

UNIVERSIDADE PAULISTA - UNIP

**A OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM ATERROS SANITÁRIOS: O CASO
ATERRO BANDEIRANTES**

MARISE DE BARROS MIRANDA GOMES

Tese apresentada ao Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP para obtenção do título de doutor em Engenharia de Produção

SÃO PAULO

2013

UNIVERSIDADE PAULISTA - UNIP

**A OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM ATERROS SANITÁRIOS: O CASO
ATERRO BANDEIRANTES**

MARISE DE BARROS MIRANDA GOMES

Tese apresentada ao Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP para obtenção do título de doutor em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Engenharia de Produção.

Linha de Pesquisa: Redes de Empresa e Planejamento da Produção.

Orientador: Professor Doutor José Benedito Sacomano

**SÃO PAULO
2013**

Gomes. Marise de Barros Miranda

A otimização da produção de energia elétrica em aterros sanitários: o caso aterro bandeirantes. / Marise de Barros Miranda Gomes. – São Paulo, 2013.

147f. : il. color.

Tese (doutorado) – Apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2013.

Área de Concentração: Redes de Empresa e Planejamento da Produção.

“Orientação: Prof. Dr. José Benedito Sacomano”

1. Cadeia produtiva. 2. Aterro sanitário. 3. Otimização da produção. 4. Usinas geradoras de energia elétrica. I. Título.

**A OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM ATERROS SANITÁRIOS: O CASO
ATERRO BANDEIRANTES**

MARISE DE BARROS MIRANDA GOMES

Tese apresentada ao Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP para obtenção do título de doutor em Engenharia de Produção.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. (Orientador) José Benedito Sacomano
Universidade Paulista - UNIP

Prof. Dr. Osvaldo Elias Farah
Universidade Federal de São Carlos – UFScar

Prof. Dr. Milton de Abreu Campanario
Universidade de São Paulo – USP

Prof. Dr. Ivanir Costa
Universidade Paulista - UNIP

Prof. Dr. Rodrigo Franco Gonçalves
Universidade de São Paulo - SP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus amados filhos, que compartilharam silenciosamente com minhas horas de estudo e meu mergulho nesta pesquisa. Pacientes, permaneceram ao meu lado nos momentos mais difíceis, atravessando uma jornada, cuja insanidade muitas vezes parecia ter vencido.

AGRADECIMENTOS

Existem momentos em que deparamos com pessoas em nosso caminho que fazem simplesmente a diferença. São só momentos. Projetos, estudos, alguma coisa que naquele delta t focaram no mesmo objetivo. É somente isto que nos leva a finalização de um objetivo comum, uma meta, um propósito. Isto sim é a vida eterna depois que não estamos mais aqui. Mas deixamos para nossos filhos, nosso marido, nosso pai e mãe, nossos irmãos e irmã, nossos amigos e colegas que convivemos, o respeito, a admiração, a conquista conjunta de um professor.

Prof Dr. José Benedito Sacomano e Prof Dr. Ivan Persio de Arruda Campos, meus respeitosos agradecimentos, a jornada não termina aqui, aprendi com vocês que ela está apenas começando.

RESUMO

A questão dos resíduos sólidos no Brasil vem sendo discutida pela sociedade ao longo dos anos. Abrange áreas de saneamento, economia, sociologia, energia e neste contexto, a engenharia de produção. Resíduos em aterros geram emissões de gases perigosos à população e ao meio ambiente.

Este trabalho apresenta o potencial de biogás em aterros de resíduos sólidos urbanos, em função de estimativas realizadas e tomando como base experiências internacionais que não apresentaram resultados satisfatórios.

A Alemanha é reconhecida pelas melhores práticas de mitigação do metano (CH₄). Utiliza o processo de incineração na gestão dos resíduos sólidos urbanos e industriais, antes da disposição nos aterros. No entanto, é o país da União Europeia que mais gera resíduos domésticos. A incineração de resíduos, amplamente estabelecida por todo o país, gera 86% de potencial de aquecimento global que os biodigestores.

Os Estados Unidos tem em operação, 375 projetos de valorização do gás de aterro sanitário para produção de energia elétrica e 33 projetos em construção, destes a maioria com registro em 2012. Existem esforços e iniciativas próprias que valorizam a queima do metano para a geração de energia elétrica.

No Brasil, existem poucos projetos de aproveitamento energético do metano. Localizam-se no eixo sul e sudeste sendo que alguns apresentam dificuldades técnicas por conta de falhas na previsão da produção de gás de aterro. Especificamente, o país conta com 3 projetos de valorização de resíduos para produção em larga escala de energia. Dentre os quais, o objeto deste estudo de caso, a Usina de Biogás Bandeirantes em São Paulo.

A pesquisa aborda a otimização do antigo aterro sanitário Bandeirantes. Que a partir de 2008, passou a gerar energia e a denominar-se como usina. A pesquisa aponta os estímulos na produção de energia elétrica e de créditos de carbono, a partir da queima do metano. O estudo de caso é um cenário dinâmico que sofreu modificações ao longo do seu ciclo produtivo, inicialmente como um local apenas de acúmulo de resíduos, após muitos anos, passou a gerar eletricidade.

Dentro dessa perspectiva, o trabalho apresenta estudos da valorização de resíduo, como um potencial ainda pouco explorando como insumo energético. Os locais de disposição de resíduos devem fazer parte de sistemas produtivos para fornecimento de energia. Porém, exigem estudos de estimativas complexas. Por meio das simulações, revelaram-se possibilidades de otimização da produção de gás, das quais 1,5 Tera Watts hora deixaram de serem produzidas.

A partir, do estudo de caso Aterro Bandeirantes, foi possível simular parcialmente o cenário principal, como o potencial de geração de metano, e conseqüentemente, a valorização deste como energia elétrica.

Nas simulações realizadas estimou-se a quantidade de energia elétrica que deixou de ser produzida e uma provável mitigação de toneladas de dióxido de carbono equivalente. O metano é cerca de vinte e uma vezes mais poluente que o dióxido de carbono. Sua destruição ou queima compensa os danos ambientais. O metano convertido em energia elétrica gera créditos de carbono comercializáveis, principalmente nos países desenvolvidos.

A falta de históricos dos materiais orgânicos e inorgânicos depositados no aterro, associados ao tipo de clima, a precipitação de chuvas ou a compactação dos solos dificultou as estimativas desse processo produtivo de energia. A simulação possibilitou a parametrização de diferentes condições que afetaram a produção do metano. Ajustes foram incluídos para compensar atrasos e interferências que afetam a cinética do gás.

A pesquisa apontou que o ciclo de vida produtivo do aterro Bandeirantes está dividido em 4 fases. Estas 4 fases representam a dinâmica do aterro. Ao longo de 51 anos, passou de lixão, depois como aterro controlado por 11 anos. Com a licença de operação passou a ser aterro sanitário. A partir de 2008 passou a operar como produtor independente e fornecedor de energia elétrica. Cujas expectativas, desta última fase, está estimada para expirar em 2030. O maior pico de produtividade, de geração de metano, tem registro em 2004, quando ainda operava como aterro sanitário.

Palavras-chave: Cadeia produtiva; Aterro Sanitário; Otimização da produção; Usinas geradoras de energia elétrica.

ABSTRACT

The issue of solid waste in Brazil has been discussed by society over the years. It covers the areas of sanitation, economics, sociology, energy, and in this context, production engineering. Waste landfills generate emissions of gases harmful to people and the environment.

This paper presents the potential of biogas in municipal solid waste landfills, according to estimates made and building on international experience that showed no satisfactory results.

Germany is recognized for best practices for mitigation of methane (CH₄). Uses the incineration process in the management of municipal solid waste and industrial, before being landfilled. However, it is the European Union that generates more household waste. Waste incineration, widely established throughout the country, generates 86% of global warming potential that the digesters.

The United States has in operation 375 projects valuation of landfill gas to produce electricity and 33 projects under construction, with the majority of these registry in 2012. There own efforts and initiatives that value the burning of methane to generate electricity.

In Brazil, there are few projects energy use of methane. Located in the southern and southeastern and some technically difficult due to failures in forecasting the production of landfill gas. Specifically, the country has three waste recovery projects for large-scale production of energy. Among which, the object of this case study, the Biogas Plant Bandeirantes in Sao Paulo.

The research addresses the optimization of the former landfill Bandeirantes. That starting in 2008, began generating power and styling as plant. The research points to the stimuli in the production of electricity and carbon credits from the burning of methane. The case study is a dynamic environment that has undergone changes over the cycle, initially as a local accumulation of waste only after many years, began generating electricity.

This perspective, the work presents studies of recovery of waste as a potential for further exploring energy input. The waste area disposal should be part of

production systems for energy supply. However, studies require complex estimates. Through simulations, proved possibilities for optimization of gas production, of which 1.5 Tera Watt hour no longer be produced.

From, the case study Bandeirantes Landfill was possible to simulate partially the main scenario, the potential methane generation, and consequently, the value of this as electricity.

In the simulations we estimated the amount of electricity which is no longer produced and likely mitigation tons of carbon dioxide equivalent. Methane is around twenty-one times more polluting than carbon dioxide. Destruction or burning compensates for environmental damage. Methane converted into electrical energy generates carbon credits tradable in developed countries.

The lack of history of organic and inorganic materials deposited in the landfill associated with the type of weather, rain precipitation or difficult soil compaction estimates that energy production process. The simulation enabled the parameterization of different physical and chemical conditions that affected the production of methane. Adjustments are included to compensate for delays and interferences that affect the kinetics of gas.

The survey showed that the productive life of the Bandeirantes landfill is divided into 4 phases. These four phases represent the dynamics of the site. Over 51 years, went to the dump, then as a landfill for 11 years. With an operating license has become landfill. From 2008 began operating as an independent producer and supplier of electricity. Whose expectation of this last phase is estimated to expire in 2030. The highest peak productivity, methane generation is on record in 2004, when it was still landfill.

Keywords: Production chain; Landfill; Optimization of production; plants generating electricity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de blocos ilustrativo de um processo produtivo genérico.....	29
Figura 2 – Diagrama de blocos ilustrativo de um processo produtivo final do RSU ..	30
Figura 3 – Estação de Transbordo da Ponte Pequena, Bairro de Bom Retiro, Cidade de São Paulo.....	39
Figura 4 – Distribuição da Concessão de coleta de resíduos na Cidade de São Paulo por sub distrito comparativamente	41
Figura 5 – Esquema de projeto de energia utilizando a	46
Figura 6 – Vista da área em declive do aterro Bandeirantes desativado	47
Figura 7 – Esquema técnico da Usina de Gás e a disposição das células	48
Figura 8 – Vista dos modais de transporte do biogás	49
Figura 9 – Vista dos 4 trocadores de calor na entrada da Usina de Biogás Bandeirantes	50
Figura 10 – Vista dos 4 sopradores após a etapa dos trocadores de calor.....	50
Figura 11 – Vista do resfriador para retirada do condensado após a etapa dos sopradores	51
Figura 12 – Planta de Tratamento do Biogás e Planta de Geração de Eletricidade..	52
Figura 13 – Vista do motor de sucção, pré-pressão e ventiladores.....	53
Figura 14 – Vista dos dois flares	54
Figura 15 – Vista do Sistema CLP, mostrando os 24 motores em operação, sendo 2 deles de funcionando como redundância	54
Figura 16 – 4 etapas de processo Planta Usina Bandeirantes.....	107
Figura 17 – Simulador Modulo Gas (parcial).....	112
Figura 18 – Potencial de geração do metano teórico (estimado)	123

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Emissões globais GEE de 2004.....	34
Gráfico 2 – Geração de eletricidade por hidroelétrica e outras fontes renováveis nos EUA.....	63
Gráfico 3 – Contribuição das energias renováveis, desconsiderando as hidroelétricas, nos EUA.....	64
Gráfico 4 – Projeção da capacidade de geração de eletricidade renovável por fonte de energia, 2010-2035.....	65
Gráfico 5 – <i>Recovery and discards of materials in MSW, 1960 to 2010. Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States, december, 2011</i>	66
Gráfico 6 – Aterros Sanitários com produção de energia.....	80
Gráfico 7 – Tratamento e recuperação de RSU na Alemanha.....	82
Gráfico 8 – Geração de resíduos domésticos em alguns países da Europa em milhões de toneladas/ano.....	83
Gráfico 9 – Produção de Energia (Elétrica ou térmica) em Usinas de Aterros Sanitários na Alemanha de 2004 a 2009.....	85
Gráfico 10 – Variação do consumo de energia (MWh).....	90
Gráfico 11 – Consumo de energia por classe de atividade – Compilação própria....	91
Gráfico 12 – Resultado da matriz L_0'	108
Gráfico 13 – Resultado da matriz L_0	109
Gráfico 14 – Resultado 2º caso - L_0	110
Gráfico 15 – Resultado 3º caso - L_0	111
Gráfico 16 – Resultado da matriz L_0'	114
Gráfico 17 – Resultado da matriz L_0' - somente aterro controlado Bandeirantes....	114
Gráfico 18 – Gás perdido para geração de energia elétrica.....	116
Gráfico 19 – Simulação da estimativa de Potencial de Geração de gás metano....	121
Gráfico 20 e 21 – Ciclo de vida da Usina Bandeirantes.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa de locais para disposição de Resíduos Sólidos de diferentes fontes geradoras	21
Tabela 2 – Adaptação resumida do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares de 2006.....	26
Tabela 3 – Fonte emissora dos GEEs.....	35
Tabela 4 – Localização das áreas de transbordo dos resíduos sólidos da Cidade de São Paulo.....	40
Tabela 5 – Destino final dos resíduos sólidos por unidade de destinação dos resíduos em escala nacional.....	42
Tabela 6 – Normas e Base legal para aterros sanitários.....	44
Tabela 7 – Escala de Parametrização para o IQR	45
Tabela 8 – Empreendimentos em Operação de Usinas Termelétricas por tipo no Brasil. Adaptado de ANEEL	59
Tabela 9 – Fragilidades e Recomendações para regulação do setor de geração de eletricidade através de gás de aterro	70
Tabela 10 – Previsão de Créditos de Carbono - demanda de biogás para o período de 2004 – 2010	73
Tabela 11 – Memória anual das convenções e encontros relacionados com as mudanças climáticas e GEE.....	76
Tabela 12 – Produção de energia elétrica a partir de resíduos, de 2002 a 2012	86
Tabela 13 – Demanda de Consumo de Energia Elétrica no Brasil – de 2004 a 2013 (somente o 1º quadrimestre) – Compilação própria	93
Tabela 14 – Fator de emissão FE	100
Tabela 15 – Relação entre FE e FEC	101
Tabela 16 – Faixas de valores para variáveis L_0 e k	102
Tabela 17 – Índice de Potencial de Aquecimento Global.....	105
Tabela 18 – resultado da simulação para L_0' (m^3/ton).....	108
Tabela 19 – Categorização para cálculo do potencial de gás	113
Tabela 20 – Resultado da simulação para L_0' (m^3/ton)	115
Tabela 21 – Potencial de geração de energia RSU	124

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BLFGE - *Bandeirantes Landfill Gas to Energy Project*

CDM - *Clean Development Mechanism*

CER – Créditos de Redução Certificados

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CLP – Controlador Lógico Programável

CRC_{eq} - Créditos de Carbono equivalentes

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DOU – Diário Oficial da União

Ep1 – expressão 1

GEE - Gases de Efeito Estufa

GFCI - *Global Financial Centres Index*

GWP - *Global Warming Potential*

IRQ – Índice de Qualidade de Aterro de Resíduo

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

LMOP - *Landfill Methane Outreach Program*

MMA - Ministério do meio Ambiente

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MW – *Mega Watts*

Patm – Pressão atmosférica

PLC – *Programmable Logic Control*

PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SCADA - *Scada Supervisory Control and Data Acquisition*

tCO_{2e} - toneladas de carbono equivalente

TW – *Tera Watts*

UNFCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*

UTE – Unidade de Tratamento e Esgoto

W - *Watts*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	15
1.1 O problema que envolve a pesquisa	16
1.2 Questões da pesquisa	22
1.3 Objetivos da pesquisa.....	24
1.3.1 Objetivo geral	24
1.3.2 Objetivos específicos.....	24
1.4 Hipóteses do trabalho	25
1.5 Cenário da Pesquisa.....	25
1.6 Justificativa	27
1.7 Delimitação do Escopo da Pesquisa	28
1.8 Estrutura do Trabalho	32
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	33
2.1 O metano e os Gases de Efeito Estufa – GEE	33
2.1.1 Aterros Sanitários	36
2.1.2 Definições.....	36
2.1.3 Estações de Transbordo e abrangência da coleta de RSU na Cidade de São Paulo	39
2.1.4 Classificação das unidades de destino final de resíduos	41
2.1.5 Classificação do Índice de Qualidade das condições ambientais e sanitárias dos locais de destinação final de resíduos sólidos domiciliares	43
2.2 Caracterização da Usina do Aterro Sanitário Bandeirantes.....	46
2.2.1 Aspectos físicos do Aterro Bandeirantes.....	46
2.3 Considerações sobre a produção e regulação de gás de aterros para geração de electricidade	55
2.4 Considerações sobre Metodologias MDL aplicadas em aterros sanitários.....	72
2.5 Geração de Energia Elétrica	87
2.5.1 Matriz energética	88
2.5.2 Potencial energético brasileiro	90
2.5.3 Estimativa da produção de gás metano em aterros	95
2.5.4 Modelo para estimação da produção de gás metano em aterros.....	96

2.5.5	Parâmetros da modelagem para estimação da produção de gás metano em aterros.....	99
2.5.6	Simulação da estimação da produção de gás metano na Planta Usina Bandeirantes.....	106
CAPÍTULO 3 – SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO QUE DENOTA A OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA ATERRO SANITÁRIO – CASO BANDEIRANTES.....		113
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA DA PESQUISA		118
4.1	Classificação da pesquisa	118
4.2	Método e procedimento	119
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS DO POTENCIAL DO ATERRO SANITÁRIO BANDEIRANTE - MODELO EXPERIMENTAL SIMULADO		121
CAPÍTULO 6 – RESULTADOS DA PESQUISA REALIZADA FRENTE AO MODELO EXPERIMENTAL SIMULADO NOS 4 GRUPOS E CONCLUSÕES.....		124
REFERÊNCIAS.....		126
ANEXO		137

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Atualmente as megalópoles de todo mundo deparam-se com a geração de resíduos sólidos. A consequência da intensa urbanização e a busca por diferentes soluções objetivam mitigar os danos causados ao ambiente. Muitas soluções são as boas práticas na valorização desses resíduos.

Ao longo destes anos, o Brasil e o mundo concentram esforços e estudos no tema que desafia a todos: os resíduos sólidos, (JARDIM, 2012). No seu gerenciamento, deve ser observada uma ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, tratamento e disposição final ambientalmente adequada. O mesmo autor cita ainda, com base na legislação alemã, que os resíduos não evitáveis têm de ser valorizados, na forma de recuperação de material ou valorização energética.

No Brasil, apesar da instalação de medidas de coleta seletiva, grande parte dos resíduos não é direcionada para reciclagem. Dentre os desafios comuns, é preciso considerar a especificidade da cultura do descarte relacionada ao desenvolvimento econômico. A relação entre desenvolvimento econômico e geração de resíduos é direta. O aumento do poder aquisitivo, somado ao aumento da população e o crescente consumo de materiais descartáveis, contribuem para o problema do esgotamento dos aterros sanitários e a poluição gerada pela disposição indevida, (DIAS, 2012).

Embora a manutenção dos aterros sanitários seja considerada cara para os municípios, a resolução 404 do Conselho Nacional do Meio Ambiente e a lei 11.107/2005, complementares entre si, auxiliam em estratégias de redução de gastos pelo compartilhamento de aterros sanitários entre municípios de uma mesma região, (DOU BRASIL, 2005 e CONAMA, 2008). A primeira estabelece um conjunto de diretrizes para a obtenção do licenciamento ambiental dos aterros de pequeno porte, e segunda define normatizações para a gestão em consórcio intermunicipal (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2004).

Segundo MMA (2013), estima-se que o Brasil tenha 1.723 aterros sanitários. O solo é preparado para que o lixo não afete o meio ambiente, não cause maus odores, não contribua para a poluição visual ou a proliferação de animais. Quando

os resíduos são decompostos, gera chorume. Um líquido poluente, gás metano, além de outros poluentes. O metano polui e é cerca de 20 vezes pior para o clima da Terra do que a emissões de gás carbônico.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2007,1997) publicou os valores potenciais de aquecimento global para os gases de efeito estufa (GEEs). Esses valores oficiais são adotados por *United States Environmental Protection Agency* - USEPA (2012). As duas entidades mantêm a mesma norma técnica. O potencial de aquecimento global (*Global Warming Potential* - GWP) do metano é 21 vezes mais elevado que o dióxido de carbono (CO₂).

Foram encontradas divergências na literatura, em relação ao valor de potencial de aquecimento global do metano. As divergências podem ocorrer por conta da interpretação da norma. Há uma relação dos valores de GWP e o seu ciclo de vida. Para um GWP = 21 ou 25, o ciclo de vida é de ± 100 anos, para um GWP = 72, o ciclo de vida do metano cai para ± 20 anos. Alguns autores citam adequadamente a preocupação à curto prazo com o CH₄, as interpretações podem depender do conhecimento e entendimento da norma. Neste trabalho, a norma técnica será a referencia, portanto, considera-se o GWP de CH₄ = 21.

1.1 O problema que envolve a pesquisa

Bolsões de disposição de resíduos foram constituídos a margem de locais distantes dos grandes centros urbanos e em áreas abertas. Em São Paulo, no caso específico, em áreas de proteção aos mananciais, por conta da proteção ambiental, instituída em 1977, impondo restrições ao uso e ocupação do solo. Isto gerou uma ocupação desordenada em locais clandestinos, (JACOB, 2006).

Como consequência, para Jacob (2006), ações de despejo de substâncias poluentes juntamente com resíduos sólidos nos corpos d'água e nos espaços próximos aos centros urbanos, não foram previstas. Esses bolsões de resíduos provocaram o crescimento de moradias das populações mais carentes, que por vezes serviram-se dos materiais ali depositados para sua sobrevivência e supressão de necessidades básicas.

Estas práticas foram abandonadas na medida em que as cooperativas coletivas de reciclagem ganharam espaço. Com o trabalho organizado, as pessoas saíram dos bolsões em condições de miserabilidade para a geração de renda e melhores condições laborais, (JACOB, 2006, *apud* JACOBI, 2001).

Barros (2011) caracteriza a cidade de São Paulo, em consequência ao desencadeamento industrial no século XX, pela sua desigualdade socioambiental; pobreza, degradação dos recursos naturais, alto contingenciamento populacional nas zonas da periferia, renda salarial mais proeminente do país, elevado valor venal imobiliário; qualidade do ar, taxa de impermeabilização do solo e, temperaturas aparentes diferenciadas, relacionadas aos aspectos geomorfológicos e também ao processo de urbanização acelerado.

Estas adversidades provocam ainda um conseqüente aumento no volume de resíduos sólidos urbanos e ademais, a necessidade de consumo de energia para poupar as elevadas temperaturas e aumentar o conforto pelo uso de eletrônicos e automação.

