relevantes a serem acordados entre as partes).

- Construção do projeto

Esta seção descreve tipicamente quais são as responsabilidades do vendedor e do comprador em relação a:

- A instalação do projeto;
- Obtenção de licenças, como por exemplo, LI (licença de instalação) e LO (licença de operação)
- Obrigações com operação e manutenção;
- Definição da parte responsável pelo pagamento de taxas e impostos;

- A programação da construção e devida descrição de quem é a responsabilidade pelos possíveis atrasos e quais são as penalidades pecuniárias (multa e mora); e
- Outros aspectos relevantes de acordo com o projeto em específico.

- Termo

Esta seção define tipicamente:

- O período inicial do contrato que será feito;
- Alguma extensão do termo (por exemplo, renovação por igual período ou não);
- Algumas obrigações depois do fim do contrato; e
- Alguma opção à compra a facilidade de LFG.

Manutenção, operação e obrigações acessórias

Esta seção explica tipicamente responsabilidades do vendedor e do comprador em relação à operação e a manutenção do projeto. Lista-se os principais tópicos:

- Projeto, construção, instalação, e conformidade operacional;
- Fonte de água e seu possível custo;
- Ponto de entrega, facilidade da produção de eletricidade, e modificação de sistema da produção;
- Conformidade do projeto;
- Documentação e licenças (LP [licença prévia], LI [licença de instalação] e LO [licença de operação]) a serem obtidas e o lapso temporal para obtenção de cada uma delas;
- Troca de informação e a confidencialidade das mesmas;
- Cooperação mútua entre o vendedor e o comprador; e

- Direito e condições de entrada ao local de operação de descarga.

- Terminou ou ruptura do contrato

Esta seção aborda tipicamente, as circunstâncias em que o vendedor ou comprador pode encerrar o contrato de forma antecipada ou não e de que forma os mesmos obtêm os seus devidos direitos com relação, por exemplo, aos possíveis danos que podem vir a ocorrer no projeto e quais são os remédios legais a serem utilizados. Os principais pontos desse tópico são:

- Atraso de pagamentos por parte do comprador ao vendedor durante um prazo de Três meses, pode ser motivo para encerramento do contrato por parte do vendedor. O vendedor pode acionar na Comarca da Capital do Rio de Janeiro, a dívida mais perdas e danos (materiais e dependendo do caso morais), cobrando juros e mora da dívida.
- O não fornecimento do biogás acordado pelo contrato, é motivo para que seja realizada uma notificação extrajudicial. O problema se repetindo por mais de duas vezes (meses), o comprador por extinguir o contrato sem multa e buscar seus devidos direitos (perdas e danos devido ao prejuízo ocorrido ao comprador pela ausência da disponibilidade do biogás acordado no contrato) na esfera judicial competente para o caso.

Além desses dois pontos, em cada contrato as partes devem acordar quais são as condições para encerramento e ruptura do contrato. Deve estipular qual o período mínimo para que o contrato possa ser rompido sem multa e/ou mora. E também, quanto tempo (em dias ou meses) são necessários para ser aceita esta ruptura (uma espécie de aviso prévio). Em um negócio dessa envergadura o comprador ou o vendedor, não podem sair do negócio do dia para o outro. Normalmente são acordados 90 dias de aviso prévio, principalmente para que o vendedor possa encontrar um novo comprador para a matéria prima que não será mais comprada, e com isso, tentando reduzir suas possibilidades de prejuízos e mitigar riscos.

- Pagamentos

Esta seção endereça tipicamente a estrutura do pagamento do projeto, incluindo:

- Pagamentos periódicos do comprador ao vendedor (por exemplo, \$ 35/MMBTU de LFG fornecido);
- Alguma compensação adicional (por entrega antecipada, por exemplo);
- Onde os pagamentos devem ser feitos e qual será a moeda a ser utilizada (geralmente é a moeda americana [o dólar = \$]); e
- Termos da penalidade por pagamento tardio (percentual de juros e mora). Esta seção pode igualmente endereçar todas as garantias do pagamento do comprador ao vendedor em tempo oportuno.