De acordo com os dados de IBGE (2008), a taxa de urbanização, que considera a proporção entre a população da área urbana em relação à população total, no Brasil, saiu de 31,24 % em 1940, chegando a 83,48 % em 2007.

Se considerar somente a região sudeste do país, saltou de 39,42% para 92,03 % no mesmo período. Isto significa que ao longo de quase 70 anos houve um aumento médio da população nas regiões urbanas de 250,6%.

O desafio da sustentabilidade urbana, nas percepções de Lobo e Matos (2010), e Gonçalves (2010), passaram a ocupar destaque e prioridade, extrapolando a questão estratégica, e acercando-se da qualidade de vida e saúde pública.

Não obstante, a temática sobre o desmatamento dos aglomerados urbanos, mudanças climáticas provocadas pela acelerada densidade imobiliária, proteção da biodiversidade que vive em meio a esses polos de concreto, a agricultura sustentável local gerando mecanismos de abastecimento diários qualificados, continuam na agenda dos governos como ações estratégicas prioritárias, (NETO e BÓGUS, 2003).

A **agenda marrom**, como define MMA (2004), apresenta a origem dos problemas ambientais urbanos como uma função do relacionamento entre assentamentos humanos e seu suporte físico, ou seja, a infraestrutura. O comprometimento dos recursos naturais nas cidades está associado à precarização da qualidade de vida das populações urbanas.

O lixo e o esgoto fazem parte da agenda marrom, que deriva da **Agenda 21**, no sentido de promover a existência integrada de infraestrutura ambiental, envolvendo a água, o saneamento, a drenagem e o manejo de resíduos sólidos (MMA, 2004).

Outras questões urbanas relevantes estão relacionadas com os requisitos ambientais e as políticas públicas em relação ao lixo, destaca Jardim *et al* (2012). Como a qualidade do ar, relacionada aos modais de mobilidade e as fontes de energia por eles utilizadas; o manejo das águas pluviais e a drenagem urbana; a ocupação dos mananciais e os riscos de desastres naturais em relação às áreas de proteção ambientais permanentes; e não menos importante, a difícil relação entre a construção sustentável e a preservação de espaços verdes no meio urbano.

Para Monteiro *et al.* (2001), a definição de lixo é melhor expressa em acordo com o Dicionário de Aurélio Buarque de Holanda, "lixo é tudo aquilo que não se quer mais e se joga fora; coisas inúteis, velhas e sem valor."

O lixo é definido por ABNT (1985) como os "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."

Monteiro *et al.* (2001), reforça que publicações sobre resíduos sólidos se utilizam indistintamente dos termos "lixo" e "resíduos sólidos".

No manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos, Monteiro *et al.* (2001) resume que resíduo sólido simplesmente "*lixo*" é todo material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta, em qualquer recipiente destinado a este ato. Porém evidencia a relatividade da característica do inservível do lixo, pois aquilo que já não apresenta

nenhuma serventia para quem o descarta, para outro pode se tornar matéria-prima para um novo produto ou processo.

Eigenheer (2009) enfatiza que o termo resíduo sólido é utilizado a partir do século XX. No entanto, a autora deste trabalho destaca que os termos lixo ou resíduos, são descritos conforme citado nos trabalhos originais dos autores referenciados.

Nesse sentido, a ideia do reaproveitamento do lixo é um convite à reflexão do próprio conceito clássico de resíduos sólidos, passando neste trabalho a adotar-se o termo: resíduos sólidos (material orgânico e inorgânico).

Eigenheer (2009) aponta que na década de 1970 foi implantada a Usina de Irajá, e, em 1992, a do Caju, ambas no Rio de Janeiro. Disseminadas pelo país, essas usinas não constituíram experiências bem sucedidas como em outros países.

Neto e Bógus (2003) descrevem que o processo de incineração, historicamente, uma opção para o lixo era cara e restavam cinzas e elementos que não foram consumidos pelas altas temperaturas, sem técnica de tratamento, em última instância, era encaminhado para os vazadouros.

Atualmente a incineração é adotada, em geral, para resíduos perigosos, como os da saúde, e é um processo de destruição térmica pela queima, com temperaturas altas em torno de 1000 a 1300 ° C ¹, (CONAMA, 1991).

No processo de incineração os resíduos são decompostos, desprendendo calor e gerando cinzas, transformando-se em resíduo inerte, resultando na destruição completa e segura. Apresenta a vantagem de reduzir o volume dos resíduos e destruir os microrganismos que causam doenças, contidos principalmente nos resíduos hospitalares e industriais (FRANCHI, 2011).

A coleta seletiva foi implantada no Brasil a partir de 1985, descreve Eigenheer (2009), inicialmente no bairro de São Francisco, em Niterói. Foi uma iniciativa do Centro Comunitário de São Francisco, uma associação de moradores em conjunto

¹ Resolução CONAMA nº 008, de 19 de setembro de 1991, e Portaria Normativa no. 138-N, do IBAMA, de 22 de dezembro de 1992, define sobre resíduos perigosos e Norma ABNT 11175 Padrões de desempenho para incineração de resíduos perigosos.

com Universidade Federal Fluminense. Em 1988, Curitiba se torna a primeira cidade a ter o segundo sistema implantado, completa o mesmo autor.

A descentralização político administrativa brasileira, depois de longo período de ditadura militar, de 1964 até 1984, aponta para a materialização do processo regulatório do saneamento ambiental. No qual a responsabilidade passa para o Estado, inscrito na Constituição Federal de 1988, explícitos nos artigos 21 e 175, como responsável quanto à definição de diretrizes a provisão do saneamento básico como um direito de todo cidadão (BRITTO *et al* 2001).

Em IBGE (1989), no manual de instruções, os dados coletados quanto à limpeza pública e coleta de lixo, apresentavam a descrição do termo aterro sanitário. O PNSB (2008) evidenciava que a cidade de São Paulo teve o primeiro projeto de coleta seletiva brasileira, durante a gestão da prefeita Luiza Erundina (1989-1992), sem incorporar a atividade dos catadores de maneira oficial.

Conforme PNSB (2008), em 1990 foram atendidas 60 mil casas no programa PEV – ponto de entrega voluntária, dos quais, parques, supermercados e escolas faziam parte. Na gestão seguinte, de 1993 a 1996, o programa foi encerrado, a população misturava recicláveis recolhidos com o lixo comum, e assim jogados no aterro Bandeirantes.

Embora a proposta tenha caído no descrédito, iniciativas foram retomadas pelas entidades de diferentes atividades com o objetivo comum de reciclar. Assim como Bandeirantes, os aterros sanitários eram o destino de resíduos sólidos em 27 % das cidades brasileiras, de acordo PNSB (2008).

Porém, Ventura (2009) descreveu que a produção diária de resíduos domiciliares no Brasil, estava por volta de 600g/habitante, no entanto algumas cidades da região Sul e Sudeste, como São Paulo, Rio de Janeiro e Curitiba, apontavam maiores taxas de produção diária de resíduos urbanos, chegando a 1,3 kg por habitante.

Em 2010 foi elaborada a norma técnica que definiu regras para a criação de aterros sanitários de pequeno porte. A norma permite a adoção de soluções adequadas com a realidade geográfica de cada município, facilitando a construção dos aterros e impedindo a proliferação dos lixões, (ABNT, 2010).

MMA (2010) definiu, quantificou e regulamentou os locais de disposição de resíduos urbanos, apresentados na Tabela 1. Hoje ainda restam 2960 lixões no Brasil, porém a **Lei 12.305**, que instituiu a **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, publicada em 2 de agosto de 2010, tem como meta até 2014, erradicar os locais impróprios em que se despeja o lixo.

Tabela 1 – Estimativa de locais para disposição de Resíduos Sólidos de diferentes fontes geradoras

Tipo existente no Brasil	Definição segundo MMA	Quantos existem no Brasil?
Aterro Sanitário	Terreno local preparado para receber adequadamente os resíduos sólidos sem prejudicar o meio ambiente	1723
Aterro Controlado	Área que está em fase intermediária entre lixão e o aterro sanitário. Normalmente é um antigo lixão que passou a receber preparação para tratar o lixo	1130
Lixão	Área que recebe resíduos sólidos sem nenhuma preparação para evitar consequências ambientais e sociais negativas	2960

Fonte: MMA: Plano Nacional de Resíduos Sólidos 2010

Em DOU (2011), estão previstos mecanismos a serem implantados em relação à valorização dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no que concerne a produção de energia elétrica.

O estudo apontado por DOU (2011) envolve a implantação de estratégias, para apropriação e comercialização de energia. Essa energia é resultante do aproveitamento dos gases produzidos, em algumas das experiências dos 1723 aterros sanitários, podem advir de ações das bactérias na ausência de oxigênio em sua biomassa e ainda de estações de tratamento anaeróbico de seus efluentes.

Segundo DOU (2011), estão previstas propostas para apoiar iniciativas de valorização do RSU para aproveitamento de eletricidade, vapor, combustível veicular, dentre outras formas de energia. Reforça mais ainda, iniciativas de aproveitamento do biogás produzido em aterros desativados.

De uma maneira geral, conforme MMA (2010), a destinação de resíduos finais, ambientalmente adequada, como trata a Lei 12.305, inclui a reutilização, a

reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes.

Em resumo, a temática que trata desde a fonte geradora de resíduo, seja a indústria, o domicílio ou o comércio, até o destino final é complexa. O extenso escopo da cadeia de RSU exige planejamento eficiente e sistemático. Envolve a segregação, coleta, transporte, transbordo, triagem, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos. No qual o foco principal deste trabalho tratará apenas a última etapa do processo, a valorização dos resíduos em um aterro sanitário.

1.2 Questões da pesquisa

Usina de Biogás Bandeirantes está inserida como um projeto de recuperação de gás de aterro no MDL (Mecanismos de Desenvolvimento Limpo). O projeto é denominado como BLFGE (*Bandeirantes Landfill Gas to Energy Project*), projeto de número 0164.

O MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) ou CDM (*Clean Development Mechanism*) é formado por um grupo técnico e permite que projetos de redução de emissões nos países em desenvolvimento possam conseguir créditos de redução certificada de emissão (CER), 1 crédito equivale a uma tonelada de CO₂. Estes CER podem ser negociados ou vendidos e utilizados pelos países industrializados, para que estes cumpram parte de suas metas de redução de GEE, (MDL, 2012).

O MDL é uma iniciativa promovida pela UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) para apoiar, regular, recomendar e valorizar projetos de mitigação de GEE. Ambas são entidades reconhecidas mundialmente. A UNFCCC entrou em vigor em 21 de março de 1994, atualmente conta com a adesão de 195 países, com o objetivo de estabilizar as concentrações dos gases de efeito estufa, (MDL, 2012).

Em BLFGE (2011), a solução inicialmente desenvolvida para diminuir os impactos do gás de aterro em 1978, implantada em 1979, foi a de coletá-lo por mecanismos de ventilação passiva, queimando-o em cabeças dos poços, para a destruição do metano (CH₄).

Ainda em BLFGE (2011), a solução da queima do gás, ineficiente sob o ponto de vista de aproveitamento energético, teve como objetivo evitar problemas ambientais, relativos com as emissões e riscos de explosões, descontroladas nas proximidades do aterro.

De acordo com BLFGE (2011), a solução técnica de aproveitamento de gás de aterro, foi projetada pela empresa BIOGÁS, e consistiu inicialmente em gerar energia elétrica por meio de 24 motores, totalizando 22 KW (Megawatts hora), evitando assim a liberação do gás GEE (gás de efeito estufa) na atmosfera.

Silva e Campos (2008) descreveram em seu trabalho a transformação do metano, por meio da combustão, em energia elétrica, como consequência, em créditos de carbono equivalentes. E a relacionaram com a qualidade do gás, medida em diferentes pontos da planta do aterro Bandeirantes, por conta das 40 mil toneladas de resíduos depositadas, sem controle desde 1979.

O aterro foi desativado em 2007 e tem cerca de 400 pontos de captura que transportam o gás para a Usina Termelétrica Bandeirantes. A usina produz energia elétrica com capacidade para abastecer até 300 mil pessoas, porém a qualidade do gás para esta finalidade, conforme descreveram Silva e Campos (2008), é comprometida pelo acúmulo de água nos pontos de captação, impedindo o gás de chegar à usina. Essas concentrações de água, nos pontos de captura, variam conforme mudanças climáticas diárias e sazonais completam os autores.

Diante dessas dificuldades, restrições são consideradas neste trabalho, como o acesso aos relatórios não apresentarem dados sobre a quantidade de gás que é capturada e a quantidade fugitiva. O sistema de supervisão que contém as leituras dos controles de processos de conversão não pode ser acessado. Os dados disponíveis são os relatórios encaminhados para a auditoria que controla o projeto.

O estudo de caso do aterro sanitário Bandeirantes, hoje Usina Bandeirantes permite avaliar o potencial de geração de energia elétrica e os créditos de carbono equivalentes associados por estimativas. O estudo desse arranjo produtivo de geração de energia elétrica a partir de fontes alternativas, e que contribui para o cumprimento de metas governamentais, não pode ser completamente analisado.

As restrições de acesso às informações permitem estimativas parciais, como a volumetria do potencial de emissão de gás metano, em diferentes períodos e em com a adoção de alguns critérios sugeridos pela literatura. E neste sentido, a simulação é um recurso atrativo, no qual, algumas variáveis sugeridas podem ser experimentadas.

1.3 Objetivos da pesquisa

Neste trabalho busca-se, a partir do estudo de caso aterro Bandeirantes, parâmetros de otimização da produção de energia elétrica a partir da valorização do RSU.

1.3.1 Objetivo geral

Analisar um sistema energético que otimize a estimativa de produção de energia elétrica e de créditos de carbono a partir da queima do CH_4 e da mitigação do CO_2 para a atmosfera.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Pesquisar a capacidade, extensão, abrangência e integração do potencial energético à partir do biogás de origem dos resíduos sólidos urbanos dispostos em aterro sanitário;
- b) Avaliar, por meio de modelos matemáticos, as possibilidades de otimização dos recursos energéticos alcançados na geração de energia elétrica do gás de aterro sanitário;
- c) Analisar a evolução dos dados para gerar indicadores de otimização na produção de energia;
- d) Validar indicadores através da simulação para um aterro sanitário otimizado.

1.4 Hipóteses do trabalho

A partir da simulação matemática, estimar a geração do potencial energético de um aterro sanitário com diferentes indicadores de cenários.

A primeira hipótese visa responder a situação de viabilidade do potencial energético do aterro Bandeirantes, em função de modelos amplamente consolidados no cenário internacional.

A segunda hipótese é de que o modelo de primeira ordem para cálculo de potencial energético é viável e auxilia nas simulações de estimativas em aterros sem histórico dos tipos e quantidades de RSU.

A terceira hipótese é a de que o aterro Bandeirantes, perdeu mais potencial energético, do que a duração estimada do seu ciclo produtivo, como usina geradora de energia elétrica.

1.5 Cenário da Pesquisa

O Aterro Sanitário Bandeirantes está localizado na região metropolitana de São Paulo, do Brasil, sendo uma das maiores cidades de aglomerados urbanos (IBGE, 2012) e centros financeiros país (GFCI, 2012). Com uma população estimada em cerca de 10 milhões de cidadãos em 2000. São Paulo gerava na época, cerca de 15.000 toneladas de lixo diariamente, (MDL, 2012)

Hoje este aterro encontra-se desativado para disposição de resíduos, sua utilização funciona atualmente como uma usina geradora de energia elétrica a partir do biogás ali gerado em função do acúmulo de resíduos, temperatura e umidade.

O Aterro Sanitário Bandeirantes, segundo UNFCC (2012), ocupa uma área aproximada de 1.350.000 m², recebeu resíduos coletados pela Loga, com registros quantitativos de disposição de resíduos de 1978 até 2006 e está desativado desde março de 2007. A partir desta data, os resíduos vão para o Aterro Caieiras, (PMSP, 2013).

O Aterro Sanitário Bandeirantes foi projetado de acordo com práticas modernas, conforme Silva *et al* (2007). Foi classificado, no ano de 2004, com 8,8 de

índice de qualidade, conforme normas fiscalizadoras da CETESB - Companhia de Tecnologia de saneamento ambiental, agência reguladora do Estado de São Paulo), CETESB (2007).

O Índice de Qualidade do Aterro de Resíduos (IRQ) aponta áreas contaminadas como o subsolo e o ar, dentro e fora do aterro, e águas subterrâneas dentro do aterro, CETESB (2007).

O modelo de inventário para classificação das condições de operação do aterro é monitorado pela CETESB que imite relatórios anuais. Em 2007, o Aterro Sanitário Bandeirantes foi incluído no Relatório de Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo, em 2007. Na tabela 2, estão os índices de qualidade apontados pela CETESB de 1997 a 2006 para o Aterro Sanitário Bandeirantes.

Tabela 2 – Adaptação resumida do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares de 2006

Aterro Município	Lixo (tdia)	INVENTARIO IQR - Índice de Qualidade do Aterro de Resíduos										SIT	LI	LO	Média IQR
		ANO MEDIÇÃO	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005				
Bandeirantes São Paulo	5.000,0	7,3	8,3	8,5	8,6	9,0	9,0	8,8	8,8	9,1	9,1	A	Não	Sim	8,6

Legenda - (tdia): tonelada dia; SIT: situação do aterro (A - adequado); LI (licença de Instalação) e LO (Licença de Operação)

Fonte: CETESB (2007)

Conforme os dados apresentados na tabela 2, o Aterro Sanitário Bandeirantes obteve um resultado médio do índice de Qualidade dos Aterros, nos dez anos de acompanhamento, de 8,6 pontos. Mantendo-se em acordo ao sistema de avaliação da agência de fiscalização CETESB, ficando entre os parâmetros de 8,1 a 10 pontos, até 2006.

Em março de 2007 o aterro foi desativado, passando a funcionar apenas como usina geradora de energia (BLFGE, 2011). E assou a compor os relatórios de áreas contaminadas, a exemplo o relatório de novembro de 2007, no anexo.

No início da implantação como usina no aterro, sem geração e eletricidade efetiva, a CETESB, em 2007, realizou monitoramento do IRQ com recomendações emergenciais. Dentre as quais, a ventilação/exaustão dos espaços confinados e monitoramento dos índices de explosividade. a remediação da extração dos vapores

do solo. Em 2008, a usina então em funcionamento, não foi incluída nos relatórios de áreas contaminadas do Estado de São Paulo, monitorados pela CETESB.

Por conta desta mudança de atividade na mesma planta, passando de aterro para usina, neste trabalho, a autora utiliza em vários momentos os dois termos para associar a pesquisa com a atividade.

O cenário estudado, antigo aterro Bandeirantes e atualmente Usina Bandeirantes, foi objeto de investigação *in loco*, em que a autora deste trabalho manteve como foco da pesquisa o estudo de caso. Os artefatos para este trabalho foram pesquisa do problema com aterros, entrevista com o engenheiro ambiental responsável pelo aterro e pela usina, Thiago Nascimento Silva. Visita para conhecer operações de todos os processos em funcionamento, visita monitorada aos locais de geração de gás metano e sua captura até a usina de geração de energia elétrica, acesso a documentação oficial do projeto e reprodução fotográfica do cenário em referência.

1.6 Justificativa

A técnica de disposição de resíduos em aterros resulta na emissão de gases perigosos à população e ao meio ambiente. Com a desativação dos aterros, soluções devem ser encontradas para capturar as emissões de gases derivados das decomposições do RSU, PNSB (2008).

Essas soluções são destaques para mecanismos de desenvolvimento limpo. Com esta técnica de captura dos gases emanados dos aterros, sua queima, pode ser utilizada para produzir energia elétrica, diminuindo as emissões de GEE (gases de efeito estufa), para compor a matriz de créditos de carbono, resultando em uma solução ambientalmente correta, (LMOP, 2012).

Silva *et al* (2007), destacou que soluções para os resíduos sólidos no Brasil, como objeto de discussão pela sociedade ao longo dos anos, perpassa a área de saneamento ambiental, e incluem outros segmentos como o social e econômico.

Maciel *et al* (2011), considera um desafio para a engenharia brasileira, o estudo do potencial de biogás em aterros de RSU. Estimativas recentes realizadas

com base em critérios e experiências internacionais, não apresentaram resultados satisfatórios, concluem os mesmos autores.

Os poucos projetos de aproveitamento energético do biogás no Brasil, localizam-se no eixo sul e sudeste, mas alguns apresentam dificuldades técnicas por conta de falhas na previsão da produção de gás de aterro, (MACIEL *et al*, 2011). Os autores reforçam também, que os parâmetros técnicos utilizados, foram desenvolvidos para aterros de outros países. Por este motivo, características de projeto, a sua operação, os tipos de resíduos e as condições climáticas são diferentes dos aterros nacionais.

De acordo com ANEEL (2012), há a necessidade de identificar a viabilidade de arranjos técnicos de produção de energia elétrica a partir de biogás. Em julho de 2012, ANEEL divulgou em edital, a necessidade da construção de novo conhecimento tecnológico em relação a geração de energia relacionada com o saneamento.

[...] Existe, portanto, um grande potencial ainda pouco explorado no setor de saneamento para o desenvolvimento de novas opções de **valorização dos resíduos** e efluentes, com um maior ganho do ponto de vista ambiental, social e energético. Neste sentido, a proposição de arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração de energia elétrica a partir de biogás oriundo de resíduos e efluentes líquidos na matriz energética brasileira constitui questão de grande relevância e de complexidade [...]. (ANEEL, chamada nº 014/2012).

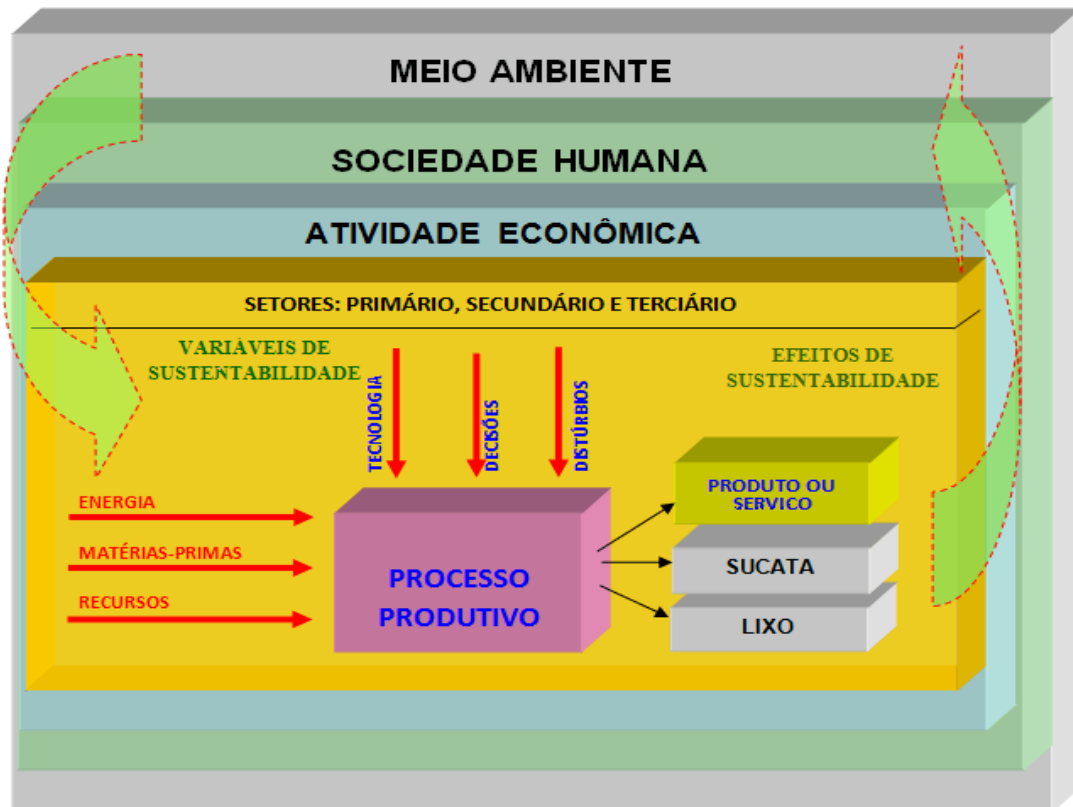
Portanto, o estudo de caso, Aterro Bandeirantes, é uma das etapas desta pesquisa, e seus dados fomentam a estruturação neste processo investigativo. O estado inicial, o atual e as projeções de valorização do RSU, dispostos no aterro sanitário, amparam este estudo, para encontrar a otimização da produção de geração de energia elétrica a partir desse sistema.

1.7 Delimitação do Escopo da Pesquisa

Todo o processo desenvolvido pela atividade humana quer seja em eventos, fenômenos ou processos naturais, é um processo produtivo, com variáveis de entrada e saída, (PEREIRA, 2010).

Pereira (2010) descreve que os processos produtivos são compostos de um ou diversos sub-processos. Na visão do mesmo, todo processo produtivo impacta e é ele próprio impactado pela sociedade e está situado dentro e alguma atividade econômica. Desta maneira, a figura 1, representa um modelo relacional entre as macro variáveis de entrada e as saídas de um processo produtivo genérico.

Figura 1 – Diagrama de blocos ilustrativo de um processo produtivo genérico

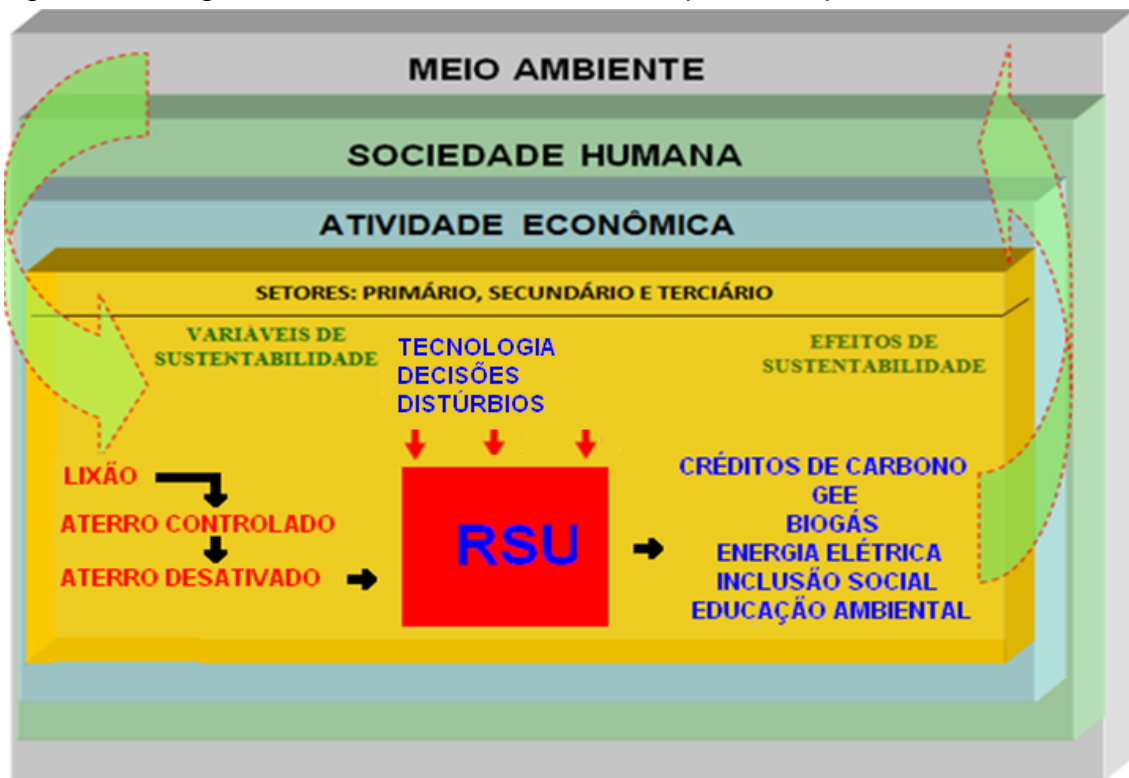


Fonte: Pereira (2010)

Qualquer processo produtivo tem como resultado direto de suas operações, um produto ou serviço realizado, que produz como subprodutos, lixo e sucata. Pereira (2010) detalha no diagrama de blocos que o processo para ser operacionalizado, demanda seis categorias de macro variáveis de entrada: energia, matérias-primas, recursos humanos, tecnologia, decisões e distúrbios, que afetam a atividade econômica, a sociedade e o meio ambiente.

Com base nos resultados disponíveis de BLFGE (2011), o modelo da figura 1 foi adaptado, considerando que as variáveis de entrada sucata e lixo. Para o processo adota-se bloco RSU, depositados quer seja em aterro controlado ou desativo, e ainda no lixão, qualquer que seja, há sempre uma transformação, a geração de metano (figura 2).

Figura 2 – Diagrama de blocos ilustrativo de um processo produtivo final do RSU



Fonte: Pereira (2010) – adaptado pela autora

A simplificação objetiva delimitar o escopo do estudo, em observação a alta complexidade de um sistema de processo produtivo. Os indicadores de educação ambiental e inclusão social são também descritos em BLFGE (2011), como potencialidades, mas não são tratados neste trabalho.

A redução do modelo tem como objetivo atender o escopo da pesquisa. O processo de geração de energia para esse modelo simplifica a implementação da simulação. Quando o módulo RSU recebe alguma tecnologia, variáveis de decisões sobre o que otimizar, e restrições que podem ser distúrbios, ocorrem transformações na saída que podem ter sido afetadas.

Ogata (1997) considera a necessidade de redução dos diagramas de blocos que determinam os processos, para simplificar consideravelmente o trabalho necessário para a análise matemática subsequente. O mesmo autor observa que, embora o diagrama de blocos simplifique a análise das funções de transferência, ao reduzir cada processo, outros são considerados e cada sub-processo passa a ser um novo processo.

Isto leva a um aumento da complexidade a ser considerada sob o ponto de vista dinâmico, pois processos podem ser iniciados e finalizados no mesmo instante, um processo finalizado pode dar início a um novo processo derivado como um sub-processo, Ogata,(1997).

A modelagem matemática aplicada na construção de sistemas dinâmicos complexos, que variam no decorrer do tempo t , é necessária para obter medidas, com a possibilidade de ajustes de parâmetros conforme a variação daquele modelo até que a saída esteja estável em função das variáveis de entrada e das perturbações intrínsecas, (LJUNG, 1985).

As características típicas deste sistema, como a não linearidade na produção do gás metano, atrasos variantes no tempo em relação a estimação da produção de metano, as perturbações que interferem no equilíbrio do sistema como a umidade do solo, são variáveis de difícil identificação do indicador, (TAN et al, 1995) .

Ainda para Tan *et al* (1995), variáveis como como a educação ambiental e a inclusão social, não são contempladas em modelos matemáticos estatísticos.

Técnicas convencionais por estimação, como a dos mínimos quadrados ou a verossimilhança, são usadas para diminuir a complexidade do sistema, mas tendem a provocar falhas, declara Kristisson e Dumont (1992). Essas técnicas reduzem muito o modelo em relação ao sistema real, convergindo para gradientes de representação gráfica, localizados, portanto, para modelos incorretos e imprecisos, completam Kristisson e Dumont (1992).

Portanto, para este escopo de trabalho, a pesquisa busca simular a otimização de processo de geração de gás de aterro para a produção de energia, que considera variáveis específicas para as entradas, intempéries que afetam o processo e saídas, como base no estudo de caso aterro Bandeirantes.

O processo produtivo, da planta de gás do aterro Bandeirantes está dividido em quatro etapas ou processos. Cada um está ligado ao anterior, os resultados da saída do primeiro são a entrada do seguinte. O processo de maior abrangência, nesse estudo, foi o na geração de gás, para determinar o volume potencial de gás metano. Estes dados são base para os seguintes e são aplicados diretamente as entradas dos processos subsequentes.

1.8 Estrutura do Trabalho

A primeira parte do trabalho ressignifica os resíduos sólidos urbanos como um insumo energético vital para o desenvolvimento social e econômico de qualquer cidade. O aumento das atividades produtivas na indústria ou no meio rural demanda na mesma medida por energia de alguma fonte.

A segunda parte do trabalho está organizada com os conceitos e as definições, quanto aos impactos e recursos nos quais tratam a temática dos RSU, para efeitos de redução de emissões de GEE e geração de energia. Apresenta-se nesse capítulo o estado da arte da gestão dos resíduos antes da entrada no aterro, servindo como exemplo o cenário da Cidade de São Paulo. Há o detalhamento dos processos produtivos do aterro e da usina Bandeirantes. Os modelos matemáticos que serão usados na simulação estão detalhados também nesse capítulo.

Os parâmetros e indicadores que denotam a otimização da produção de energia elétrica para aterros sanitários são demonstrados no capítulo 3 do trabalho de pesquisa. A configuração matemática da simulação, à partir das funções de transferência obtidas, determinam o potencial energético a ser alcançado.

No capítulo 4 são desenvolvidos os detalhes da metodologia adotada em relação à abordagem da pesquisa aplicada. Os instrumentos que alicerçaram a pesquisa são descritos e o seu enquadramento classificatório.

O quinto capítulo contabiliza o potencial do aterro sanitário Bandeirantes e sua capacidade como fonte geradora de energia elétrica, em todo o seu ciclo de vida. Nesta etapa, aplicam-se as medidas de desempenho na arquitetura proposta simulando tendências da otimização da produção em relação a uma efetiva estabilidade alcançada do sistema.

A conclusão é um ensaio analítico que responde a necessidade de ampliar a geração de energia por meio de novas fontes, considerando o planejamento energético integrado ao *grid* de energia. A análise conjunta reconduz o que é descarte como valorização de recurso energético.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O metano e os Gases de Efeito Estufa – GEE

De acordo com Christensen (2011), resíduos são produtos redundantes ou material de qualquer valor marginal, para o qual o seu proprietário deseja descartá-lo. No entanto, os resíduos sólidos podem ser sólidos ou líquidos, tal como uma lama ou uma fase de produto químico livre. Isto define os resíduos sólidos como os resíduos que não são a água (águas residuais) ou materiais transportados pelo ar (gases de combustão). Assim, a definição desse autor, também sugere que os resíduos sólidos não têm meios como o transporte de água e de ar.

Os resíduos sólidos urbanos contêm porções significativas de materiais orgânicos que produzem uma variedade de produtos gasosos, quando descartados, compactados e cobertos em aterros. Bactérias anaeróbias prosperam em ambiente isento de oxigênio, o que resulta na decomposição dos materiais orgânicos e produção de dióxido de carbono e principalmente metano. O dióxido de carbono é susceptível de lixiviados do aterro sanitário, porque é solúvel na água. Metano, por outro lado, é menos solúvel em água e mais leve que o ar, provável que migre para fora do aterro. Sendo então, necessárias as instalações de gás de aterro para capturar o metano (o principal componente do gás natural), e levá-lo para a combustão, produzindo energia, (CHRISTENSEN, 2011).

A migração do metano para fora do aterro resulta consequências em relação à atmosfera terrestre. Rose, *et al* (2012), descrevem que o efeito estufa é um processo natural que aquece a superfície do planeta, devido à presença de gases contidos na atmosfera que absorvem e emitem radiação infravermelha. Os principais **gases de efeito estufa**, denominados como **GEE**, na atmosfera da Terra, são o vapor de água, dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O) e Ozônio (O₃), (ROSE et al, 2012).

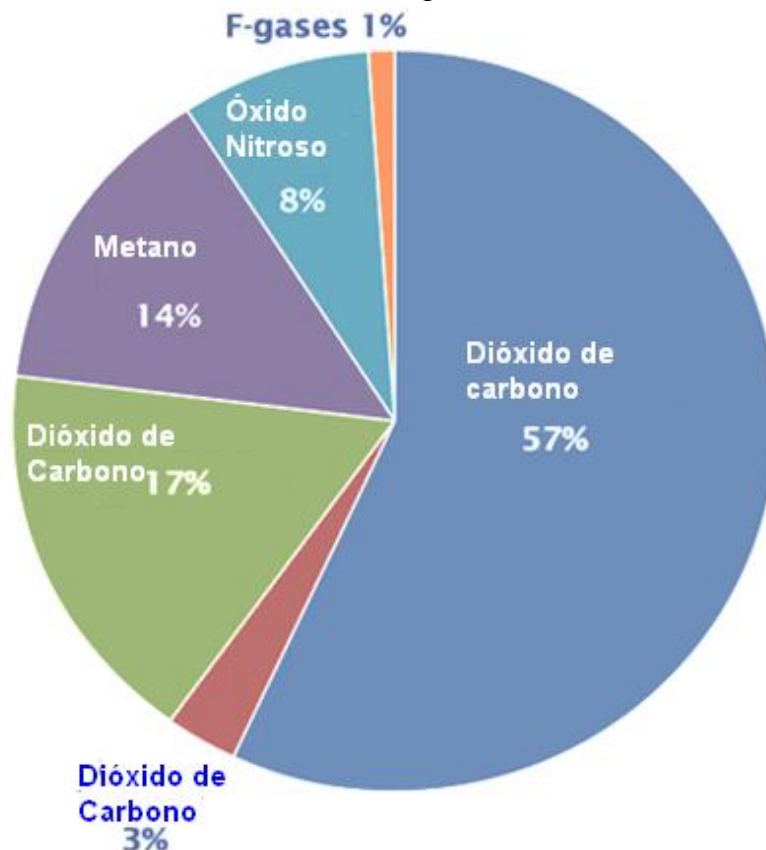
Spiro (2009), explica que o efeito estufa é o aprisionamento do calor refletido pela atmosfera terrestre que admite os raios solares visíveis e retém os raios infravermelhos que emanam da superfície. O aquecimento da atmosfera terrestre é

carregado pelas correntes de ar e evaporação de água, a maior parte é irradiada para a atmosfera, que aprisiona e irradia muito dele de volta.

Spiro (2009) detalha também que o metano (CH_4) é o segundo mais importante fator de contribuição do efeito estufa, depois do CO_2 , sendo sua concentração atmosférica elevada. Conforme IPCC (1997), destaca-se no Gráfico 1, parte do metano provém de vazamentos do sistema de distribuição de gás, minas de carvão, queima de biomassa, incêndios de florestas e vulcões.

A maior parte do metano liberado na atmosfera resulta da ação de bactérias anaeróbicas, que geram o gás como produto final de seu metabolismo. Essas bactérias são abundantes em áreas alagadas, arrozais, pilhas de esterco e áreas e disposição de resíduo sólido municipal. (SPIRO, 2009).

Gráfico 1 – Emissões globais GEE de 2004



Fonte: IPCC (2007) - Adaptado pela autora

Considerando a escala global do gráfico anterior, os principais **GEE** emitidos pelas atividades decorrentes do homem, podem ser destacados, quanto a sua fonte emissora. A maior porcentagem de emissão de dióxido de carbono, 57%,

corresponde ao uso de combustíveis fósseis. Seguidos de 17% para o desmatamento e a compostagem, outros fatores de contribuição de CO₂, na atmosfera, somam 3%. A contribuição do metano como **GEE**, representa 14%, provenientes das atividades agrícolas, resíduos e energia. Por fim os GEE-F – gases fluorados, ainda com 1%, em função de medidas adotadas para a diminuição do seu uso, principalmente como solventes utilizados nos processos industriais e sistemas de refrigeração, (IPCC, 2007).

A tabela 3 representa a compilação do percentual de cada **GEE** e a fonte emissora, em conformidade com IPCC (2007).

Tabela 3 – Fonte emissora dos GEEs

PORCENTAGEM DE GEE MUNDIAL	FÓRMULA QUÍMICA	FONTE EMISSORA
Carbon Dioxide 77%	Dióxido de carbono (CO₂)	Uso de combustíveis fósseis, desmatamento e decomposição da biomassa (compostagem)
Methane 14%	Metano (CH₄)	Atividades agrícolas, gestão de resíduos e uso de energia
Nitrous Oxide 8%	Óxido nitroso (N₂O)	Atividades agrícolas com o uso de fertilizantes
F-gases 1%	Gases fluorados (gases F)	Processos Industriais, refrigeração, produtos que incluem hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorocarbonetos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF ₆)

Fonte IPCC (2007)

Os Inventários em geral incluem apenas as remissões emissões antrópicas² de gases de efeito estufa, não considerando neste estudo os gases clorofluorcarbonos (CFC) e os hidroclorofluorcarbonos (HCFC), que destroem a camada de ozônio e cujas emissões já são controladas pelo Protocolo de Montreal.

Ao completar 25 anos de trabalhos efetivos, o Protocolo de Montreal consolida-se como um dos mais eficientes acordos multilaterais estabelecidos pelas ONU - Nações Unidas. Desde que foi lançado, em 1987, reduziu de 13.902,11 de toneladas, referencia de 1996, para 808,49 toneladas em 2012, o consumo global de Clorofluorcarbonos – CFCs, o gás mais prejudicial à Camada de Ozônio. [...].

² Emissões antrópicas: produzidas como resultado da ação humana. Por exemplo, estão sendo lançadas grandes quantidades de gás carbônico na atmosfera por tais atividades, como a queima de combustíveis fósseis, agricultura, fabricação de cimento, dentre outras.

Portanto, os GEE relativos aos CFC não são estudados neste trabalho. Os gases de efeito estufa, cujas emissões e remoções antrópicas estimadas no inventário, são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), os hidrofluorcarbonos (HFC), os perfluorcarbonos (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6). (IPCC, 2007).

Alguns outros gases, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e outros compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC), mesmo não sendo gases de efeito estufa direto, possuem influência nas reações químicas que ocorrem na atmosfera, (IPCC, 2007). Neste contexto, o estudo deste trabalho restringe-se apenas ao potencial uso do GEE metano que é produzido no aterro sanitário e a forma como pode representar uma fonte alternativa de energia.

2.1.1 Aterros Sanitários

Os aterros sanitários são grandes áreas preparadas tecnicamente, em termos de estrutura local como o tipo de solo, mananciais e situação do entorno. Estas áreas contam com garantias de proteção ao meio ambiente, explana Monteiro (2011), evitando a contaminação do lençol freático.

Monteiro (2011) enfatiza as áreas destinadas aos aterros são fiscalizadas pelos órgãos públicos e muitos deles são de propriedade particular. Após o esgotamento dos aterros, a área é totalmente coberta e poderá ser utilizada como área de lazer, depois que o nível de contaminação e emissão de gases não representar um perigo a saúde humana e o meio ambiente, completa o mesmo autor.

2.1.2 Definições

Há uma série de definições e referências que não esclarecem de fato a diferença entre aterro sanitário e aterro de resíduos urbanos, em algumas publicações chegam até a utilização de maneira equivocada para lançar explicações a respeito de um e outro.

Para melhor elucidar os termos e de acordo com a norma brasileira NBR 8419, descrita e publicada por ABNT (2010), **aterro sanitário** é "uma técnica de

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

Ainda descrito na norma, ABNT (2010), esta técnica consiste basicamente da compactação dos resíduos no solo, dispondo-os em camadas que são periodicamente cobertas com terra ou outro material inerte, formando células, de modo a se ter alternância entre os resíduos e o material de cobertura.

Aterro sanitário exige cuidados e técnicas específicas, que visam inclusive ao uso futuro da área, e que incluem a seleção e o preparo da área, sua operação e monitoramento.

A NBR 8419 de ABNT (2010) fixa todos os procedimentos necessários a uma correta elaboração do projeto. Dentre eles, destacam-se:

- a) Instalações de apoio;
- b) Sistema de drenagem de águas pluviais;
- c) Sistema de coleta e tratamento de líquidos percolados e de drenagem de gases, formados a partir da decomposição da matéria orgânica presente no lixo;
- d) Impermeabilização lateral e inferior, de modo a evitar a contaminação do solo e do lençol freático.

A mesma norma ABNT (2010) ainda indica que o aterro sanitário é um método atraente e de menor custo para comunidades com poucos recursos financeiros e humanos, podendo satisfazer as condições de preservação do meio ambiente.

Existe outra modalidade de aterro previsto em ABNT (1985), aterro controlado, apresentando menores exigências para proteção ambiental, e as recomendações técnicas, são simplificadas quando comparadas ao aterro sanitário. Nesta modalidade não estão previstas a implantação de sistema de coleta, tratamento de líquidos percolados e de sistema de drenagem de gases. Porém,

ABNT (1985) explica que o método de aterro controlado, não deve ser considerado como solução definitiva.

Em DOU (2011), estão descritas as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os resíduos perigosos, as responsabilidades dos geradores e do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis. Assim como as definições a seguir.

- a) **Resíduos sólidos:** material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;
- b) **Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos:** conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei;
- c) **Reutilização:** processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes.
- d) **Gestão integrada de resíduos sólidos:** conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável;

Portanto o Aterro Sanitário Bandeirantes, assim denominado oficialmente pela CETESB (2007), sob a sigla AS Bandeirantes, objeto do estudo neste trabalho,

contabiliza a técnica de aterro sanitário para a disposição de resíduos sólidos urbanos.

O aterro está localizado na Rodovia dos Bandeirantes km 26, em Perus, recebeu resíduos coletados pela Loga e está desativado desde março de 2007, BLFGE (2011).

A coleta de resíduos passa por estações de transbordo. O início do destino do lixo recolhido, por empresas responsáveis através de contrato com as administrações municipais é o encaminhamento prévio para estações de transbordo.

2.1.3 Estações de Transbordo e abrangência da coleta de RSU na Cidade de São Paulo

A estação de transbordo é um galpão especialmente construído para reclusão total de resíduos. Possui um sistema de exaustão eficiente que capta os gases emitidos pelos resíduos para uma sequência de filtragem, devolvendo ar limpo à atmosfera. A figura 3 mostra o registro da disposição do lixo recolhido pela empresa Loga na estação de transbordo Ponte Pequena, situada na cidade de São Paulo, bairro do Bom Retiro.

Figura 3 – Estação de Transbordo da Ponte Pequena, Bairro de Bom Retiro, Cidade de São Paulo



Fonte: Loga (2012)

A estação de transbordo Ponte Pequena é uma edificação de 3 mil m² e está dimensionada para comportar diariamente a capacidade de seis mil toneladas, no fosso receptor de armazenamento temporário de resíduos (LOGA, 2012).

De acordo com informações da Loga (2012), empresa que gerencia parte dos RSU da cidade de São Paulo, “o transbordo remonta à época da colonização. Com o início das operações do incinerador de Ponte Pequena, em 1959, o local passou a servir de destinação para o lixo produzido pela cidade e, nos anos setenta, também já operava como transbordo. Com a desativação do incinerador, em 1997, o local permaneceu apenas como unidade de transbordo”, LOGA (2012).