- Medições e monitoração

Esta seção define tipicamente:

- Responsabilidade do vendedor de instalar e manter LFG que medem o equipamento de monitoração;
- O direito ou não do comprador instalar seu próprio equipamento de medição alternativo; e
- O controle e a garantia da qualidade associados com o equipamento do vendedor.

- Indenização e seguro

Esta seção cobre tipicamente as provisões gerais da indenização que mantêm o vendedor e o comprador inofensivos, a menos que o dano for causado pela negligência ou pela ação relativa. As indenizações ambientais também são discutidas. Mais, o seguro é discutido geralmente nesta seção, definindo o que o vendedor e o comprador acordam sobre o tema. Lista-se os principais pontos:

- De quem é a responsabilidade do pagamento (isto é, seguro de responsabilidade geral). Além disso, como são os critérios para definição de qual será a seguradora;
- Empregados (por exemplo, compensação dos trabalhadores e seguro de responsabilidade);
- Automóveis; e

- Outros.

- Arbitragem

Esta seção define tipicamente como toda a disputa do acordo entre o vendedor e o comprador será estabelecida pelo arbítrio na localidade onde o projeto de LFGTE é situado. Tais decisões realizadas pelo arbítrio são definitivas, e as despesas do arbítrio são tipicamente rachadas igualmente entre o vendedor e o comprador. Deve-se lembrar que a arbitragem é uma forma célere e menos custosa para resolução de possíveis litígios entre as partes. Os principais pontos são:

- Um exame das circunstâncias da condenação do projeto sob as quais o acordo poderia seja terminado;
- Algumas provisões monetárias das concessões e dos danos; e
- Termos por que a condenação do projeto ocorrerá entre o vendedor e o comprador.

- Aspectos finais gerais

Esta seção inclui tipicamente os seguintes tipos de categorias:

- Data eficaz (isto é, quando o acordo oficialmente se inicia).
- Força maior (isto é, quando algumas das partes não serão penalizadas). Por exemplo: batidas inesperadas, chuvas de granizo, entre outros;
- Ações pelo vendedor e pelo comprador;
- Os devidos sucessores e suas possíveis atribuições (isto é, o contrato que anota que os termos e as provisões do acordo se aplicarão a todos os sucessores ou cessionários [ou não], e as obrigações devidas que poderão ser transferidas);
- Construção do contrato (o contrato deve estar de acordo com a lei nacional e o acordo entre as partes);
- Informação confidencial (quais são os requisitos devem ser seguidos para manter a segurança da informação e penalidades para possíveis desvios de condutas e

apropriações indebitas de informações confidenciais para uso indevido e enriquecimento ilícito);

- Beneficiários do terceiro; e
- Limitação da responsabilidade de cada parte do contrato e seus possíveis sucessores.

No final do contrato deve ser colocada a cidade da assinatura do contrato, o dia do mês, o mês e o ano. Além disso, devem as partes realizar a assinatura do contrato e realizarem o reconhecimento de firma por autenticidade. Além disso, faz necessário pelo menos duas testemunhas. Além disso, esse modelo de contrato é apenas um plano de vôo inicial, sendo necessário analisar cada caso para detalhar as nuances de cada tipo de negócio e a vontade das partes.

ANEXO A - ICMS ECOLÓGICO

O ICMS Ecológico é um mecanismo que possibilita aos municípios acessarem recursos financeiros arrecadados pelos Estados do ICMS, Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços, a partir da definição, em leis estaduais, de critérios ambientais para a partilha de parte da “quota-parte” que os municípios têm direito de receber como transferências constitucionais.

Esta oportunidade aproveita, o disposto no inciso II, do artigo 158 da Constituição Federal, que define poder os Estados legislar sobre até $\frac{1}{4}$ do percentual a que os municípios têm direito de receber do ICMS, regulamentado pela Lei Federal Complementar nº 63/90. Vinte e quatro Estados brasileiros já aprovaram ou estão debatendo suas legislações sobre o ICMS Ecológico.

Estados que possuem o ICMS Ecológico aprovado, implantado ou em implantação

O **Paraná** foi o primeiro Estado brasileiro a aprovar o ICMS Ecológico, inicialmente dispendo sobre o tema na Constituição Estadual de 1989, depois em regulamentação através da lei Complementar nº 59, em 1991. No caso paranaense são observados dois critérios ambientais, a conservação da biodiversidade e dos mananciais de abastecimento para municípios vizinhos. À iniciativa do Paraná seguiram-se depois outros treze Estados, que estão em diferentes estágios de implantação do ICMS Ecológico. Além, destes praticamente todos os Estados do Brasil, ou tem o ICMS Ecológico aprovado, ou em discussões avançadas ou não sobre o tema. A seguir, serão feitas observações gerais sobre todos estes casos, analisando em primeiro lugar os Estados que já possuem o ICMS Ecológico aprovados.

São Paulo - São Paulo aprovou a legislação sobre o ICMS Ecológico em 1993, destinando 0,5% aos municípios que possuem unidades de conservação criadas pelo Estado. No ano de 2006, estes recursos representaram aproximadamente 72.000.000,00 de reais. A SEMA está, com apoio da Aliança para a Mata Atlântica (SOS Mata Atlântica e Conservação Internacional), mais a The Nature Conservancy, FREPESP e WWF, envidando esforços visando aprimorar a legislação estadual, que poderá vir a considerar além das unidades de conservação estaduais, unidades de conservação de outros níveis de gestão, com ênfase nas RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Rio Grande do Sul - O Rio Grande do Sul aprovou o ICMS Ecológico em 1997 através da Lei Estadual n.º 11.038, utilizando para tanto o critério de biodiversidade através das unidades de conservação. O modelo operacional gaúcho é diferente do paranaense e implica na composição do critério ambiental com o critério de superfície territorial municipal. O Estado procura forma de fazer avançar a legislação, deixando mais objetivo o processo de cumprimento em favor da conservação ambiental.

Minas Gerais - foi o terceiro Estado a colocar esse dispositivo em prática, denominando-o de "Lei Robin Hood" (Lei Complementar Estadual n.º 12.040/95). O modelo mineiro aprimora em relação ao paranaense, incluindo outros critérios, como tratamento de lixo, de esgoto, patrimônio cultural, educação, áreas cultivadas, número de habitantes por município, 50 municípios mais populosos, receita própria. Outra inovação diz respeito ao grau da implementação, onde os percentuais aumentam ano a ano, causando menos impactos aos municípios, que antes tinham sua receita potencialmente oriunda do valor adicionado fiscal (LOUREIRO, 1997).

Rondônia - está implantando o ICMS Ecológico criado através da Lei Complementar Estadual n.º 147/96 e calcado apenas no critério referente às Unidades de Conservação e outros espaços especialmente protegidos. Um parâmetro da Lei de Rondônia refere-se à redução do ICMS Ecológico aos municípios cujas Unidades de Conservação sofram invasões ou outros tipos de agressões objetivas, o que no Paraná é tratado, mas apenas através de atos normativos complementares (LOUREIRO, 1997).

Mato Grosso do Sul - Aprovou o ICMS Ecológico no ano de 1994, ficando esta Lei latente até o ano 2000, quando foi regulamentada pela Lei Complementar Estadual n.º 2.193/00. Além dos vários critérios considerados e da graduação de implementação, o Mato Grosso do Sul estabelece condições a que os índices ambientais possam vir a ser modificados durante o exercício civil. Neste momento discute-se na Assembléia Legislativa alterações na legislação atual e alguns setores ambientalistas do Estado demonstram preocupações com possíveis retrocessos.