De acordo com PMSP (2013), atualmente existem três Estações de Transbordo na cidade de São Paulo, detalhadas a seguir na tabela 4.

Tabela 4 – Localização das áreas de transbordo dos resíduos sólidos da Cidade de São Paulo

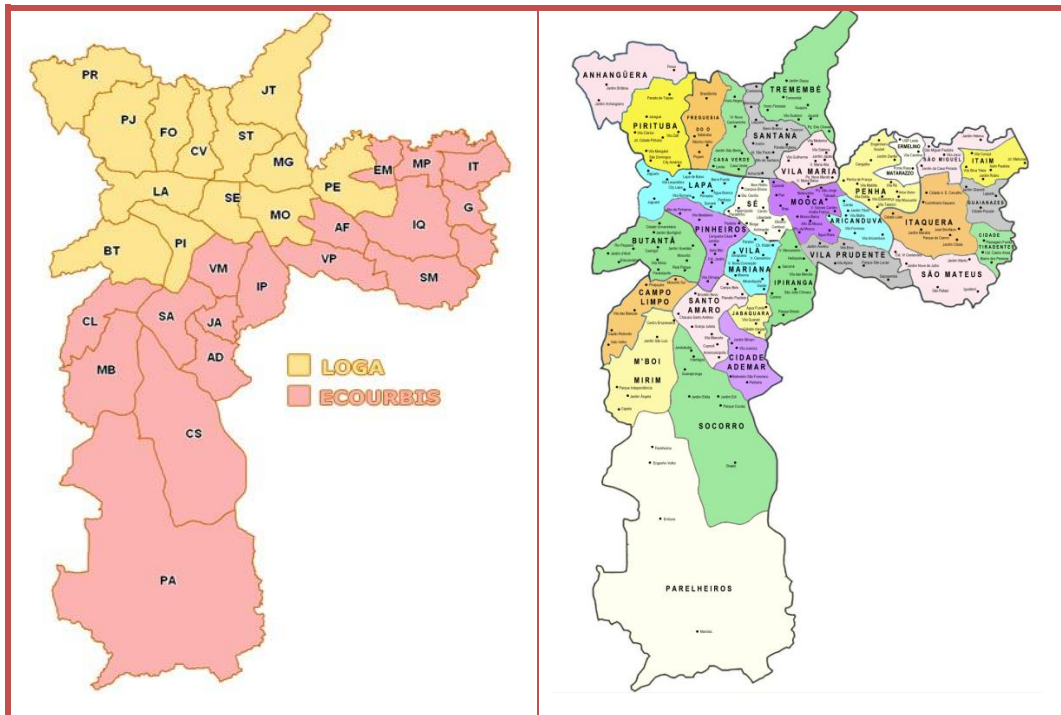
NOME DA ESTAÇÃO	ENDEREÇO
Transbordo Vergueiro	Rua Breno Ferraz do Amaral, n.º 415 B.
Transbordo Santo Amaro	Rua Miguel Yunes, n.º 480
Transbordo Ponte Pequena	Avenida do Estado, n.º 300

Fonte: PMSP (2013) – adaptado pela autora

Segundo PMSP (2013), a concessão dos serviços de coleta de resíduos de saúde, domiciliar e reciclados são feitos por duas empresas concessionárias, a LOGA e a ECOURBIS. Além da coleta, as empresas são responsáveis pela operação das três áreas de transbordo (Ponte Pequena, Vergueiro e Santo Amaro), e também dos dois aterros sanitários Bandeirantes e São João.

A cidade foi dividida em duas áreas: Noroeste, sob a responsabilidade da empresa Loga (Logística Ambiental) e Sudeste, pela Ecourbis, conforme mostra o mapa abaixo da figura 4, (PMSP, 2011).

Figura 4 – Distribuição da Concessão de coleta de resíduos na Cidade de São Paulo por sub distrito comparativamente



Fonte: PMSP (2011)

Os mapas de distribuição da concessão podem ser comparados com o mapa da cidade de São Paulo, observa-se que a Ecourbis vai do extremo leste Itaim Paulista, até o bairro de Pararlheiros. A Loga presta os serviços desde o Bairro da Penha, passando pelo Jardim Tremembé, indo até Perus, alcançando também o Bairro do Butantã.

A disposição de RSU em locais sem o planejamento inicial de uma infraestrutura de proteção ao meio ambiente, segundo SCHUELER (2007), pode ser responsável pela contaminação do solo, águas e ar por meio da emissão de efluentes líquidos e gasosos. O encerramento das atividades de disposição, os resíduos e seus efluentes continuam nesse meio, completa o mesmo autor.

2.1.4 Classificação das unidades de destino final de resíduos

De acordo com o DOU (2011) a partir de 2014, apenas os resíduos sem viabilidade econômica para a recuperação devem ser depositados em aterros sanitários. Determina ainda que lixões a céu aberto e aterros controlados sejam fechados.

Porém, segundo publicação de PNSB (2008), apenas 27,7 % das unidades de destino final de resíduos são classificadas como aterro sanitário – ou seja, 73,3% destes destinos finais seriam inadequados, conforme representa a tabela 5, para os anos 1989, 2000 e 2008.

Tabela 5 – Destino final dos resíduos sólidos por unidade de destinação dos resíduos em escala nacional

Ano	Destinação inadequada		Destinação adequada
	Vazadouro a céu aberto	Aterro controlado	Aterro sanitário
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7

Fonte: PNSB (2008)

A tabela 5 apresenta a evolução de três categorias em 19 anos. Os vazadouros a céu aberto, conhecidos como “lixões”, ainda são o destino final dos resíduos sólidos em 50,8% dos municípios brasileiros, com redução significativa de 43 % de 1989 a 2008.

Nesse mesmo período ocorreu um aumento na destinação dos resíduos para os aterros sanitários, solução mais adequada, que passou de 17,3% dos municípios, em 2000, para 27,7%, em 2008. Ressalta-se que é considerado no relatório do PNSB (2008), duas categorias de destinação final, inadequada e adequada. Das quais:

- Destinação adequada como aterros sanitários, tendo os resíduos no seu envio a estações de triagem, reciclagem e compostagem, e a sua incineração em equipamentos adequados a essa finalidade.
- A destinação final, inadequada compreende o lançamento do lixo, em seu estado bruto, em vazadouros a céu aberto, vazadouros em áreas alagadas ou ribeirinhas, locais não fixos e outros destinos, como a queima a céu aberto, sem nenhum tipo de equipamento.

- A disposição do lixo em aterros controlados também é considerada no relatório, inadequada, principalmente pelo potencial poluidor do chorume, que não é coletado e tratado neste tipo de destinação.

O relatório PNSB (2008) aponta ainda, que houve expansão dos programas de coleta seletiva de resíduos sólidos, de 451 em 2000 para 994 programas em 2008. A maior expansão ocorreu nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, respectivamente, 46% e 32,4% dos municípios informaram ter programas de coleta seletiva que cobriam todo o município.

Os municípios com serviço de coleta seletiva priorizavam a separação do papel, papelão, plástico, vidro e metal, sendo os principais compradores desses recursos os comerciantes de recicláveis (53,9%), as indústrias recicladoras (19,4%), entidades beneficentes (12,1%) e outras entidades (18,3%), (PNSB, 2008).

2.1.5 Classificação do Índice de Qualidade das condições ambientais e sanitárias dos locais de destinação final de resíduos sólidos domiciliares

A partir de 1997, a CETESB (2007) passou a organizar e sistematizar as informações sobre as condições ambientais e sanitárias dos locais de destinação final de resíduos sólidos domiciliares nos municípios paulistas e publicá-las, anualmente, em relatório denominado Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares.

O Índice de Qualidade do Aterro de Resíduos – IQR, desenvolvido pela CETESB, considera três macro conjuntos que influenciam diretamente no cálculo desse indicador: sanitário, ambiental e operacional.

As bases legais tomadas como referência pela CETESB (2007) para a composição dos indicadores, em aterros sanitários, aparam-se na legislação e normas constantes da tabela 6.

Tabela 6 – Normas e Base legal para aterros sanitários

BASES LEGAIS – ATERROS SANITÁRIOS	
LEGISLAÇÃO OU NORMA	CARACTERIZAÇÃO
Resolução SMA nº 51/1997	Dispões sobre a exigência ou dispensa do RAP - Relatório Ambiental Preliminar para aterros e usinas de reciclagem e compostagem
NBR 8419 (VERSÃO CORRIGIDA)	Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos
NBR 8849	Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos
NBR 13.896	Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação - Procedimento

Fonte: CETESB (2007), ABNT (1985, 2010)

A caracterização da resolução SMA nº 51/1997, segundo CETESB (2007), dispunha sobre a licença prévia exigida ou dispensada do RAP – Relatório Ambiental Preliminar, para os aterros sanitários e usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domésticos operados por municípios, em função do sua capacidade.

CETESB (2007) esclarece que em quantidade igual ou inferior a 10 toneladas de resíduos por dia, ficam estes empreendimentos dispensados, desde que não estejam localizados em áreas de interesse ambiental.

Já para empreendimentos que operem com uma quantidade entre 10 toneladas por dia e 25 toneladas por dia de resíduos sólidos domésticos, devem solicitar licenciamento à CETESB por meio do MCE – Memorial de caracterização do empreendimento, CETESB (2007).

Por último, CETESB (2007) apresenta, que para empreendimentos do tipo aterros sanitários e usinas de reciclagem e compostagem, com quantidades superiores a 25 toneladas por dia de resíduos sólidos domésticos. Assim como para os demais sistemas de tratamento e disposição de resíduos sólidos domésticos, industriais e de resíduos de serviços de saúde e outros, há a exigência do processo de solicitação de licenciamento RAP.

Portanto, as normas NBR 8419 (versão corrigida), NBR 8849 e a NBR 13.896 fazem referências aos projetos de aterros sanitários, aterros controlados e aterros de resíduos não perigosos, nas quais fixam as condições mínimas exigíveis para empreendimentos dessa natureza, todas detalhadas em ABNT (2010). Esta normas auxiliam na mensuração de qualidade dos aterros.

Sucintamente considera-se que a qualidade do aterro sanitário como uma função direta de três conjuntos de indicadores paramétricos, qualidade natural do local, infraestrutura instalada, e aos procedimentos operacionais adotados.

O Índice de Qualidade de um Aterro Sanitário – IQR, a partir do qual a condição local de disposição é avaliada e classificada em adequada, controlada ou inadequada, CETESB (2007).

De acordo com a somatória dos pontos atribuídos para cada um dos questionários, um índice de qualidade das condições do aterro sanitário pode ser apontado dentre a faixa de indicadores paramétricos, definido matematicamente pela expressão ep1.

$$ep1 \rightarrow IQR = \frac{CL + II + CO}{13}$$

Em que as variáveis da equação são:

CL – índice totalizador do Questionário de característica do local

II – índice totalizador do Questionário de Infraestrutura Implantada

CO – índice totalizador do Questionário de condições operacionais

O resultado da equação atribui um índice de IQR que pode ser interpretado pelos parâmetros da tabela 7, determinando as condições do aterro sanitário.

Tabela 7 – Escala de Parametrização para o IQR

IQR – ÍNDICE DE QUALIDADE DE UM ATERRO DE RESÍDUOS	
ESCALA DE PARAMETRIZAÇÃO	DESCRIÇÃO
0 < IQR < 6,0	Expressa condições inadequadas para o aterro
6,0 < IQR < 8,0	Expressa condições controladas para o aterro
8,0 < IQR < 10,0	Expressa condições adequadas para o aterro

Fonte: CETESB (2007)

Esse índice possibilitou valores de Qualidade de Aterro de Resíduos - IQR, de Qualidade de Aterros em Valas – IQR Valas, e de Qualidade de Usinas de Compostagem – IQC, também com variação de 0 a 10, classificados em três faixas de enquadramento, a saber: inadequada (variação de 0 a 6,0), controlada (variação de 6,1 a 8,0) e adequada (de 8,1 a 10,0).

O resultado do período de 1997 a 2009 aponta que o IRQ obtidos apresentaram melhora, passando de 30,7 % para 1% em 2009, para os aterros do Estado de São Paulo (CETESB, 2010).

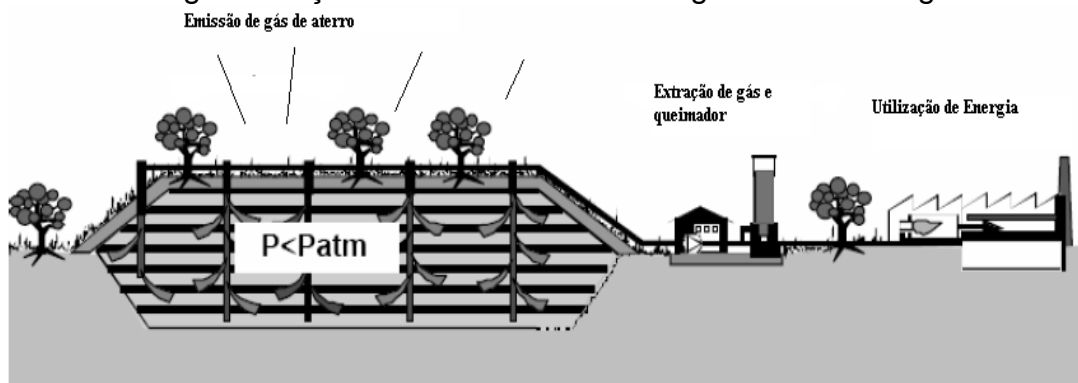
2.2 Caracterização da Usina do Aterro Sanitário Bandeirantes

2.2.1 Aspectos físicos do Aterro Bandeirantes

O Aterro Bandeirantes está localizado entre os km 24 e km 26 da rodovia Bandeirantes, que liga o cidade de São Paulo com a região metropolitana de Campinas. Sua área é de aproximadamente 1.350.000 m², tendo o Bairro de Perus, fronteira norte, como área urbana, pertencente ao distrito da Cidade de São Paulo; a estrada velha de Jundiaí como fronteira a leste, e ao sul encontra-se a conexão entre esta estrada e rodovia dos Bandeirantes e, finalmente, a oeste o acesso pela rodovia dos Bandeirantes (BLFGE, 2011)

De uma maneira geral, todo o sistema de desgaseificação, tratamento e utilização do gás proveniente de aterro pode ser detalhado na figura 5.

Figura 5 – Esquema de projeto de energia utilizando a desgaseificação de um aterro sanitário gerador de energia



Fonte: Project 0164 BLFGE (2011) – adaptado pela autora

Segundo Willumsen (2002), uma planta básica de gás de aterro é constituída por um sistema de extração e um sistema de utilização do gás. Um simples sistema de extração pode consistir de tubos perfurados na posição vertical ou horizontal em valas, coberto por uma camada de cobre e posicionados para que o gás possa ser coletado.

A diferença de pressão do gás (P) em relação a pressão atmosférica (P_{atm}), como representado na figura, $P < P_{atm}$, facilita o escoamento vertical, porém não de forma controlada. Desta maneira, Willumsem (2002), detalha que o gás pode ser “sugado” para a parte exposta do aterro por meio de bomba do compressor, melhorando a linha de produção do gás. O mesmo autor aponta que o uso mais comum é como combustível em motores típicos a explosão de gasolina como um gerador elétrico. Outra utilidade do gás de aterro é o seu uso em caldeiras a gás para aquecimento de processos.

A figura 6 representa a vista original do aterro Bandeirantes desativado, com a estrutura do método de rampa utilizada em terrenos com declive, em que os resíduos vão sendo depositados e compactados, utilizando-se de máquinas e equipamentos com essa finalidade. O abastecimento do aterro deve seguir a declividade do terreno existente, com o recobrimento necessário no final de cada etapa de trabalho, prosseguindo até que as células em construção atinjam o topo do declive da parte superior e lateral, formando uma espécie de escadaria de grande extensão. Esta construção continua até que os diversos patamares ocupem toda a área projetada. As rampas aos poucos preenchem as células e as mesmas complementam os patamares, os quais por sua vez consolidam o maciço projetado sobre a área do aterro, (OBLADEN *et al*, 2009).

Figura 6 – Vista da área em declive do aterro Bandeirantes desativado

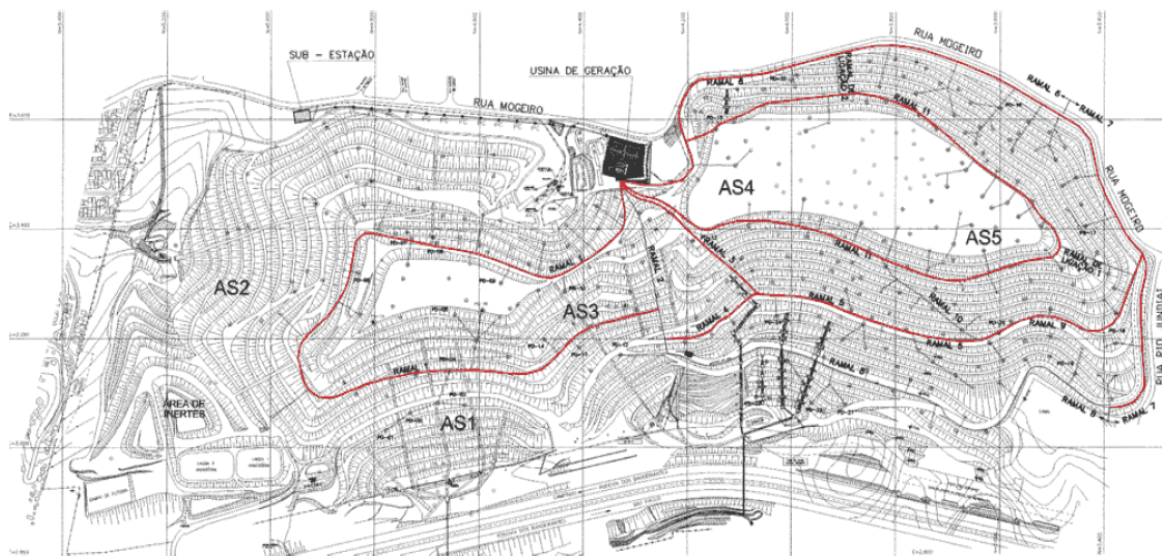


Fonte: A autora em visita *in loco* (27/04/2011)

Aterros sanitários, como é o caso do aterro de Bandeirantes, projetados e construídos de acordo com as normas estabelecidas da ABNT, indicam a possibilidade de maximizar a diminuição dos processos erosivos e de deslocamento de massas, ou melhor, deslizamentos de volumes de resíduos assentados.

De uma maneira geral, com exceção da remoção de certas impurezas ou partículas, esse tipo de gás pode ser utilizado diretamente em caldeiras e motores, ou ainda, em alguns países, ocorre a separação do metano, deixando esse gás quase puro, para ser injetado a rede de gás natural. No caso do Aterro Bandeirantes, o projeto inicial foi dividido em cinco células, chamado AS-1, AS-2, AS-3, AS-4 e AS-5. As 3 primeiras são as mais antigas, operando de 1978 até 1995. A figura 7 apresenta uma visão geral das células de aterro (BLFGE, 2011).

Figura 7 – Esquema técnico da Usina de Gás e a disposição das células



F

onte: BLFGE(2011)

A estação de tratamento de gás bem como a usina de energia são descritas como "Usina de Geração". O projeto foi dividido em duas etapas, sendo as células AS-4 e AS-5 as mais recentes.

As linhas em evidência no esquema técnico da Usina de Gás, contornando as regiões próximas das células, são os modais de transporte do biogás, conforme destaca-se na figura 8.

Figura 8 – Vista dos modais de transporte do biogás

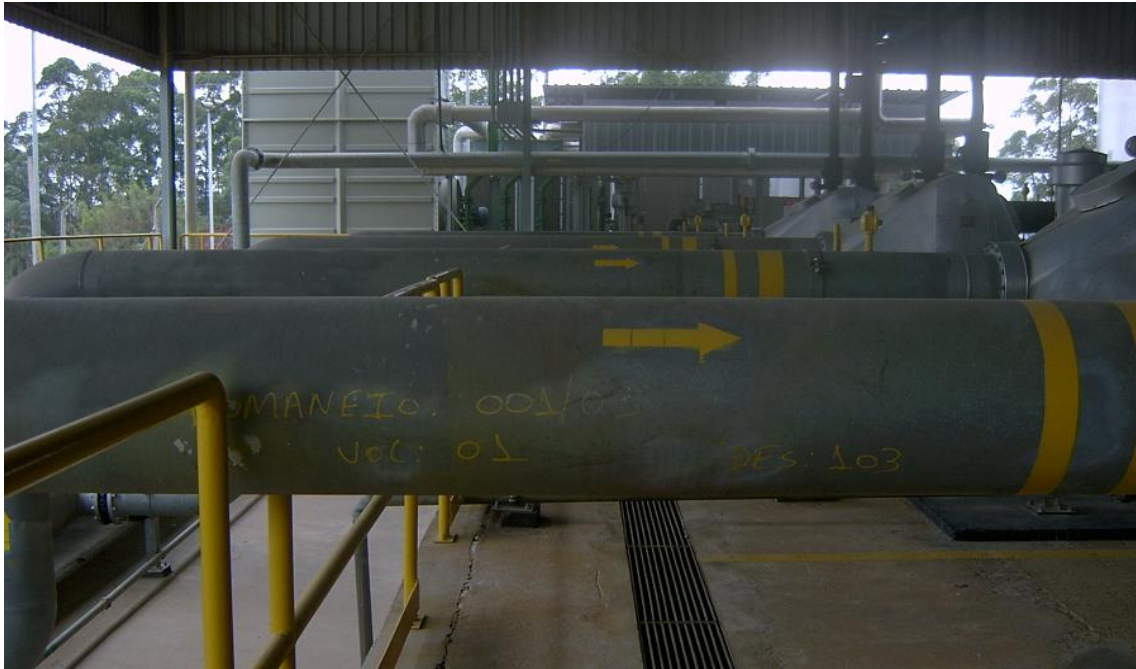


Fonte: A autora em visita *in loco* (27/04/2011)

O gás de aterro deve ser transportado das células até a usina de geração de energia, porém sofre um resfriamento ao longo do caminho pela troca de calor nas tubulações, este processo resulta em um condensado. Este é drenado por meio de eixos colocados nas proximidades dos canos de gás.

Uma vez nas instalações de desgaseificação, o gás de aterro é resfriado novamente para remover a umidade. As figuras 9,10 e 11 mostram estas etapas de drenagem, aquecimento, resfriamento, já próximo a usina de geração de gás. Há 4 trocadores de calor para a retirada de toda a umidade do gás que vem do aterro, além de tirar a umidade, após o soprador (4 instalados) a temperatura não ultrapassa 60°C. O gás chega a uma temperatura, em dias quentes, em torno de 30°C, essa etapa é realimentada, resfriando e aquecendo até que o gás fique sem umidade. O gás ganha temperatura novamente, em torno de 40 a 45 °C e é enviado a uma única linha ramificada para a etapa de geração de energia.