Mato Grosso - A exemplo do Mato Grosso do Sul, o Mato Grosso aprovou o ICMS Ecológico através da Lei nº 73, de 7 de dezembro de 2000, que orientou a implantação de forma gradual, ou seja, num primeiro momento pelo critério apenas quantitativo, e numa segunda etapa pelo critério qualitativo. Embora utilizando terminologias diferentes, a Lei adota os mesmos procedimentos para os cálculos dos percentuais a que os municípios têm direito que aqueles utilizados no Estado do Paraná. O Decreto Estadual n.º 2.758, de 16 de julho de 2001, que regulamentou a Lei nº 73/00, traz conceitos e orienta procedimentos técnicos e administrativos visando o cumprimento da Lei, além de afirmar a necessidade da qualificação das unidades de conservação, tratar dos compromissos a serem assumidos pelos municípios, criar e organizar o Cadastro Estadual de unidades de conservação, definir os procedimentos de cálculos, a edição, as alterações e democratização de informações referente aos índices. O Mato Grosso teve aprovado em 2004 a Lei 157 e em 2008 está em processo de avaliação e consolidação do ICMS Ecológico.

Pernambuco - O ICMS Ecológico é denominado de "ICMS Sócio-Ambiental", foi aprovado pela Lei Estadual n.º 11.899, de 21 de dezembro de 2000, e destina 12% (doze por cento) a partir do ano 2003 considerando aspectos sócio-ambientais. Destes aspectos, 1% (um por cento) destina-se para os municípios que possuem unidades de conservação e 5% (cinco por cento) devem ser distribuídos de forma igualitária aos municípios que possuam unidade de compostagem ou aterro sanitário controlado.

Amapá - Aprovou o ICMS Ecológico através da Lei Estadual 322, de 23 de dezembro de 1996, no contexto de uma reforma nos critérios de repasse. Em

relação às unidades de conservação segue o modelo de cálculo dos índices realizados no Paraná.

Tocantins - O Estado do Tocantins passou a ter o ICMS Ecológico através da aprovação da Lei nº 1.323, de 04 de abril de 2002. Além dos critérios clássicos utilizados em outros estados, a lei tocantinense utiliza outros critérios tais como: aprovação de legislação ambiental local e dotação orçamentária que resultem na estruturação da Política Municipal do Meio Ambiente e da agenda 21 local, controle de queimadas e combate a incêndios, promoção da conservação e do manejo dos solos, saneamento básico e conservação da água e coleta e destinação do lixo. A inclusão destes critérios na redistribuição do ICMS teria como objetivo fundamental a indução de ação mais efetiva do poder público local e das entidades da sociedade civil, no esforço pela melhoria da qualidade de vida, minimização das desigualdades sociais e erradicação da pobreza, pelo exercício da cidadania. A exemplo do que já existe em outros Estados, o critério unidades de conservação e terras indígenas também estão presentes. O Tocantins utiliza variáveis quantitativas e qualitativas no processo de cálculo dos índices.

Acre - O Acre aprovou o denominado ICMS Verde através da lei nº 1.530, de 22 de janeiro de 2004 e está na fase de regulamentação, devendo ser editado ainda este ano de 2008, para implantação em 2009, um Decreto que objetiva os procedimentos e beneficia os municípios que possuem unidades de conservação, comunidades tradicionais, projetos de assentamentos sustentáveis, entre outros espaços especialmente protegidos. De forma desmedida, o Acre está destinando 20% dos 25% passíveis de serem regulamentados pelo Estado para adoção de critérios ambientais notadamente ligados ao zoneamento. A implantação deste instrumento no Acre se dará de forma gradual e sucessiva em cinco anos, sempre em progressividade.