Figura 9 – Vista dos 4 trocadores de calor na entrada da Usina de Biogás Bandeirantes



Fonte: A autora em visita *in loco* (27/04/2011)

Figura 10 – Vista dos 4 sopradores após a etapa dos trocadores de calor



Fonte: A autora em visita *in loco* (27/04/2011)

Figura 11 – Vista do resfriador para retirada do condensado após a etapa dos sopradores

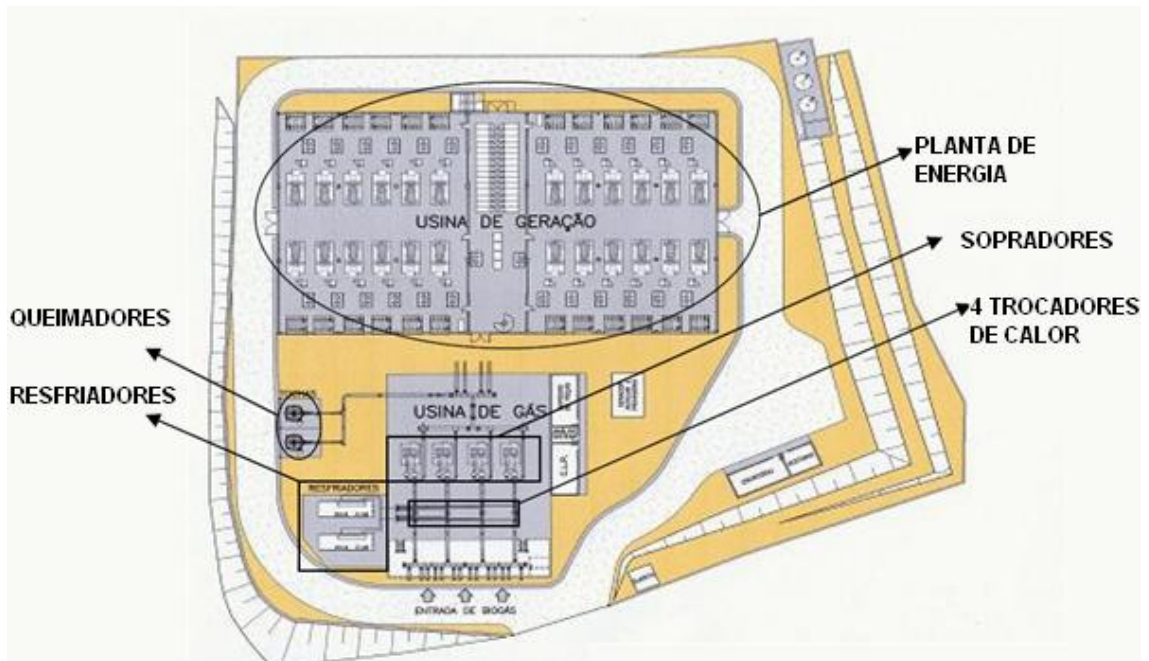


Fonte: A autora em visita *in loco* (27/04/2011)

Todo esse processo tem a finalidade de tratar o gás, pois o condensado pode conter componentes de silício, que bloqueariam os tubos de gás e também os motores para a queima do metano. Após esta etapa, o gás é aquecido novamente por meio de um trocador de calor, a uma temperatura de cerca de 20° C, distante do ponto de gotejamento ou orvalho que é cerca de 4° C, evitando assim uma condensação ainda maior.

Pode-se considerar então, como descrito no em BLFGE (2011), duas unidades produtivas principais, destacadas na figura 4 a seguir, as instalações de degaseificação – **USINA DE GÁS** e a **USINA DE GERAÇÃO**. No setor de Usina de Gás, o biogás é extraído e transportado para os motores a gás da usina. Durante o transporte na linha de produção, o gás passa por um sistema de desumidificação que permite o seu uso como combustível para a geração de energia. Também neste setor, é que são feitas medições e análises quantitativas e qualitativas para segurança e funcionamento do processo (Figura 12).

Figura 12 – Planta de Tratamento do Biogás e Planta de Geração de Eletricidade



Fonte: BLFGE (2011) - adaptado pela autora

Depois da coleta e antes do início do processo de produção, de modo geral segundo Tolmasquim (2003), o biogás é tratado, removendo-se mais algum condensado, outras partículas e impurezas em geral. Depois desta etapa é que o gás está em condições adequadas para utilização, porém nos gasodutos, um tratamento extensivo para remover o CO_2 é indispensável.

Na aplicação de uso do biogás para a geração de energia, podem ser utilizados filtros para a remoção de impurezas, evitando danos nos componentes dos motores ou das turbinas, comprometendo a eficiência do sistema.

Os ventiladores são usados para o transporte do gás do aterro aos motores, por meio de sucção e pré-pressão. A capacidade e pressão são ajustadas através do controle de frequência que aciona os motores. Além disso, a parte de ventilação, inclui um sistema de segurança para diminuir o ruído (Figura 13).

Figura 13 – Vista do motor de sucção, pré-pressão e ventiladores



Fonte: A autora em visita *in loco* (27/04/2011)

Ao lado do sistema de desgaseificação, medidores e análises são feitas por meio de instrumentos presentes em um sistema de supervisão. Estes instrumentos monitoram o processo, os sistemas de segurança, e o funcionamento dos equipamentos.

Depois da análise e medição o gás é transportado como um combustível para os motores a gás, que convertem o gás em acionamento elétrico, afim de gerar energia elétrica. Um excedente ocasional do gás de aterro pode ser queimado pelas chamas dos flares, como mostra a figura 14, por questões de segurança, excedente a capacidade de queima dos motores ou em momentos de manutenção do sistema.

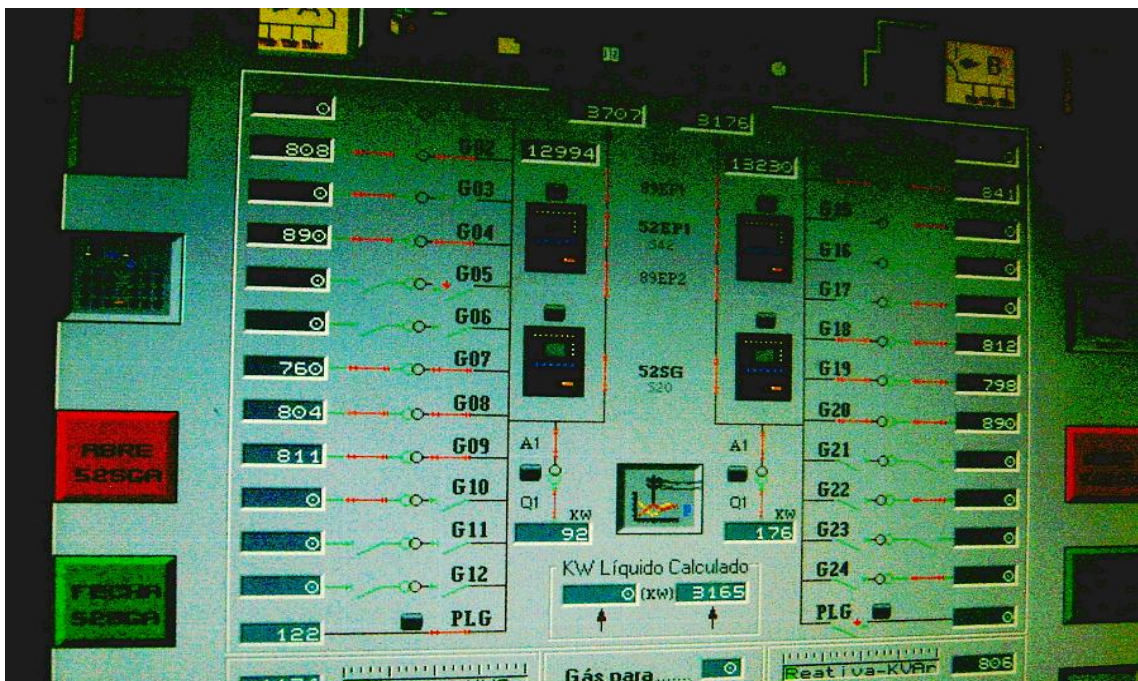
Figura 14 – Vista dos dois flares



Fonte: A autora em visita *in loco* (27/04/2011)

Todo o processo é controlado através de um sistema de supervisão. Este sistema de controle é fornecido com um CLP (Controlador Lógico Programável) e pode ser visualizado na figura 15.

Figura 15 – Vista do Sistema CLP, mostrando os 24 motores em operação, sendo 2 deles de funcionando como redundância



Fonte: A autora em visita *in loco* (27/04/2011)

Todos os sinais de processo medidos são processados pelo CLP para controlar os sinais de saída dos sistemas de refrigeração à gás, ventiladores, flares e dos motores a gás. O processo é supervisionado por um sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), com uma tela de visualização em computador. Com este sistema é possível controlar e monitorar a instalação remotamente, inclusive através da *internet*.

Para geração de eletricidade, a instalação conta com 24 motores da marca Caterpillar, com capacidade nominal de 925 kW (Kilowatts), 3516 A (amperes), para realizar o processo de conversão. A conversão consiste em queimar o gás e gerar energia, a energia ali produzida é então enviada para o sistema de distribuição de energia elétrica da Eletropaulo distribuidora, fornecendo energia para uma parte da região metropolitana de São Paulo.

2.3 Considerações sobre a produção e regulação de gás de aterros para geração de electricidade

Tolmasquim (2012) destaca que a política energética brasileira visa garantir o acesso a toda a população nos serviços de qualidade a preços justos, mantendo o comprometimento com a preservação do meio ambiente e o manejo sustentável dos recursos naturais.

Esta política contribui na mesma medida para o progresso econômico e social e a manutenção de uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo. Tolmasquim (2012) destaca ainda que os estudos no setor de planejamento energético incorporam o conceito de sustentabilidade ambiental, declara ainda que o foco em alternativas de maior sustentabilidade está balizado pelas atuais discussões internacionais apresentada na COP-15 realizada em Copnhague e reiterada na Conferência de Cancun – COP -16 e portanto, em consonância com estes acordos, os compromissos assumidos pelo Brasil foram formalizados pela lei nº 12.187/09, que estabeleceu as metas voluntárias de mitigação de GEE até 2020 por meio de diversas ações.

Não há uma legislação específica que regule o uso do gás de aterro para a produção de energia. Fecuri (2004), descreve sobre esse assunto de que na

prática, há o surgimento de um contrato administrativo atípico (distanciando-se, portanto, da teoria da tipicidade dos contratos administrativos) que tem sido denominado de "concessão para a exploração de GBQ (gás bioquímico)", celebrado entre o Município e um particular, cujo transpasse é precedido de autorização legislativa e de licitação na modalidade concorrência. Assemelha-se ao contrato de concessão de gás natural, regido pela Lei nº 9.478/97, em que é autorizada a pesquisa e lavra das jazidas de petróleo e gás natural.

Fecuri (2004) reforça que “não é, todavia, legalmente disciplinado”, quando faz referência a uma legislação específica de biogás. Neste instrumento há uma cláusula concedendo o uso do espaço público (aterro sanitário) e a exploração do material nele depositado por terceiro particular, bem como o prazo de duração da fase de exploração e as condições para sua prorrogação. Ao concessionário é garantida a propriedade do produto da exploração. O terceiro particular e interessado em participar da licitação deve possuir autorização da **ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica** para atuar como produtor independente de energia e se responsabiliza pelo financiamento total da obra, cuja amortização somente ocorrerá após a sua finalização. O Município terá participação nos resultados da exploração, nos termos contratuais, que também poderá traduzir-se em utilização de uma parcela da eletricidade gerada no local, que iluminará escolas, hospitais e outros edifícios públicos municipais.

Um produtor independente, segundo a ANEEL (2012), “é pessoa jurídica ou consórcio de empresas titular de concessão, permissão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco” - **Resolução Normativa ANEEL n. 109, de 26 de outubro de 2004 (Diário Oficial, de 29 out. 2004, seção 1, p. 196).**

Outro exemplo de produtor independente a ser implantado em 2013, para produção de energia elétrica, é a Usina Termelétrica BioTérmica Recreio, localizada no Município de Minas do Leão, no estado do Rio Grande do Sul.

A capacidade instalada será de 6,3 MW com utilização de gás de aterro sanitário, o biogás, e com acesso a conexão de 23 KV na subestação Areal, da companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul. O biogás ali gerado, que também servirá para alimentar a usina, é proveniente do destino do lixo de mais

de 135 municípios gaúchos, representando 35% da população do estado, gerenciado pela SIL Soluções Ambientais Ltda.

O aterro recebe aproximadamente 2 mil ton/dia, gerando em média 4 mil Nm³/hora de biogás, destes 50% de metano, isto quer dizer que 2 mil Nm³/hora são produzidos de CH₄. Em acordo com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), nos termos do protocolo de Kioto, o biogás será totalmente queimado na usina associado a combustão ou queimado em aparelho do tipo flare do excedente não consumido na Biotérmica.

O flare já encontra-se em operação, a biotérmica terá isenção nos encargos de acesso à rede elétrica, por utilizar fonte primária incentivada – energia proveniente no biogás de aterro sanitário – não ultrapassando os limites aplicáveis de injeção na rede, garantindo o consumo contínuo da usina com previsão até 2025 a partir da geração de 6MW.

Em 14/06/2011, a diretoria da ANEEL autorizou a Ecourbis Ambiental S/A a atuar como autoprodutor de energia, através da implantação e exploração da Usina Termelétrica (UTE) Sapopemba, em São Paulo.

Autoprodutor de energia elétrica é a pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo. **Decreto n. 2.003, de 10 setembro de 1996 (Diário Oficial, de 11 set. 1996, seção 1, p.17917)**

O projeto consiste de 16 geradores com capacidade total instalada de 25,6 MW, isto possibilita que a usina utilize o biogás de aterro sanitário como combustível primário. A empresa terá como meta a implantação e exploração no sistema de transmissão de interesse restrito da UTE Sapopemba, utilizando para isso uma subestação conectada diretamente a rede de distribuição da AES Eletropaulo.

Neste empreendimento com base no uso de biogás de aterro sanitário como fonte geradora de energia elétrica, a potência injetada é menor que 30 MW, conforme previsto na legislação, e portanto, a empresa tem direito a incentivos tarifários, como redução no percentual da Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TSUT), conforme Resolução Normativa nº 077/2004 e alteração Resolução Normativa nº 271, de 3 de julho de 2007.

[...] Art. 1º Estabelecer, na forma desta Resolução, os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, aplicáveis aos empreendimentos hidrelétricos com potência igual ou inferior a 1.000 (mil) kW, para aqueles caracterizados como pequena central hidrelétrica e àqueles com base em fontes solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 30.000 (trinta mil) kW, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos aproveitamentos”. [...]

[...] Art. 3º Fica assegurado o direito a 100% (cem por cento) de redução, a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos empreendimentos a que se refere o art. 1º desta Resolução, desde que atenda a uma das seguintes condições:

IV – aqueles que utilizem como insumo energético, no mínimo, 50% (cinquenta por cento) de biomassa composta de resíduos sólidos urbanos e/ou de biogás de aterro sanitário ou biodigestores de resíduos vegetais ou animais, assim como lodos de estações de tratamento de esgoto. [...]

[...] Art. 2º A ementa da Resolução Normativa nº 077, de 2004, passa a vigorar com a seguinte redação:

“Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidroelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão e distribuição seja menor ou igual a 30.000 kW”. **Resolução Normativa N° 271, de 3 de Julho de 2007 - Altera a redação dos arts. 1º e 3º da Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004.**

Vale ressaltar que a ANEEL (2012) apontou em seu diagnóstico a existência de 2685 empreendimentos geradores de energia elétrica no Brasil, de diferentes fontes, instalados e em operação, segundo dados sintetizados até setembro de 2012 no relatório de Informações Gerenciais da ANEEL.

As fontes geradoras das UTE respondem por 1580 empreendimentos e podem ser classificadas por tipo, renováveis e não renováveis, como o gás, petróleo, biomassa, carvão mineral e outras fontes. conforme representado na tabela 9, em detalhes.

Tabela 8 – Empreendimentos em Operação de Usinas Termelétricas por tipo no Brasil. Adaptado de ANEEL

Tipo		Potência Instalada		
		Nº Usinas	KW	%
Gás	Natural	105	11.550.013	35,6 %
	de Alto Forno	15	304.555	0,9 %
	de Processo	9	649.920	2,0 %
	siderúrgico	1	278.200	0,9 %
	de Refinaria	8	328.000	1,0 %
Petróleo	Óleo Diesel	942	3.394.829	10,5 %
	Óleo Combustível	34	3.805.311	11,7 %
Biomassa	Bagaço de Cana de Açúcar	358	8.027.644	24,8 %
	Licor Negro	14	1.235.643	3,8 %
	Resíduos de Madeira	39	321.135	1,0 %
	Biogás	20	79.608	0,2 %
	Capim Elefante	2	31.700	0,1 %
	Carvão Vegetal	3	25.200	0,1 %
	Casca de Arroz	8	32.608	0,1 %
Carvão Mineral				
Outros	Enxofre	5	59.688	0,2 %
	Efluente Gasoso	2	211.320	0,7 %
	Outros	3	134.403	0,4 %
Total		1.580	32.413.831	100,0 %

Fonte: ANEEL (2012)

Destes, considera-se 32.418.181 KW de potência instalada, dos quais 20 são provenientes do Biogás, contribuindo apenas com 0,2 % da capacidade instalada, com aproximadamente 80 mil KW, produzindo em média 4mil KW por usina. Sem dúvida a estratégia de aproveitamento energético do bagaço da cana de açúcar contribui, em relação ao tipo biomassa como usina termelétrica, quase 25% de todos os tipos geradores das UTE.

Ao analisar a tabela 8, especificamente no tipo de geração termelétrica à partir da biomassa, pode-se considerar que em torno 95% da recuperação energética, no tema resíduos no Brasil, está concentrada no setor sucroalcooleiro, a partir da queima do bagaço.

Já no segmento papelheiro, em relação ao aproveitamento do licor negro ou lixívia negra, resultado do processamento da madeira no processo de extração da celulose. Segundo Silva (2002), utilizado como combustível em usinas de cogeração na própria indústria de celulose, havendo uma contribuição de 3,8% como geração de energia elétrica como mostra os resultados da mesma tabela.

Entre as usinas termelétricas à biomassa em operação, quase 0,2% tem origem nas 20 usinas geradoras de biogás, totalizando pouco mais de 79 megawatts instalados. A partir de experiências bem sucedidas, como no caso da Alemanha, é possível avaliar ganho significativo no balanço energético, considerando a parcela de materiais que poderiam ser reciclados antes de serem encaminhados para os aterros.

Na medida em que há reconhecidamente um aumento da destinação adequada final dos resíduos sólidos no país e um incremento no interesse por projetos de recuperação energética, através do biogás ali produzido, surgem diferentes objetivos que demandam outros interesses, principalmente em relação ao uso de fontes de energia alternativa por outros países, que não sejam voltados a valorização do RSU como insumo energético.

Analisando o uso de fontes alternativas na Alemanha, para a produção de energia, destaca-se que Herr e Rostek (2011) apontaram no relatório *Biogaspartner – a joint initiative. Biogas Grid Injection in Germany and Europe – Market, Technology and Players*, da **DENA - Deutsche Energie-agentur GmbH - German**

Energy Agency, autoridade governamental na Alemanha que regula o setor de energia nesse país e promove iniciativas colaborativas na Europa, Rússia, China e outros países, um forte uso do biogás proveniente de recurso agrícola especificamente na Alemanha.

Porém as diretrizes que apontam investimentos nos diferentes tipos de energias alternativas, advém de inúmeros fatores particulares e característicos de cada país ou cidade. Os mesmos autores apresentam que o uso em larga escala da produção do milho como biogás é uma característica de alta dependência de importação, sendo que 97 % de petróleo e 85% de gás natural consumidos na Alemanha são importados.

Biometano é gerado a partir de recursos renováveis e dejetos orgânicos. Também apontam prognósticos oficiais de 10 % de crescimento da demanda por biogás até 2030.

As projeções na Alemanha levam em consideração metas que vão permitir o país importar menos gás natural e simultaneamente aumentar a segurança energética. Herr e Rostek (2011) reforçam as vantagens em relação ao biometano, pela flexibilidade da aplicação, podendo ser usado para gerar eletricidade, calor ou como combustível de automóvel. Destacando-se que a geração de calor faz referência a injeção do biometano ou biogás na linha de gás natural para queima, produzindo aquecimento.

Mas, Kohler (2012), chefe da Agência de Energia da Alemanha, destaca “que o país deve agir de maneira mais inteligente e realista em sua transição para a energia renovável” (tradução feita pela autora). A Alemanha tem um forte investimento em energia fotovoltaica e eólica, e que as projeções de alcance das metas até 2025, por estimativa, serão atingidas com superação. Porém, a preocupação da entidade governamental, recai quando surge a questão de otimização do recurso.

O incremento de novos projetos dessa natureza eleva um favorecimento financeiro para as famílias que se beneficiam com estas tecnologias, alertando para novos estudos de viabilidade financeira, operacional e tecnológica.

A exemplo, como a contribuição em termos de horas de energia em relação ao recurso renovável como a energia solar é de **1:8,8 horas/ano**. Outro problema apontado é a descentralização desses sistemas no país, sendo um recurso que na sua contabilização energética, como um único **grid energético**, é praticamente inatingível, comprometendo assim, a prometida revolução energética na Alemanha.

Já nos Estados Unidos, segundo relatório publicado pela USEPA (2012), as energias renováveis, exceto as hidroelétricas, tiveram um incremento de energia a partir de fontes renováveis, cerca de 13% do total de geração de eletricidade dos EUA em escala de utilização para o ano de 2011. A maior parte da energia renovável gerada vem de energia hidrelétrica (63%), seguido por fonte eólica (23%), madeira biomassa (7%), resíduos de biomassa (4%), geotérmica (3%) e solar (<1%).

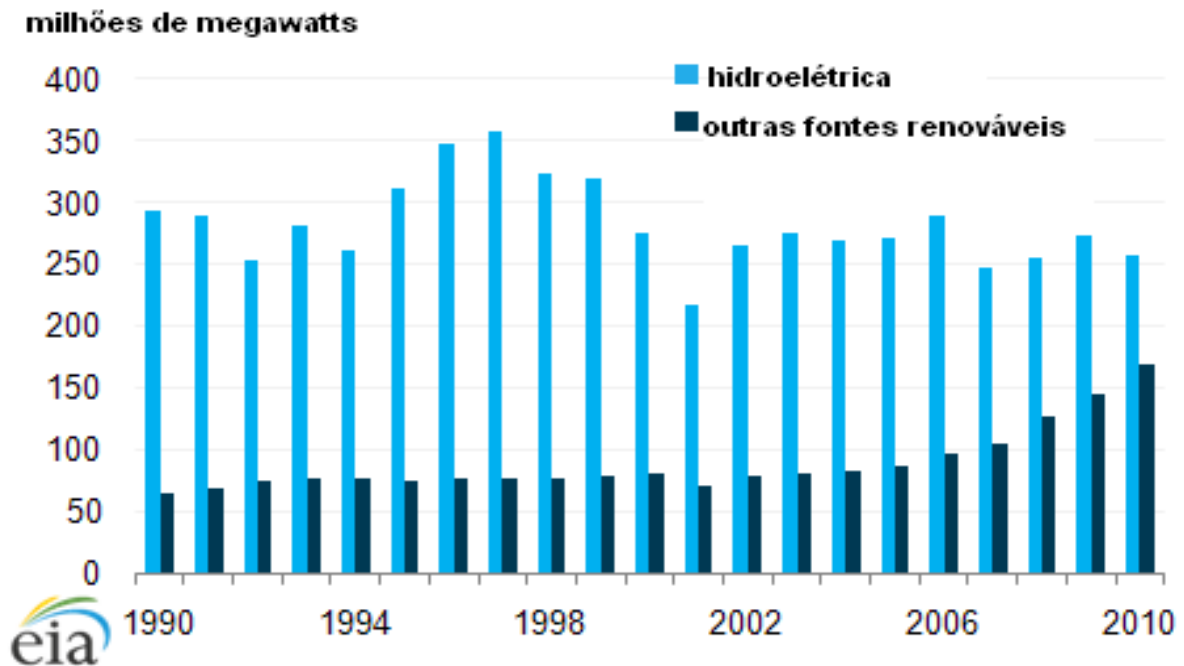
A geração de eletricidade a partir de recursos renováveis é primariamente uma função da capacidade de geração e da disponibilidade do recurso. A história da geração de energia elétrica tem sido diferente para cada fonte renovável.