Rio de Janeiro - O Rio de Janeiro aprovou sua legislação através da lei n.º 5.100, de 04 de outubro de 2007, regulamentado através do Decreto nº 41.101, de 27 de dezembro de 2007. A regulamentação do ICMS Verde no Rio de Janeiro ficou limitada, o que poderá dificultar, por exemplo, o processo de apoio aos proprietários de RPPN (Reservas Particulares do Patrimônio Natural), certamente o Rio deverá

optar por novo processo de regulamentação, a exemplo de outros Estados sob pena de perder o que de mais rico tem este instrumento.

Ceará - Aprovou o ICMS Ecológico através da Lei Estadual n.º 14.023, de 17 de dezembro de 2007, regulamentado pelo Decreto Estadual nº 29.306, de 05 de junho de 2008. O Estado do Ceará incorporou a metodologia utilizada pelo Programa Selo Município Verde no ICMS Ecológico, o que pode ser uma grande contribuição a modernização da gestão ambiental pública no Brasil.

Goiás - O Estado de Goiás aprovou em 2007 emenda na constituição destinando 5% dos recursos passíveis de serem regulamentados por Lei Estadual para o ICMS Ecológico, o que criou as condições para que possa ser aprovada legislação que objetiva a operacionalização do ICMS Ecológico. O Estado está na fase de elaboração do Anteprojeto de Lei e do Decreto regulamentado através da Secretaria de Estado do Meio Ambiente.

Estados que estão debatendo o ICMS Ecológico

Alagoas - Tem proposta em formatação junto a Grupo de Trabalho organizado no seio do Estado, com participação da sociedade civil.

Amazonas - possui minuta de anteprojeto de Lei preparado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente, em debate, necessitando de tramitação interna, especialmente por apoio da Secretaria de Estado da Fazenda.

Bahia - A primeira entidade a se dedicar ao debate sobre o ICMS Ecológico, em parceria com a *Conservation International*, foi o IESB - Instituto de Estudo Sócio-Ambiental do Sul da Bahia (IESB), que além de iniciativas próprias, tem apoiado ações da Assembléia Legislativa e da Associação dos Municípios da Região Cacaueira – AMURC e do Conselho da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. No ano 2000 foi elaborada pela Secretaria de Estado da Fazenda proposta de Lei denominada “ICMS Cidadão”, que além da gestão das unidades de conservação, estabelece critérios relacionados a educação, saúde e saneamento ambiental. Mais recentemente por demanda do CRA foi organizado um Grupo de Trabalho, que deu feições mais atuais a proposta inicial do ICMS Cidadão, tendo

portanto, neste momento, a Bahia uma proposta de Anteprojeto de Lei do ICMS Ecológico a disposição para ser debatida e encaminhada Assembléia Legislativa.

Espírito Santo - Tem proposta em tramitação interna na administração do Estado, que trata fortemente da conservação da biodiversidade, recuperação de áreas degradadas, comunidades tradicionais, entre outros critérios, tem empenho da Secretaria de Estado do Meio Ambiente para aprovação da Lei. Existe no Estado disposição da Amunes para tomar deste debate.

Pará - Já debateu anteprojeto de Lei e tem organizado discussão sobre o assunto, estando em mobilização para o debate de novo anteprojeto de Lei que considere como critério, entre outros o cadastramento Ambiental Rural, uma vez que um dos maiores problemas do Estado é o baixo grau de regularização fundiária, o que limita a regularização ambiental, o Secretário Valmir Ortega vem encetando um conjunto de ações visando a modernização da máquina administrativa ambiental do Estado, dentre elas quero o ICMS Ecológico aprovado até o final de 2008.

Paraíba - Debates incipientes, porém já existente junto ao órgão oficial do meio ambiente, incluindo Seminários realizados.

Santa Catarina - Tem proposta em debate, necessitando de apoio político no Estado, em especial de ajustes junto às lideranças municipalistas. Foi realizado um conjunto de Seminários sobre o tema pela Fatma.

Sergipe - Está se preparando para debater este tema no Estado junto as lideranças, por demanda da SEMARH.

Piauí - A Comissão de Constituição e Justiça (CCJ), da Assembléia Legislativa do Piauí, aprovou em maio próximo passado proposta para criação do ICMS Ecológico no Estado. Na proposta o gestor do ICMS Ecológico será a Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMAR) e premiará os municípios que “avançar nas medidas de proteção ao Meio Ambiente, como ações efetivas de educação ambiental, constituir um conselho municipal de meio ambiente, combater as poluições atmosférica, sonora e visual”, afirma a deputada Lílian Martins, autora da proposta.

Rio Grande do Norte - Por proposição do Deputado Robson Faria, o Estado Rio Grande do Norte tem em tramitação anteprojeto de Lei do ICMS Ecológico, que propõe 5% "a ser repassado destinado aos Municípios que abrigarem, na totalidade ou em parte de seu território, uma ou mais unidades de preservação ambiental públicas e/ou privadas, instituídas nos âmbitos municipal, estadual e federal, considerados os critérios de qualidade a serem definidos e aferidos pelo órgão estadual responsável pela gestão ambiental".

ANEXO B - OPÇÕES DE VENDA DO GÁS DE ATERRO

O objetivo de um projeto de aproveitamento energético do GDL é convertê-lo em alguma forma de energia útil, como eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões e combustível veicular, ou abastecer gasodutos com gás de qualidade. Para maximizar o valor do GDL através da venda do gás de aterro, as principais opções são:

- Uso direto de um gás de médio BTU

O uso mais simples e normalmente de maior custo-efetividade do GDL é como um combustível de médio BTU para caldeiras ou para uso em processos industriais (por exemplo: operações de secagem, operações em fornos, produção de cimento e asfalto). Nesses projetos, o gás é transportado por gasoduto diretamente para um consumidor próximo, para ser usado em equipamentos de combustão novos ou já existentes, em substituição ou como suplemento do combustível tradicionalmente usado. Somente é requerida uma baixa remoção de condensado e um tratamento de filtração, mas podem ser necessárias adaptações ao equipamento de combustão preexistente.

Antes do GDL estar em condições para utilização do consumidor, um gasoduto precisa ser construído para acessar a oferta, sendo que os custos deste variam de US\$ 250.000 a US\$ 500.000 por milha – ou variam de US\$ 155.000 a US\$ 310.000 por quilometro – (Muylaert, 2000) em países como o EUA e Grã Bretanha. Os custos dependem das diferenças de terreno, dos custos de permissão para passagem e outros aspectos locais. Com isso, a proximidade do projeto com o consumidor é essencial para esta opção ser viável. Apesar dos ajustes na caldeira de queima serem feitos normalmente por encomenda, os custos totais de instalação variam de US\$ 120.000 para uma caldeira 10.000 lb/hora a US\$300.000 para uma caldeira 80.000 lb/hora nesses países. Considera-se que os custos para a construção do gasoduto corresponde a um terço do total (Muylaert, 2000). Os

custos de operação e manutenção associados ao uso de caldeiras, fornos, secadoras e outros equipamentos industriais são equivalentes aos custos de O & M quando são usados combustíveis convencionais.

Com isso, foi feita uma análise de investimentos, elevando o aporte inicial em 30%. Além disso, ao invés de se colocar no fluxo de caixa receita com a venda de energia, foi utilizada a tarifa atualizada da CEG para o Consumidor livre (foi escolhido o setor petroquímico [tarifa sem imposto é R\$ 0,214 ou U.S.\$ 0,086 - tarifa em dólar que foi usada no EVTE], pois existe a possibilidade da Petrobras adquirir o gás de lixo de Gramacho, devido à proximidade entre a REDUC e o aterro). Com isso, calcula-se a receita do projeto com a venda de gás para a rede e obtenção de créditos de carbono. Diante desse cenário exposto, na Tabela 62 temos a análise de investimentos com o Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno para diversas análises de sensibilidade realizadas.