Nos EUA, quase toda a capacidade hidrelétrica foi construída antes de meados dos anos 1970, as barragens são operadas por agências do governo federal. A contribuição das fontes renováveis, para geração de energia nos EUA, nos últimos 10 anos, de 1990 a 2010, conforme relatório da USEPA (2011), representadas no gráfico 2, aponta que nos estados em que há menos recurso dos ventos como fonte renovável, a biomassa e a geotérmica representam maior contribuição energética.

Além das energias renováveis americanas citadas no parágrafo anterior, a hidroelétrica respondeu por 60% de geração renovável de energia em 2011, sendo que a hidráulica foi o principal recurso energético em 8 dos 10 estados, evoluindo de forma diferente para cada estado americano.

A produção de energia americana à partir das hidroelétricas depende da água e pode variar significativamente de ano para ano. Essa variação anual afeta a geração de energia hidrelétrica, refletindo na contribuição global do *mix* de energias renováveis na produção no EUA.

Gráfico 2 – Geração de eletricidade por hidroelétrica e outras fontes renováveis nos EUA



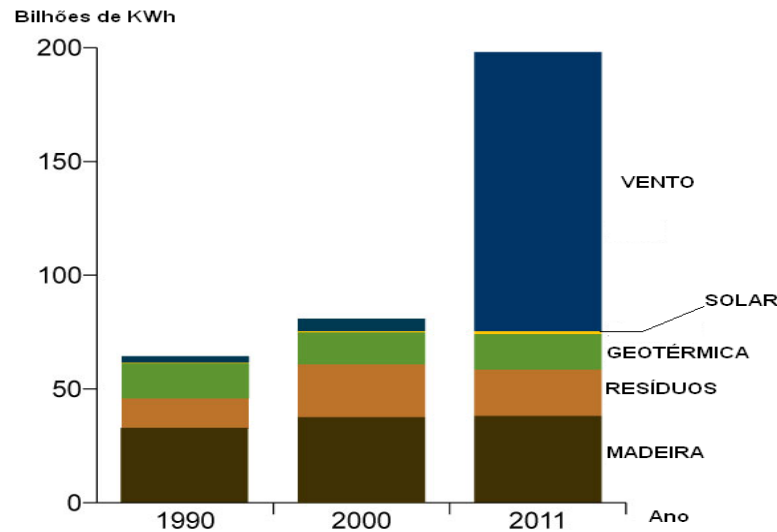
Fonte: USEPA (2011) - adaptado pela autora

No período de 1990 a 2010, a maior produção pela fonte das hidroelétricas, teve seu pico máximo, em mais que 350 milhões de MWatts, entre 1997 e 1998, mantendo uma oscilação média de 285 milhões de MWattsano. Essa oscilação é provocada pela drenagem de água na região, através da variação de precipitação das chuvas, da quantidade de neve formada na região no inverno, acumulada nas regiões montanhosas.

Situações opostas podem ser encontradas em diferentes regiões dos EUA devido as diferenças sazonais e climáticas de muitos estados. Dependendo da estação climática do ano e das condições da precipitação das chuvas, a parcela de geração hidroelétrica total pode variar entre 4 % a 10 %, de região para região.

Este é um dos incentivos a outras formas de energia renovável, pois desempenham um papel cada vez maior na determinação da contribuição global dos recursos energéticos renováveis, para compor o *grid* de abastecimento de energia nos EUA, como representa o gráfico 3.

Gráfico 3 – Contribuição das energias renováveis, desconsiderando as hidroelétricas, nos EUA



Fonte: USEPA (2011) – adaptado pela autora

A disponibilidade de biomassa (madeira e resíduos) e energia geotérmica evoluiu de forma consistente, ao longo de 11 anos. A característica americana impulsionou a energia eólica e muito timidamente a solar, ambas dependem de mudanças diárias e sazonais, que resultam na flutuação ampla de geração.

Neste sentido, os EUA mantêm um programa denominado de *Renewable Portfolio Standards (RPS)* que é um padrão de energia renovável. São políticas que incentivam de forma compulsória ou voluntária o alcance de metas para o uso de energias renováveis, que não sejam as hidroelétricas.

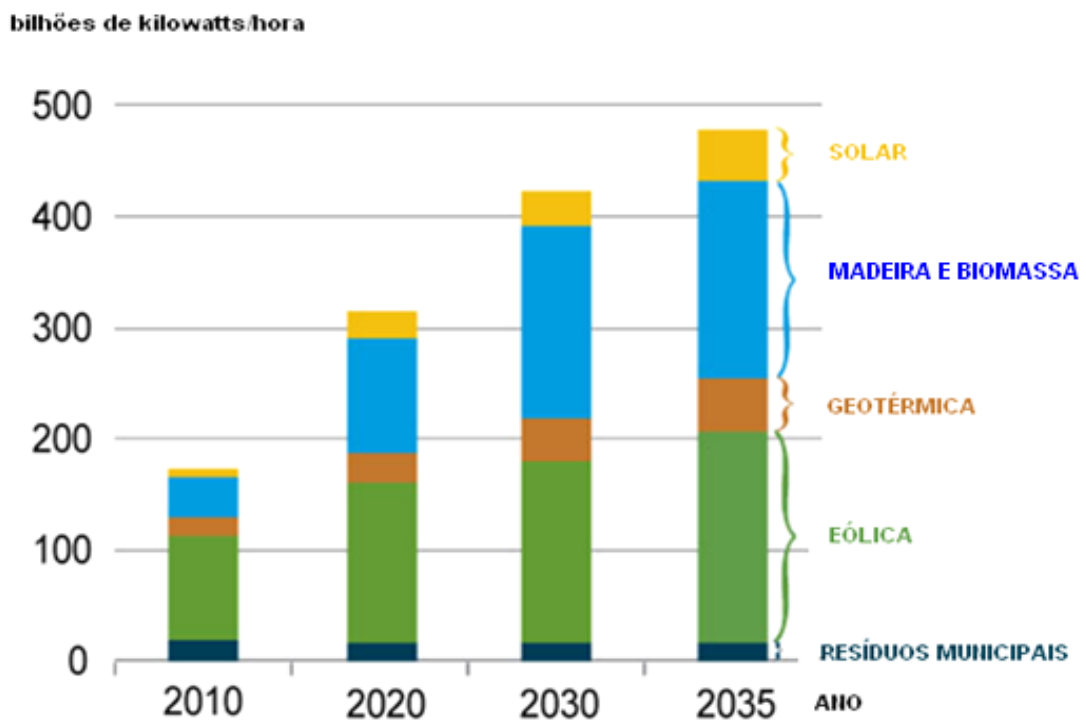
Geralmente, esse estímulo é elegível em função de políticas próprias em cada jurisdição estadual. A combinação do uso desses recursos podem incluir a eólica, geotérmica, algumas pequenas centrais hidroelétricas (PCH), solar, biomassa, além de outros recursos como o gás de aterro sanitário e energia das marés.

Estudos apontados no relatório *USEPA (2012)*, indicam que as projeções nos EUA de 2010 a 2035, desconsiderando as hidroelétricas, na geração de energia renovável em capacidade, apresenta o dobro de produção ao longo desse período como destacado no gráfico 4. Contabilizando o maior volume para a energia eólica, na qual a capacidade passa de 120 para 210 bilhões de quilowatts de 2010 à 2035.

A projeção aponta para o crescimento na utilização da capacidade solar, concentrando-se principalmente entre 2025 e 2035, quando a tecnologia se tornará

mais competitiva. O gráfico 4 aponta também que a capacidade geotérmica quase triplica para o período de 2035, porém representa apenas 10% da capacidade global de geração para renováveis. No entanto, as projeções para os RSU, como energia renovável, são mantidas constantes, e gira em torno de 6% da energia da biomassa total consumida nos Estados Unidos. RSU contém biomassa ou materiais biogênicos como papel, papelão, restos de comida, aparas de relva, folhas, madeira e produtos de couro e outros materiais de biomassa não-combustíveis, principalmente plásticos e materiais sintéticos feitos a partir do petróleo.

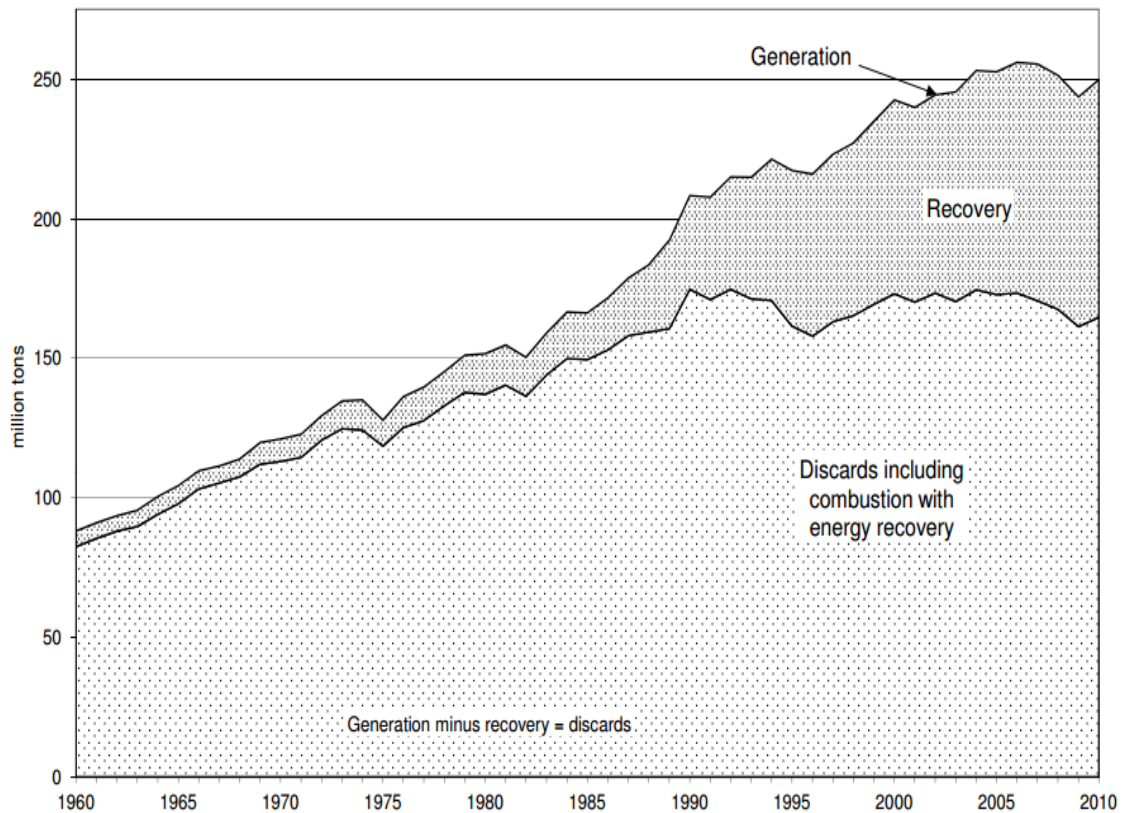
Gráfico 4 – Projeção da capacidade de geração de eletricidade renovável por fonte de energia, 2010-2035



Fonte: USEPA (2012) – adaptado pela autora

Os americanos produzem mais e mais resíduos a cada ano. Em 1960, o americano médio jogou fora 2,7 quilos de lixo por dia. Ao longo de 50 anos, o gráfico 5, mostra a evolução do descarte, recuperação e geração de energia. Em 2010, cada americano jogou fora cerca de 4,4 quilos de lixo por dia. Desse total, cerca de 1,5 quilos são reciclados ou compostados. A conta não fecha, restando queimar a diferença. A queima é as vezes chamada de combustão. Cerca de 66% do lixo doméstico americano é o material que vai ser queimado

Gráfico 5 – *Recovery and discards of materials in MSW, 1960 to 2010. Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States, december, 2011*



Fonte: USEPA (2012)

Por outro lado, a USEPA (2012), em seu *Landfill Methane Outreach Program (LMOP)*, que apresenta dados relacionados a aterros sanitários americanos, divididos entre 594 projetos de aterros em operação e 540 locais candidatos. Devido a imprecisão dos dados disponíveis, em que há diferença entre projetos de aterros e aterros em operação, considera-se para este trabalho a média entre as duas bases de dados, isto ocorre, por conta das limitações de comunicação voluntária, sendo que a informação contida na base de dados do LMOP advém da compilação de uma variedade de fontes, incluindo anuais submissões voluntárias dos parceiros LMOP e da indústria.

O projeto LMOP incentiva o uso criativo de gás de aterro – *LFG*, incluindo o aquecimento de estufas, produção de eletricidade e calor em aplicações de cogeração, utilização em fornos de tijolos, utilização direta em gasoduto, abastecimento de caminhões de lixo e fornecimento de combustível para a indústria química e automobilística.

Concentrando a atenção no uso para geração de eletricidade, a média produzida nos EUA é de 1976,53 MW, por esses aterros em operação, indo de uma capacidade de produção de 0,1 MW até 50MW, com projeções de funcionamento até o ano de 2035. Já os aterros candidatos, 540, que são aterros que ainda estão aceitando resíduos ou foram fechados por cinco anos ou menos, tem pelo menos um milhão de toneladas de resíduos, e não tem em funcionamento ou em construção, projetos de energia de biogás, ou seja, designação com base em um interesse real ou de planejamento.

Voltando-se para o Brasil, e com as considerações de SNIS (2009), apenas 37,9% do esgoto gerado no país é tratado. O setor de água e esgoto representa 2,6% do consumo de eletricidade de todo o país, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, 2008, e portanto estas são as motivações para as quais o plano Eficiência Energética de 2010-2030 elencou o setor de saneamento como uma de suas áreas prioritárias. Sendo que até o presente momento, a recuperação energética de resíduos no Brasil está concentrada quase que em sua totalidade (mais de 98%) no setor sucroalcooleiro, a partir da queima do bagaço. A participação de outros resíduos na matriz energética, apesar da sua magnitude, é praticamente inexistente, na síntese de Britto *et al* (2011).

Finalmente, fechando a questão de regulação para este segmento, Gardner *et al* (2012) apontam em seu relatório sobre a regulação do gás gerado em aterro sanitário para a produção de energia elétrica. No contexto do panorama nacional brasileiro, de que há a necessidade de construir uma regulação específica neste setor

Gardner *et al* (2012) apresentam que a geração per capita de RSU tem aumentado de 2008 para 2010; quase 7 milhões de toneladas de RSU deixam de ser coletados anualmente o que implica na destinação inadequada em lixões, valas, terrenos baldios ou beiras de rios. Os mesmos autores destacam que 55% dos resíduos sólidos domiciliares no Brasil apresentam em sua composição matéria orgânica, que ao serem dispostos adequadamente em aterros sanitários, geram chorume e gases de efeito estufa.

Gardner *et al* (2012) reforçam que em 2010, 57,6% dos RSU foram depositados adequadamente, por 2.164 municípios, em aterros sanitários brasileiros,

no entanto 1760 municípios encaminharam seus resíduos para aterros controlados e 1641 para lixões que necessitam de remediação.

Assim, Gardner *et al* (2012) apontam que o poder público enfrenta dificuldades para financiar, executar e ampliar a estrutura necessária à prestação dos serviços de coleta e limpeza urbana e também a destinação final adequada dos RSU.

Para referenciar estes números, Gardner *et al* (2012) imprimem o valor médio aplicado no ano de 2010 na coleta de RSU por habitante é de R\$ 44,52 e a limpeza urbana tem um custo médio anual de R\$ 74,88/hab, dos quais são considerados deficitários pelas municipalidades, cuja contratação é uma prestação de serviços indireta, mediante procedimento licitatório, regulados pela lei de nº 8.666/93 e a concessão e permissão dos serviços públicos estão dispostos pela lei de nº 8,987/95, e que não acarretam para este trabalho de pesquisa maiores explanações, bastando apenas a sua objetiva citação.

As dificuldades apontadas Gardner *et al* (2012) em relação a execução das atividades pelo poder público podem ser enunciadas a seguir a exemplo do cenário pesquisado neste trabalho. A Usina Termoelétrica Bandeirantes foi formalmente considerada como aterro em 2001 e iniciou a operação de captação de gás em 2004.

Na administração pela empresa Biogás Energia Ambiental SA, obteve a concessão da Prefeitura Municipal de São Paulo, por meio de procedimento licitatório pelo período de 15 anos. Há uma estimativa aproximada de investimento de 30 milhões de dólares em relação ao custeio total desse projeto, desde a sua concepção até a implantação, considerando equipamentos, tubulações, máquinas, construção de aproximadamente 280 poços de captação de gás, operação da usina e pessoal envolvido.

Cada tonelada de resíduos domiciliares gera em média 200 m³ de biogás. Este aterros registrou, no período de agosto de 2004 a outubro de 2011, uma produção média diária total de 438.813.886 m³ de biogás, considerando o percentual de CH₄ de 48,21%.

Isto resulta em uma produção total média diária de CH₄ de aproximadamente 212.245.827 m³. De 2004 até 2010, a usina já obteve 3.663.368 certificados de emissões reduzidas – CERs, com 17 verificações registradas pelo MDL, aguardado já a 18ª verificação para obter mais 228,197 créditos de carbono, dos quais 50% são destinados a Prefeitura do Município de São Paulo que os comercializa através da venda em leilões.

Aproximadamente 51 milhões de reais já foram arrecadados com a venda dos créditos de carbono. O total de eletricidade incrementada a rede pública pela usina chega a 714.403 MW, de 2004 a 2011, isto implica em afirmar que em média, 102.000 MW ao ano são produzidos pela usina Bandeirantes, BLFGE (2011).

Desta maneira pode-se resumir algumas necessidades do setor, que devem ser consideradas para efeitos da inclusão deste segmento na matriz energética. A utilização do biogás proveniente de aterros para a geração de energia constitui um potencial de demanda promissor, cuja fonte, se faz presente em todos os aterros sanitários.

A tabela 9 retrata de maneira objetiva a compilação das fragilidades apontadas no relatório que trata da regulação da produção de energia elétrica proveniente do gás de aterro sanitário. Envolve três atores neste contexto, a prefeitura municipal, os órgãos regulamentadores e a própria usina. Assim partindo destas principais fragilidades que envolvem ações por parte da prefeitura e dificuldades técnicas e operacionais da usina Bandeirantes, são feitas algumas recomendações principais para nortear a regulação mais específica do segmento.

Tabela 9 – Fragilidades e Recomendações para regulação do setor de geração de eletricidade através de gás de aterro

FRAGILIDADES EM RELAÇÃO AO RSU E PRODUÇÃO DE ENERGIA		LEGISLAÇÃO ADAPTADA E RECOMENDAÇÕES
SETOR PÚBLICO	USINA BANDEIRANTES	
Intensificar ações para minimizar a geração na fonte	Administrar a qualidade do gás em função das variações climáticas diárias e sazonais	PROINFA, instituído em 2002, teve como um de seus objetivos a redução de emissão de gases de efeito estufa, aumentando a importância da utilização dos resíduos orgânicos como fonte de energia
		Resolução Normativa da ANEEL nº 390, aprovada em 15 de dezembro de 2009, que autorizou a comercialização dos excedentes de energia para todos os auto-produtores do Brasil
Avaliar tecnicamente os valores da taxa de limpeza incluindo a destinação do RSU	Monitorar poços de captação instalados quando o aterro ainda se encontra em operação, devido a constantes solicitações de mudanças de planos de instalações de poços	Recomenda-se a realização de estudos específicos para levantamento detalhado de custos de implantação e operação de aterros sanitários e usinas termoelétricas.
		Os empreendimentos dessa natureza em geral não disponibilizam planilha orçamentária para verificação de custos de implantação e operação. Estimação dos custos de forma global incluindo implantação, com todos os equipamentos necessários, e operação pelos investidores.
Diminuir a importação e equipamentos como flares da Itália e Suíça, medidores de vazão e analisadores de gás da Alemanha e Holanda, e , flares e motores dos EUA.	Identificar a localização de rompimentos nas tubulações devido a movimentos do maciço do aterro e oscilações da temperatura ambiente	Em pesquisas bibliográficas custos superficiais são citados como, por exemplo, valores estimados de motogeradores, mas considerando que muitos outros equipamentos são utilizados como sopradores, condensadores, flares, medidores, poços de captação de gás, construção de casa de máquinas, implantação de rede privada de energia até rede da concessionária local, funcionários qualificados, etc
		Adoção de instrumentos fiscais, privilegiando municípios que se enquadrem em critérios de preservação ambiental, como é o caso da implantação de aterros sanitários com aproveitamento energético

Implementar mais aterros sanitários	Melhorar o sistema tubulações, diminuindo o acúmulo de condensado, principalmente nas linhas secundárias que tem o diâmetro menor, impedindo a passagem do biogás	Disseminação de informações técnicas, nos municípios, sobre a construção e operação de aterros sanitários com aproveitamento de biogás e sobre as opções tecnológicas de geração de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos
		Estabelecimento de linhas de crédito por bancos de fomento com taxas favorecidas para construção de aterros sanitários com sistemas de aproveitamento de biogás, inclusive para aterros de médio porte
Remediar áreas contaminadas que são utilizadas como aterros controlados e lixões	Renovar a licença ambiental, que fica em análise por 2 anos, sem ter sido ainda emitida.	Penalização para prefeituras que mantêm lixões, sem nenhum controle ambiental ou aproveitamento energético
Incentivar o desenvolvimento de equipamentos e máquinas para projetos de gás de aterro no Brasil		Redução de imposto de importação
Ampliar a capacitação dos técnicos que atuam no segmento de RSU	Operar e capturar o gás de aterro preferencialmente realizado por uma única empresa	Preço diferenciado para venda de energia por se tratar de fonte renovável
		Incentivo para as indústrias comprarem energia proveniente de aproveitamento de gás de aterro sanitário
		Estudar possibilidade de redução de ICMS, para geração de energia a partir de biogás, que é de 30% dificultando o investimento no setor
		Simplificar e agilizar os trâmites para aprovação e obtenção de créditos e carbono

Fonte: GARDNER *et al* (2012). Compilação feita pela autora

Portanto, o potencial de aproveitamento do biogás gerado em aterros de disposição de resíduos sólidos é uma realidade tecnicamente dominada, como se apresenta o cenário aqui estudado, e economicamente cada vez mais atrativa, em especial no caso de aterros de grande porte. É necessário expandir esta oportunidade, no entanto para que haja um incremento da geração de energia elétrica, é preciso aumentar a formalização dos lixões e áreas que ainda recebem de forma descontrolada o RSU.