Tabela 62: Análise de Investimentos para o uso direto de um gás de médio BTU

Valor do Investimento Inicial	Valor Percentual do Investimento Inicial de capital (%)	CER (U.S. \$/ton. CO ₂ equivalente)	VPL	TIR
R\$ 20.169.344	100	8	\$ (629.743)	7,30%
R\$ 20.169.344	100	10	\$ 6.675.134	13,3%
R\$ 20.169.344	100	11	\$ 10.327.573	15,50%
R\$ 20.169.344	100	13	\$ 17.632.451	19,00%
R\$ 20.169.344	100	15	\$ 24.937.328	22,00%
R\$ 20.169.344	25	8	\$ (1.750.262)	-
R\$ 20.169.344	25	10	\$ 5.554.615	17,70%
R\$ 20.169.344	25	11	\$ 9.207.054	21,30%
R\$ 20.169.344	25	13	\$ 16.511.932	26,90%
R\$ 20.169.344	25	15	\$ 23.816.809	31,30%

Conclui-se que nessa opção, o projeto será viável a partir da taxa de Créditos de Carbono no patamar de U. S. \$10 ton.CO₂ equivalente.

- Venda de gás de qualidade através de gasodutos

Outra opção de projeto é a depuração do GDL para um produto de alto BTU (gás natural) para injeção em um gasoduto. Por causa do seu **alto custo de capital**, essa opção só terá viabilidade técnica e econômica para aterros sanitários com substancial recuperação de gás, isto é, pelo menos quatro milhões de pés cúbicos/dia (**113 mil m³/dia**) (Muylaert, 2000). Por isso, devido ao custo de oportunidade, muitas empresas preferem outras opções de aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos como a produção de energia.

Essa aplicação requer um tratamento de gás para remover CO₂ e impurezas relativamente intensivas. Em adição, as companhias de gás requerem que as injeções de gás em seus sistemas de gasoduto atendam a exigentes padrões de qualidade, o que pode requerer controles adicionais. De qualquer forma, essa pode ser uma opção atrativa para proprietários de aterros sanitários, desde que seja possível utilizar todo o gás recuperado. A depuração do gás exigirá significativa compressão a fim de atender à pressão no gasoduto no ponto de conexão. Gasodutos de alta pressão requerem de 300 a 500 psig (*pounds per square inch gauge* – libras por polegada quadrada manométrica, ou seja, medida de pressão pura sem considerar a exercida pela atmosfera), enquanto os de média e baixa podem requerer de 10 a 30 psig. (BNDES Setorial, 2008).

Essa opção para o caso do Aterro de Gramacho será viável a venda de gás do ano de 2010 a 2019, de acordo com as informações expostas na Tabela 58. A partir do ano de 2020, o aterro de Gramacho terá uma recuperação de gás insuficiente para viabilizar essa opção, isto é, o Aterro de Gramacho terá uma recuperação de gás abaixo do patamar de pelo menos quatro milhões de pés cúbicos/dia (**113 mil m³/dia**). Nota-se que o aproveitamento do GDL na opção produção de energia proporciona um projeto viável com receitas num período de 15 anos em detrimento dessa opção que são cerca de 10 anos.

Tabela 63: Recuperação de Biogás prevista

Recuperação de Biogás Previsto		
Anos	(m ³ /h)	(m ³ /dia)
1993	0	0
1994	0	0
1995	0	0
1996	18	443
1997	25	595
1998	30	724
1999	34	822
2000	38	901
2001	40	971
2002	43	1.023
2003	45	1.073
2004	46	1.101
2005	47	1.130
2006	48	1.152
2007	48	1.160
2008	49	1.179
2009	50	1.190
2010	22.370	536.891
2011	19.197	460.722
2012	16.383	393.183
2013	13.981	335.545
2014	11.931	286.356
2015	10.182	244.378
2016	8.690	208.553
2017	7.416	177.981
2018	6.329	151.890
2019	5.401	129.624
2020	4.609	110.622
2021	3.934	94.405
2022	3.357	80.566
2023	2.865	68.755
2024	2.445	58.676