2.4 Considerações sobre Metodologias MDL aplicadas em aterros sanitários

As Metodologias MDL aplicadas em projetos de aterros sanitários produziram a base de dados e fazem parte de um acervo disponível publicamente na *web page* da UNFCCC, por MDL (2012), que disponibiliza um conjunto de ferramentas orientadoras para projetos MDL – Mecanismos de Desenvolvimento Limpo.

Na etapa inicial do projeto BLFGE (2011) foi definida uma estimativa média, entre 2004 a 2010, da redução da emissão de toneladas de CO₂, conforme a tabela 5, a seguir.

De acordo com a ACM0001 (MDL, 2011), uma das metodologias propostas pela UNFCCC, o cenário básico é a liberação na atmosférica do metano gerado, devendo ser queimado para cumprir os regulamentos ou requisitos contratuais. Inicialmente no aterro Bandeirantes, antes de operar como **BLFGE**, o gás de aterro era queimado de forma ineficiente em algumas cabeças de poços espalhadas pelo aterro.

Esse cenário inicial não tinha o objetivo de produção de eletricidade por meio de gás metano, o processo leva em consideração a prática de segurança, de maneira a minimizar os riscos decorrentes das temperaturas elevadas em função da decomposição biológica de resíduos.

Marquez (2001), aponta que a implementação de poços de drenagem para dissipação dos gases no interior do maciço do aterro Bandeirantes é necessário para controlar o risco de deslizamentos e explosões. Drenar o biogás e queimá-lo de forma a evitar as mudanças climáticas, a emissão de gases de efeito estufa, maus odores e a controlar o risco de deslizamentos e explosões, é uma prática que gera créditos de carbono descrita na metodologia MDL.

Os sistemas de drenagem podem ser ativos ou passivos. Nos sistemas passivos, o gás é liberado naturalmente, e para sistemas ativos, de acordo com Marquez (2001), que apresentam maior eficiência na coleta de gases, devido a aplicação de vácuo para forçar a drenagem. Em geral são, comumente, aplicados em aterros quando há reaproveitamento do biogás. Após a captação, os gases são conduzidos a pontos de queima controlada ou a centrais térmicas para a produção de vapor ou geração de energia elétrica.

A aplicação do vácuo traz a vantagem de que na área do aterro e entornos são, sensivelmente, reduzidas as emissões de odores desagradáveis, devido ao escape de gases pela camada de revestimento do aterro, uma vez que há a tendência de entrada de oxigênio e nitrogênio da atmosfera para o interior do mesmo. Estes poços podem ser instalados após a execução parcial ou encerramento do aterro. Geralmente, são executados com auxílio de trados mecânicos, nos quais, depois de escavados, são introduzidos tubos perfurados, sendo o espaço remanescente preenchido com brita ou rachão, MARQUEZ (2011).

De maneira resumida, para exemplificar, o projeto inicial **BLFGE (2011)** considerou estimativas de redução de emissões de toneladas de CO₂ equivalente, elencadas na tabela 10.

Tabela 10 – Previsão de Créditos de Carbono - demanda de biogás para o período de 2004 – 2010

ANO	ESTIMATIVA ANUAL DA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE TONELADAS DE CO ₂ EQUIVALENTE - CO ₂ e
2004	748.624
2005	1.086.919
2006	1.364.060
2007	1.236.153
2008	1.120.186
2009	1.015.780
2010	921.782
Total estimado das reduções (toneladas de CO₂e)	7.494.404
Número total de créditos por ano	7
Média anual durante o período de obtenção de créditos das reduções estimadas (toneladas de CO₂e)	1.070.620

Fonte: BLFGE (2011) - compilação feita pela autora

No período estimado de 2004 a 2010, a média consolidada de emissão foi de 1.070.501 t CO₂e, a partir de 2004 houve um aumento médio de estimativa das reduções de aproximadamente 32 % por ano, devido ao fato da usina ter o seu efetivo funcionamento como produtor de energia pela combustão do metano em 2005. Os valores relativos aos cálculos de emissões e redução de emissões estão expressos nas duas unidades convencionalmente utilizadas nos documentos e estudos de referência mundial, IPCC *guidelines*¹ em Anexo , para MtC (milhões de toneladas de carbono equivalentes).

Foram dimensionados apenas 7 anos na primeira estimativa, quando o projeto foi incluído como MDL na UNFCCC (BLFGE, 2011).

Portanto, as reduções de emissões do projeto **BLFGE** foram estimadas para chegar a 7,5 milhões de tCO₂e no período de 2004 – 2010. O projeto **BLFGE** faz parte de um acervo de projetos mundiais que são referenciados na proposta da UNFCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*). Esta entidade disponibiliza estruturas metodológicas básicas e flexíveis convencionadas³ que permitem a elaboração e direção de projetos que controlam a emissões atmosféricas de GEE – Gases de Efeito Estufa, suas causas e consequências. Em 1992 foi estabelecida a Convenção das Nações Unidas para discutir as mudanças climáticas.

A partir de março de 1994, a UNFCCC entra em vigor, envolvendo inicialmente 189 países membros, estes encontros passaram a denominarem-se de COP – *Conference of the Parties*, referindo-se ao encontro dos países membros para discutir mecanismos de mercado, que visassem equilibrar de um lado a redução dos custos provenientes de ações de mitigação dos gases de efeito estufa, e do outro, o desenvolvimento de países subdesenvolvidos através de mecanismos sustentáveis.

³ *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gases Inventory*
As traduções em língua portuguesa para “*framework*” sugerem a palavra “quadro”, a mesma apresentada em dicionários ou tradutores on line. Porém o conceito fica explícito quando o assunto estudado está sob a perspectiva técnica, originando a abordagem sob o domínio de estrutura metodológica básica flexível utilizada como convenção, gerando padronização para agrupamento de dados de diferentes modelos de aplicação.

Mas, a partir de 2005 foi criado o MOP – *Meeting of the Parties*, ocorrendo juntamente com o COP, cujo objetivo principal era de realizar o encontro das partes envolvidas no Protocolo de Quioto.

Para compreender a importância destes encontros, a tabela 15 está organizada com as convenções e os encontros por datas e cidades, bem como a principal meta estabelecida de cada evento.

Como destaque, foi incluído na tabela 11 como órgão internacional que consolidou informações técnicas, resultados e parâmetros em relação às mudanças climáticas no mundo, o IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*, este órgão é a autoridade máxima que avalia a informação científica disponível em relação aos efeitos das mudanças climáticas no mundo, destacando seus impactos ambientais e sócio econômicos, com o objetivo de gerar Relatórios de Avaliação, Relatórios Especiais, Guias de Metodologia e Documentos Técnicos, que servem de regulação e normatizações, com o amparo científico, para referência mundial (Gupta *et al*, 2008).

A representação da memória anual das reuniões para estabelecimento de convenções da UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*, de 1992 até 2012, ao longo de 20 anos, retrata as principais metas de cada encontro. Somente em 2007 foi o marco de reconhecimento dos estudos apontados pelo IPCC. Além disso, o IPCC disponibilizou diversas ferramentas para amparar as intenções de projetos MDL, de maneira que fossem encaminhadas a entidade UNFCCC, com o objetivo de identificar, construir e fomentar uma base de dados relacionados com as boas práticas que contribuem para a diminuição dos GEE. (MDL, 2012).

A memória anual traz a luz, a discussão do Protocolo de Quioto em relação a sua segunda edição, apresentada em Qatar recentemente. No entanto, estudos apontados pelo IPCC, com base nas maiores publicações de autoridades mundiais, em termos de clima, tecnologia ambiental, dentre outras especialidades, não chegaram a um consenso, sob o protocolo de Quioto.

Tabela 11 – Memória anual das convenções e encontros relacionados com as mudanças climáticas e GEE

COP - Conference of the Parties				
MOP - Meeting of the Parties				
ANO	DENOMINAÇÃO DO ENCONTRO	PRINCIPAL META		
	1ª Sessão Plenária	Constituição de 3 grupos de trabalho		
1992	Convenção das Nações Unidas	Discussão sobre as mudanças climáticas		
1994	UNFCCC	Estratégias de Mitigação de GEE		
ANO	DENOMINAÇÃO DO ENCONTRO	CIDADE	PAÍS	PRINCIPAL META
1995	COP 1	Berlim	Alemanha	Revisar a adequação referente ao compromisso assumido pelos países desenvolvido e da Europa Central e do Leste
1996	COP 2	Genebra	Suíça	Solicitar apoio financeiro para a implantação de programas voltados a redução de GEE para os países em desenvolvimento
1997	COP 3	Quioto	Japão	Adotar o protocolo de Quioto
1998	COP 4	Buenos Aires	Argentina	Analisar e desenvolver mecanismos de implementar as questões previstas no documento do Protocolo de Quioto
1999	COP 5	Bonn	Alemanha	Discutir tecnicamente sobre metodologias a serem criadas para a efetiva implementação do Protocolo de Quioto
2000	COP 6	Haia	Holanda	Diminuir os gases poluentes na atmosfera, sem reduzir muito as emissões - não houve consenso nessa proposta americana de inclusão de florestas e áreas agrícolas como sequestradoras de carbono
2001	COP 6	Bonn	Alemanha	Reduzir os GEE com a inclusão de extensões de florestas e outras regiões sequestradoras de carbono. Definir os requisitos das sanções para países que descumprem as metas e os mecanismos que transferem a obrigação de redução de um país para outro em troca de compensação financeira
2001	COP 7	Marrakesh	Marrocos	Finalizar as negociações sobre o Protocolo de Quioto

2002	COP 8	Nova Déli	Índia	Obter mais comprometimento e ações dos países participantes
2003	COP 9	Milão	Itália	Resolver os detalhes técnicos com relação ao Protocolo de Quioto
2004	COP 10	Buenos	Argentina	Discutir a vigência do protocolo de Quioto até 2012. Resolver detalhes técnicos do
2005	COP 11 & MOP 1	Montreal	Canadá	Discutir com os membros do MOP a expiração do Protocolo de Quioto em 2012
2006	COP 12 & MOP 2	Nairobi	Quênia	Resolver as últimas questões técnicas do Protocolo de Quioto. Discutir com os membros do MOP a expiração do Protocolo de Quioto em 2012
2007	COP 13 & MOP 3	Bali	Indonésia	Substituir o Protocolo de Quioto e reconhecer os estudos e documentos elaborados pelo IPCC, produzir plano de ação para redução mais rápida dos GEE
2008	COP 14 & MOP 4	Poznan	Polônia	Discutir sobre o Fundo de Adaptação que serve de apoio as mudanças efetivas nos países menos desenvolvidos
2009	COP 15 & MOP 5	Copenhague	Dinamarca	Discutir sobre metas de redução até 2020 dos países desenvolvidos e industrializados entre 25% e 40 %, diferentemente do Protocolo de Quioto que estabelecia até 2012 a redução média de 5,2 %
2010	COP 16 & MOP 6	Cancun	México	Criar um Fundo verde para administrar o dinheiro que os países desenvolvidos se comprometeram a contribuir em relação a detecção das mudanças climáticas. São previstos US\$ 30 bilhões para 2010-2012 e mais US\$ 100 bilhões anuais a partir de 2020. Manter a meta fixada ao limite máximo de 2°C a elevação da temperatura média em relação aos níveis pré-industriais
2011	COP 17 & MOP 7	Durban	África do Sul	Acordar sobre a criação da Plataforma de ação ampliada que inclui países em desenvolvimento. Estabelecer regras em relação ao funcionamento do Fundo verde. Renovar e ampliar até 2017, o único acordo legal vinculado a redução de GEE mundial, o Protocolo de Quioto. Criar um Centro de Tecnologia do Clima
2012	COP 18 & MOP 8	Doha	Qatar	Estabelecer regras sobre a Plataforma de ação ampliada. Discutir as regras do Fundo Climático Verde. Discutir a segunda edição do Protocolo de Quioto. Regras de funcionamento do Centro de Tecnologia do Clima

Fonte: MDL(2012) - compilação feita pela autora

A representação da memória anual das reuniões para estabelecimento de convenções da UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*, de 1992 até 2012, ao longo de 20 anos, retrata as principais metas de cada encontro. Somente em 2007 foi o marco de reconhecimento dos estudos apontados pelo IPCC.

Além disso, o IPCC disponibilizou diversas ferramentas para amparar as intenções de projetos MDL, de maneira que fossem encaminhadas a entidade UNFCCC, com o objetivo de identificar, construir e fomentar uma base de dados relacionados com as boas práticas que contribuem para a diminuição dos GEE. (MDL, 2012).

A memória anual traz a luz, a discussão do Protocolo de Quioto em relação a sua segunda edição, apresentada em Qatar recentemente. No entanto, estudos apontados pelo IPCC, com base nas maiores publicações de autoridades mundiais, em termos de clima, tecnologia ambiental, dentre outras especialidades, não esgotaram a necessidade da criação de um Comitê Executivo de Tecnologia (TEC, sigla em inglês) e o Centro e Rede de Tecnologia do Clima (CTCN, sigla em inglês), como meta proposta em 2011, o PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente foi escolhido para supervisionar esse centro de pesquisa.

As funções do Comitê Executivo de Tecnologia, de acordo com a proposta da UNFCCC, são:

- a) Fornecer uma visão geral das necessidades tecnológicas e análise de políticas e assuntos técnicos relacionados com o desenvolvimento e a transferência de tecnologias para mitigação e adaptação;
- b) Considerar e recomendar ações para promover a tecnologia desenvolvimento e transferência, a fim de acelerar as ações de mitigação e adaptação;
- c) Recomendar diretrizes sobre políticas e programas prioritários relacionados com o desenvolvimento e transferência de tecnologia, com especial atenção dada as Partes dos países menos desenvolvidos;

- d) Promover e facilitar a colaboração no desenvolvimento e transferência de tecnologias para mitigação e adaptação entre governos, setor privado, organizações sem fins lucrativos e as comunidades acadêmicas e de pesquisa;
- e) Recomendar ações para eliminar os obstáculos ao desenvolvimento e transferência de tecnologia a fim de permitir uma ação reforçada de mitigação e adaptação;
- f) Cooperar com as iniciativas tecnológicas internacionais, interessadas no assunto e organizações, promover a coerência e a cooperação entre as atividades tecnológicas, incluindo atividades sob e fora da Convenção;
- g) Catalisar o desenvolvimento e a utilização de guias de tecnologia ou planos de ação nos níveis internacional, regional e nacional através da cooperação entre as partes interessadas, particularmente os governos e organizações ou organismos competentes, incluindo o desenvolvimento de orientações sobre melhores práticas como ferramentas facilitadoras para ações de mitigação.

Segundo estudos apontados por Gomes (2011), a participação brasileira no mercado de carbono limitou-se ao segmento de oferta de projetos no âmbito MDL, colocou o Brasil em 3º lugar. Na análise da autora, os mecanismos de desenvolvimento limpo vêm sofrendo algumas adequações e poderão constituir uma importante ferramenta para beneficiar países que buscam o crescimento sustentável.

Gomes (2011) apresenta que o setor de saneamento básico, particularmente o tratamento de resíduos, tem elevada potencialidade quando converge para projetos de MDL setoriais. Nos quais, das boas práticas, derivam experiências bem sucedidas em relação ao acúmulo de créditos de carbono para comercialização em outros países, potencialidade em relação ao tamanho das fontes de emissão; formulação de políticas setoriais integradas com políticas ambientais; além do fortalecimento das instituições já existentes no MDL.

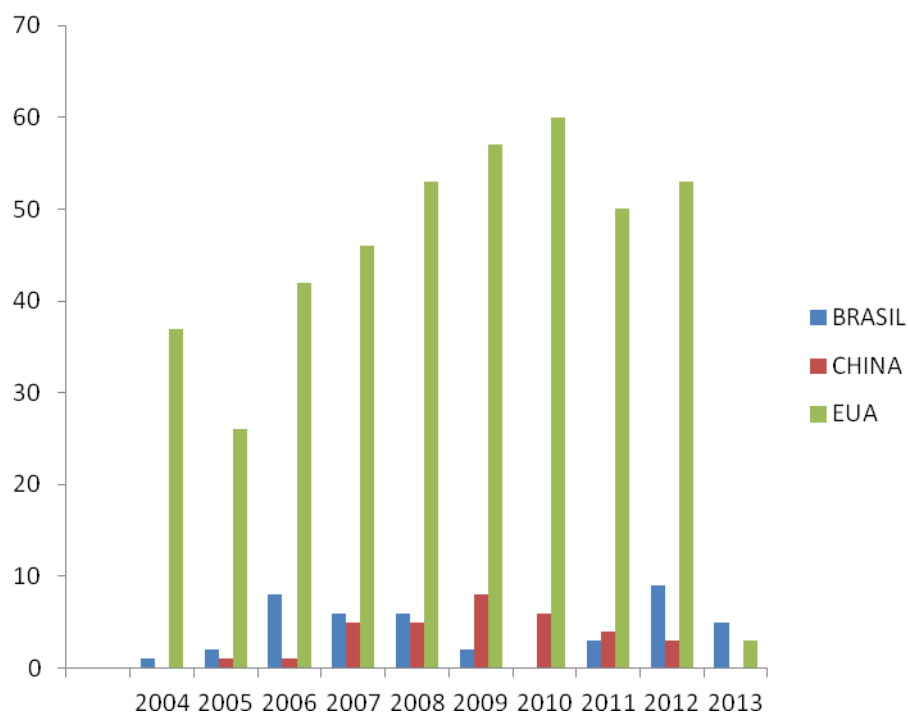
O Brasil tem 332 projetos cadastrados como MDL, conforme os dados compilados a partir das informações disponíveis no portal do UNFCCC em dezembro

de 2012, revisados em maio de 2013. Destes, 42 projetos são relacionados a aterros sanitários brasileiros cadastrados desde 2004 até o presente ano de 2013.

Segundo Abrelpe (2012), em junho de 2012, 10.266 projetos estavam formulados nos termos do MDL, porém no final de dezembro, contava-se com um total de 5.511 projetos registrados perante a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. A China é o país com o maior número de projetos MDL registrados, com 48,9% do total de projetos. O Brasil conta com 4,7% dos projetos registrados, sendo 46 projetos como MDL em diferentes categorias. Na categoria de energia para uso na indústria, a qual inclui principalmente projetos de energias renováveis, representa quase 70% do total de projetos MDL a nível global.

O gráfico 6 representa a relação de projetos de aterros sanitários que valorizam a produção de energia, no Brasil, China e nos USA. Este último não está disponível no portal de projetos MDL (Mecanismos de Desenvolvimento Limpo), mas no Landfill Methane Outreach Program – LMOP, que é uma iniciativa do governo americano para incentivar a candidatura de projetos que mitiguem o GEEs nos Estados Unidos da América.

Gráfico 6 – Aterros Sanitários com produção de energia



Fonte: MDL (2012) e LMOP (2013) – dados compilados pela autora

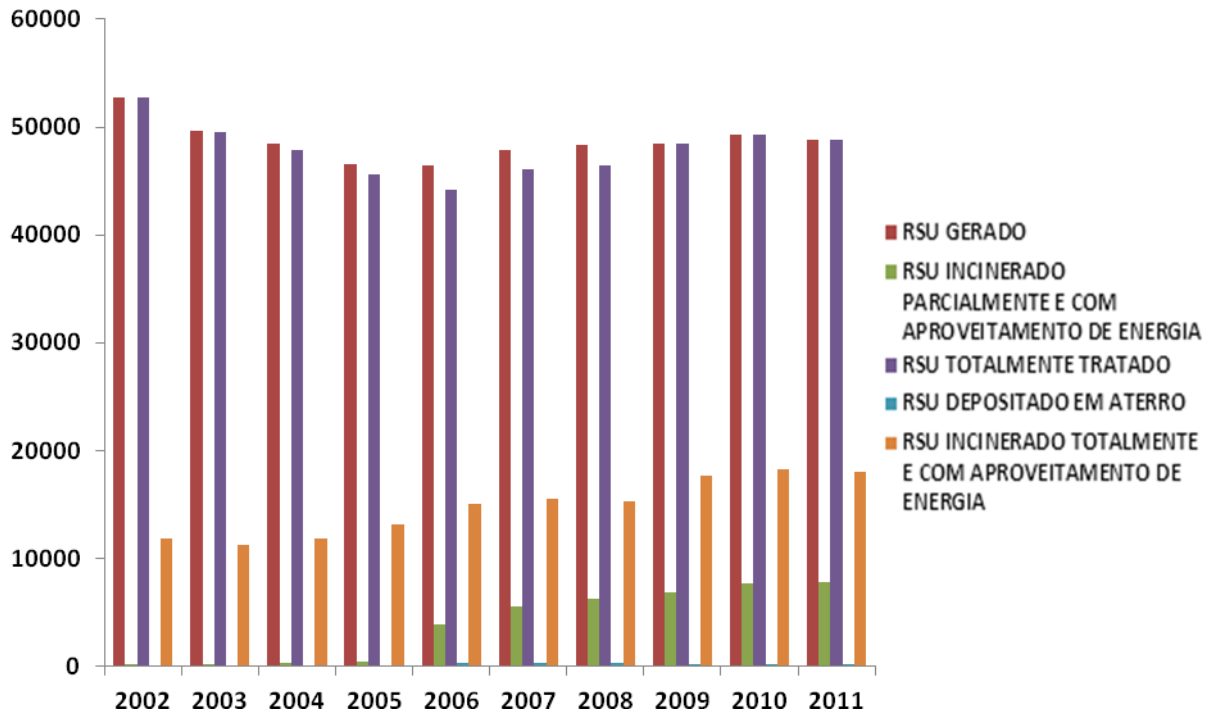
Estas divergências nas quantidades de projetos, no Brasil e na China, podem ser atribuídas à seleção das categorias, que para este projeto, a compilação própria, foi adotada para projetos especificamente aprovados e voltados a valorização dos resíduos, depositados em aterros sanitários, para conversão em energia elétrica.

A diferença em mais de 53 % do número de projetos pesquisados como MDL, pela Abrelpe (2012), em junho e depois em dezembro de 2012, pode apontar para divergências nos critérios de seleção das categorias nestas duas etapas de verificação.

O Brasil ocupa uma posição tímida semelhante a da China, em média com 3 projetos de valorização de resíduos por ano, em relação aos USA. De 2004 a 2013, a China apresentou 33 projetos MDL, e os USA registrou no LMOP, 375 projetos de valorização do gás de aterro sanitário para produção de energia elétrica e 33 projetos em construção. O número de projetos dessa natureza no Brasil ao longo desses dez anos representou menos que 1 % do número de projetos americanos em média a cada ano.

Na Alemanha o procedimento em relação a valorização de resíduo opera de maneira diferente, há um pré tratamento intenso para recuperação de insumos que podem ser reciclados. O resíduo sólido municipal é triturado e passa por sistemas de separação de metais ferrosos, metais não ferrosos, depois é incinerado podendo ter ou não aproveitamento de energia. O gráfico 7 representa a forma como são tratados os resíduos sólidos urbanos, de 2002 a 2011 nesse país, (EUROSTAT, 2013).

Gráfico 7 – Tratamento e recuperação de RSU na Alemanha

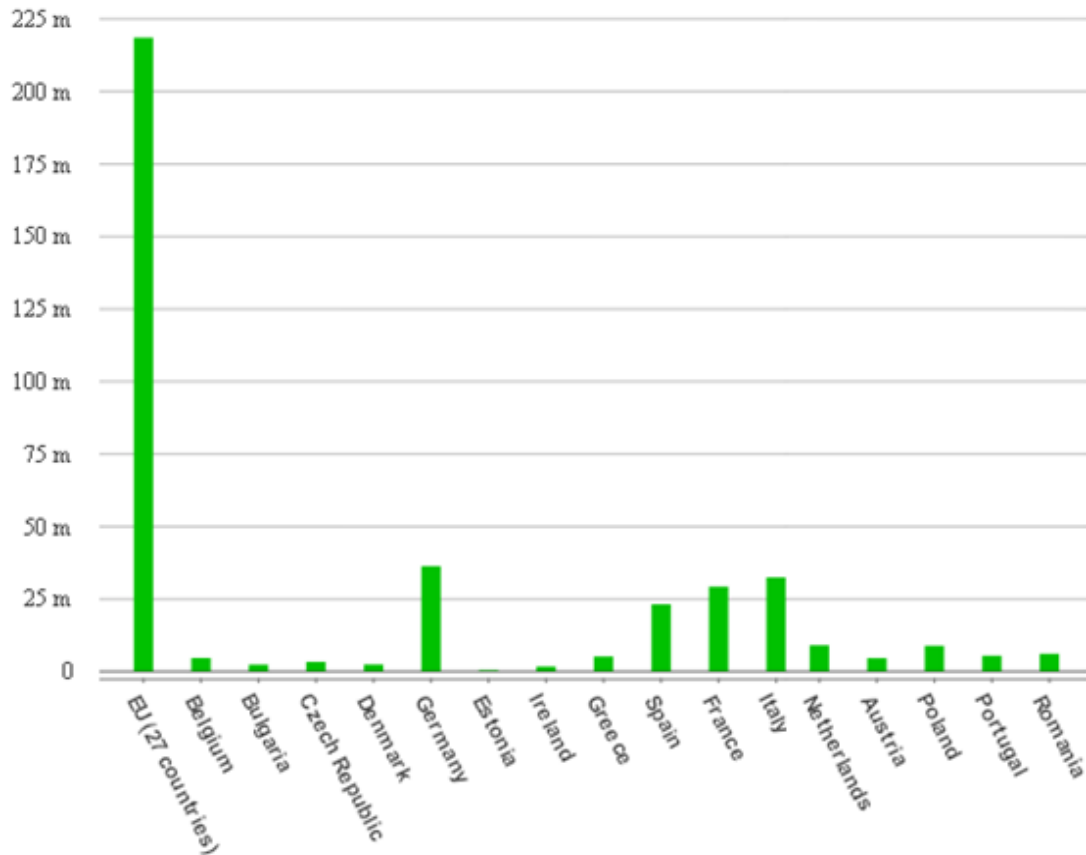


Fonte: EUROSTAT, 2013, dados compilados pela autora

O modelo de gestão de resíduos municipais da Alemanha privilegia a reciclagem e recuperação, incineração e a disposição final em aterros. A quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados na Alemanha de 2002 a 2011 foi de 486.571 toneladas. O gráfico 8 mostra a evolução da política de gerenciamento de RSU instituída na Alemanha, com 98,37% de tratamento do total de resíduos urbanos, chegando ao patamar de 100% de tratamento nos últimos 3 anos.

Embora a eficiência no tratamento do RSU tenha alcançado a totalidade dos resíduos, as estatísticas apontam que nem tudo que é tratado pode ser reaproveitado, reciclado ou reutilizado. Do montante de RSU gerado na Alemanha, 30% foram totalmente incinerados com aproveitamento de energia, 8% do total foram incinerados parcialmente, ou seja, resíduos que não foram consumidos totalmente pela incineração, porém contribuíram para a geração de energia durante esse processo. E apenas 0,32% de RSU ou a escória resultante da incineração foi depositada em aterro sanitário.

Gráfico 8 – Geração de resíduos domésticos em alguns países da Europa em milhões de toneladas/ano



Fonte: EUROSTAT (2013) – adaptado pela autora

Neste sentido, a Alemanha tem sido um exemplo de boas práticas para os resíduos sólidos urbanos, como aponta Schaaht *et al* (2010). No entanto, quando o assunto refere-se ao tratamento de resíduos industriais, como sucatas de automóveis, construção civil e demolição, processos térmicos e resíduos resultantes de tratamento de águas residuais, os aterros sanitários germânicos receberam em 2010, 34,6 milhões de toneladas desses materiais (DESTASTIS, 2013).

Ainda assim, o desempenho alemão, antes da etapa de tratamento de resíduos domésticos, ou seja, na etapa da geração, não representa a melhor estratégia quando comparado com outros países membros da União Europeia (EU), conforme o gráfico 15.

A Alemanha, como aponta o gráfico é o maior gerador de resíduos domésticos dentre os 27 países membros da UE, contribuindo com aproximadamente 28 milhões de toneladas/ano, seguido abaixo pela Itália com

cerca de 27 milhões de toneladas anuais, França e Espanha, com 26 e 24,5 milhões de toneladas/ano aproximadamente para cada um.

Estes dados reforçam a solicitação, em janeiro do presente ano, da Comissão da União Europeia (2013), que encomendou um modelo para a gestão de geração de resíduos urbanos para todos os Estados-Membros da UE. Com o objetivo de compreender os diferentes cenários entre o provável desempenho da gestão de resíduos nos Estados-Membros específicos e as metas para reciclagem, recuperação e disposição em aterros nos termos da legislação em vigor. A Comissão da União Europeia descreve que o modelo não deve se limitado a cenários, mas também aos impactos sobre o meio ambiente, gases de efeito estufa, criação de empregos e custos.

A Secretaria Federal do Meio Ambiente da Alemanha (2011) registra que cerca de 200 dos antigos aterros de resíduos sólidos urbanos foram fechados até 2005. Atualmente ainda exigem o uso de grandes recursos para as medições que demonstrem a segurança ambiental do que foi descartado naqueles locais. Ressalta ainda que os aterros continuarão a fazer parte da gestão de resíduos além de 2020.

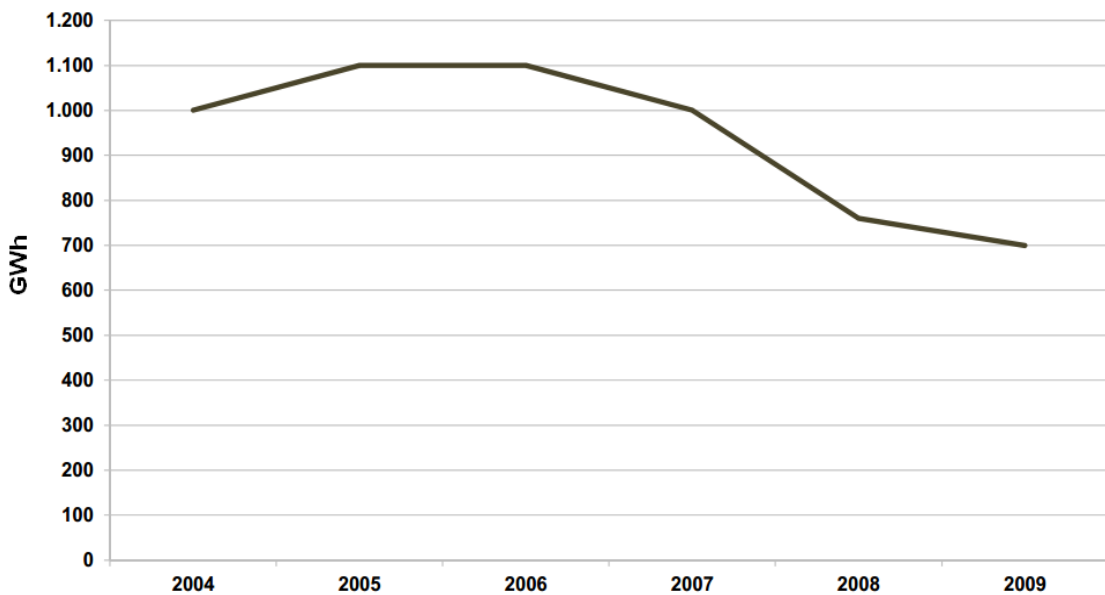
A Secretaria finaliza que esforços nas políticas europeias induzam a valorização dos resíduos, sendo o descarte final no aterro sanitário, a única opção economicamente viável, em função dos limites ambientais e econômicos estabelecidos, em relação aos poluentes contidos nos produtos e o resíduo que não tem valor econômico.

No entanto, ao compilar os dados apontados pela Agência Federal Alemã (2011), em relação ao número de aterros existentes em 2006 até 2010, há uma diferença de 540 aterros nesse período, diminuindo a quantidade de aterros para disposição final de resíduos, os quais não estariam nas condições decretadas por esse órgão, segundo as diretivas de 2005.

Em 2006 existiam 1740 aterros de resíduos, em 2010, caiu para 1186 aterros na Alemanha. Estatísticas desse departamento apontaram que até 2009, haveria 35,4 milhões de toneladas de resíduos depositados em 1111 aterros, com um volume residual de 521,5 milhões de m³.

Este cenário remete a outra questão, o decaimento da geração de energia elétrica em plantas dos aterros que foram transformadas em usina de energia. Segundo Schmidt (2011), a geração de energia a partir do metano produzido nos aterros sanitários da Alemanha, entre 2004 a 2009, caiu de 1092 GWh (pico máximo de geração) para 700 GWh, conforme o gráfico 9.

Gráfico 9 – Produção de Energia (Elétrica ou térmica) em Usinas de Aterros Sanitários na Alemanha de 2004 a 2009



Fonte: SCHMIDT (2011)

Em 2004, a produção de energia elétrica foi de 988 GWh, conforme o gráfico 9, na combustão do metano para geração de energia. Em 2005 os aterros não receberam mais resíduos sem tratamento prévio. Até 2006, a produção manteve-se estável, em média 1080 GWh, começando a cair em 2007, produzido 92,3% em relação a produção máxima no ano de 2006. Em 2009, o percentual de produção caiu para 64% em referência ao ano de 2006 (SCHMIDT, 2011).

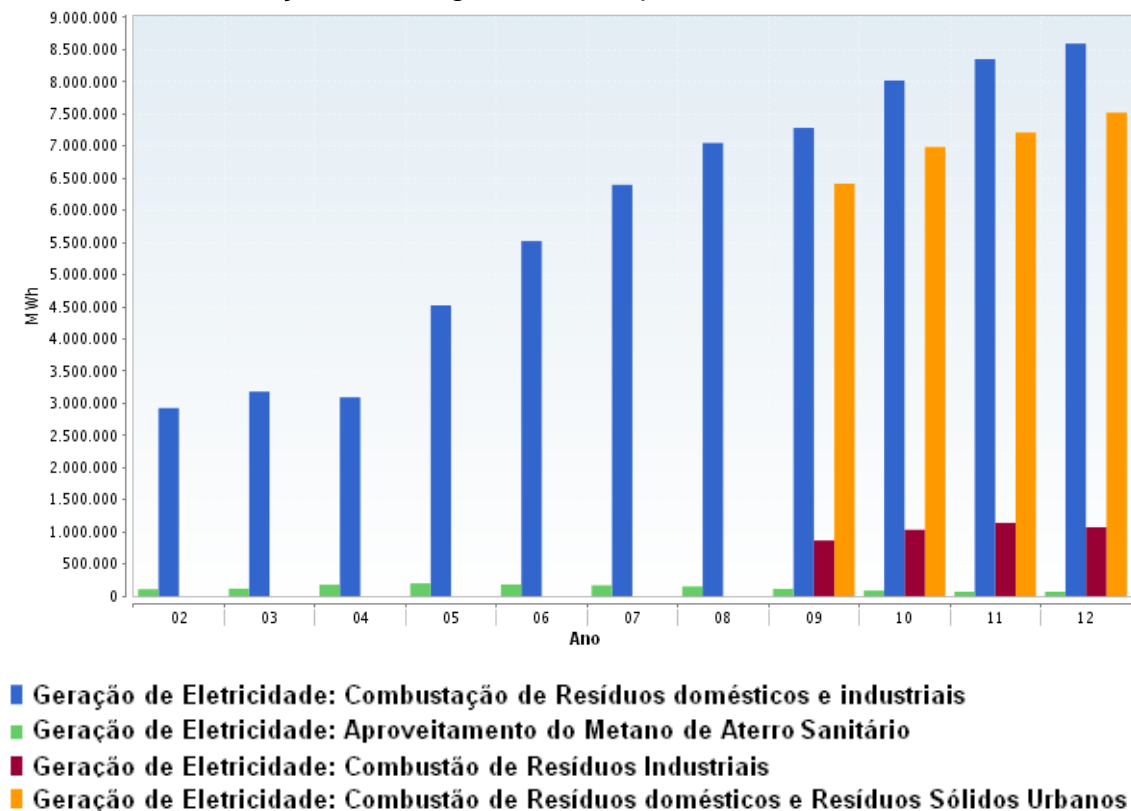
Na análise de Schmidt (2011), esta queda foi devida a política de gerenciamento de resíduos urbanos implantada em 2005. O autor reforça que a imprecisão dos valores de referência de energia elétrica levam em conta, na compilação total dos dados, o gás de aterro, gás de esgoto e de mineração, e a quantidade de geração de energia elétrica provenientes desses recursos.

Mas, a partir de Genesis (2013), os dados disponíveis relativos a produção de energia elétrica na Alemanha estão mais definidos, separados por fonte energética,

que neste caso, somente houve a comparação entre a combustão dos resíduos e a geração de eletricidade em aterro sanitário.

Porém a combustão está dividida em três formas, dos resíduos domésticos e industriais, somente dos resíduos industriais à partir de 2009, e a combustão dos resíduos domésticos e RSU. Os dados foram compilados pela autora deste trabalho e representados na tabela 12.

Tabela 12 – Produção de energia elétrica a partir de resíduos, de 2002 a 2012



Fonte: Genesis (2013), dados compilados pela autora

Portanto, a evolução da geração de energia por meio da combustão dos resíduos domésticos e industriais, separados ou não, aumentou significativamente, entre 2002 e 2012, já a geração de energia elétrica, para o mesmo período, através do aproveitamento do gás de aterro, manteve patamares muito abaixo de outras formas de geração de energia, com pico máximo na produção de 201 GWh em 2005, decaindo a produção em cerca de 35% desse valor em 2012.

Finalmente, com a política de 2005, os aterros não puderam mais receber material orgânico, aumentando assim a queda na produção de metano. Os aterros

da Alemanha continuam recebendo material que não contribui para a geração de gás, novos aterros não podem mais serem abertos, aterros antigos e fora das condições legais de 2005 foram fechados, os atuais aterros recebem materiais domésticos e industriais que não puderam ser recuperados e assim precisam de mecanismos de controle ambiental mais rígidos.

A Alemanha ainda é o maior produtor de resíduos domésticos em relação aos 27 países membros da União Europeia. Neste sentido, pode-se afirmar que embora a Alemanha seja referência pelas suas boas práticas em reuso, reciclagem e reaproveitamento de resíduos, preparando-se para a revolução energética, requer ainda um longo aprendizado sobre o que fazer e como controlar os aterros sanitários que vão continuar ao longo do tempo.

Iniciativas como o uso de painéis solares na área dos aterros, são pesquisadas, e algumas até implantadas, mas não há ainda uma legislação específica sobre esse assunto. Além destas, existem pesquisas para a implantação de sistemas para o aproveitamento dos ventos nessas áreas, o uso de microturbinas para converter o metano, com propriedades menos caloríferas em energia.

2.5 Geração de Energia Elétrica

De maneira objetiva pode-se descrever que a energia elétrica resulta de processos físico-químicos e eletromagnéticos para o funcionamento de equipamentos de usos finais necessários a sociedade. Existem duas formas de gerar eletricidade, estática, obtida diretamente dos recursos naturais, como é o caso da energia solar, e a dinâmica, como as centrais hidroelétricas e eólicas, pelo movimento da água e ventos.

Há casos em que os sistemas produzem energia a partir de uma etapa anterior. A transformação como o da termoelétrica, processo químico – combustão, nuclear por meio da fissão do átomo. A transformação de energia térmica aciona turbinas a vapor ou a gás, com a finalidade de gerar energia mecânica e assim acionar um gerador elétrico, como um motor. No entanto REIS *et al* (2005) ressalta que a energia elétrica é considerada uma forma secundária de energia,

pressupondo-se a transformação de outras formas de energia obtidas com a utilização direta dos recursos naturais.

Para REIS *et al* (2005) a geração ou produção de energia elétrica está relacionada com o processo de transformação de uma fonte primária de energia em eletricidade e representa significativamente impactos relativos ao meio ambiente, sociais, econômicos e culturais.

Na visão de Oliveira (2011), a geração de eletricidade no contexto mundial baseia-se na queima de combustíveis fósseis, provenientes de grandes estações energéticas que desperdiçam parte da energia primária. Nos Estados Unidos, Japão e União Europeia, a biomassa é a maior fonte de energia renovável, mais da metade das usinas em operação, têm mais e 20 anos e estarão obsoletas em alguns anos. Por outro lado, aponta Oliveira (2011) a China, o Brasil e a Índia terão que aumentar a sua capacidade energética para suprir a crescente demanda resultante da expansão econômica.

Pecora *et al* (2012) aponta que a energia gerada a partir do tratamento dos resíduos sólidos vem sendo cada vez mais interessante para o mercado nacional, em função das novas políticas de geração de energia a partir da biomassa e outras fontes renováveis. Estas podem reduzir o consumo de combustíveis fósseis, além de reduzir os impactos globais causados pela queima de combustíveis fósseis, contribuindo para a sustentabilidade da matriz energética.

Portanto, a geração de energia no Brasil é predominantemente hidráulica, com custos ambientais de elevado teor, mas para tornar-se competitivo há a necessidade de garantir o equilíbrio da matriz energética com a alocação de novos potenciais geradores de energia, que impliquem na diminuição logística do abastecimento do seu uso final.

2.5.1 Matriz energética

Segundo REIS *et al* (2005) a matriz energética representa a dinâmica no tempo, de forma quantitativa e ordenada, de todas as relações entre os energéticos com sua cadeia energética, incluindo-se nessa matriz, a utilização dos recursos naturais até os usos finais da energia. É um instrumento fundamental para a

execução de um planejamento adequado e com a finalidade de estabelecer políticas e estratégias, entre os cenários atuais e os futuros, em geral com prazos de 20 a 25 anos.

O cenário ao qual aponta a matriz tem enfoque nos recursos naturais, como o setor do petróleo, gás natural, setor carbonífero, energia nuclear, recursos energéticos renováveis já tradicionais ou com maior possibilidade de aplicação a médio prazo, como a energia solar, hidráulica, eólica, da biomassa, oceânica, geotérmica e do hidrogênio, REIS *et al* (2005).

Em relação ao RSU, REIS *et al* (2005) reserva-se a estimular a reciclagem e o reaproveitamento antes da chegada do resíduo ao seu destino final que é o aterro, divide-se entre resíduos combustíveis e gases de aterro sanitário.

Os resíduos combustíveis - **REFUSE DERIVED FUEL** – RDF – são tratados de outra forma, há um processamento do RSU municipal para a separação da fração combustível da não combustível. O RDF é resultante de um composto, predominantemente, de papel, plástico, madeira e resíduos orgânicos. REIS *et al* (2005) descreve que esse produto contém cerca de 20 a 30 % a mais de energia que os resíduos sólidos não tratados, com poder calorífico em torno de 12.000 a 13.000 kJ/kg, criando uma considerável possibilidade de incineração desse produto para a produção de eletricidade e calor.

REIS *et al* (2005) ressalta ainda que o poder calorífico dos gases de aterro é da ordem de 17.000 kJ/m³, cerca da metade do gás natural, cada tonelada de RSU produz cerca de 70 m³ de gás.

Vanzin *et al* (2006) afirma que o desenvolvimento econômico e o estilo de vida da sociedade atual são processos complexos que compartilham da disponibilidade de um abastecimento adequado e confiável de energia. A preocupação com o meio ambiente, presente nesse conjunto e a forma como a energia é usada, promove desafios relacionados o aquecimento global, a chuva ácida e a disposição dos resíduos. Os mesmos autores ressaltam que do ponto de vista da matriz energética, é estratégica a diversificação de fontes geradoras de energia, sendo o biogás de aterros sanitário uma fonte alternativa, renovável, disponível, próxima aos centros consumidores de energia elétrica.

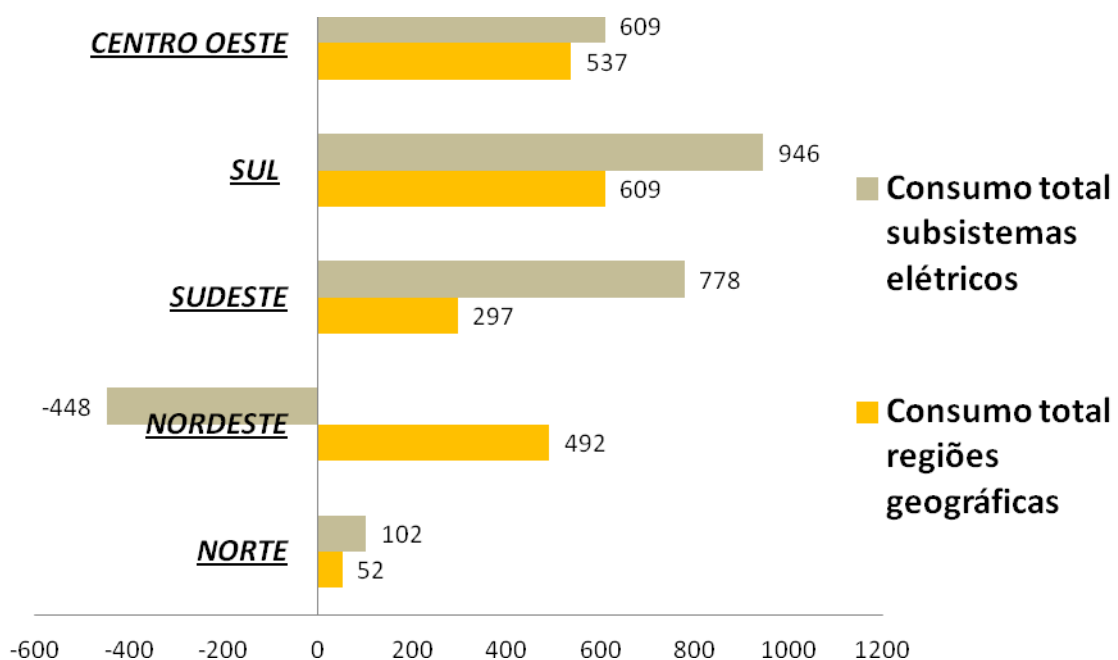
Resumidamente a matriz energética representa a dinâmica resultante de todas as atividades de um município, estado e país dependentes de energia. O equilíbrio na sua diversificação representa o amadurecimento entre a demanda e a oferta em longo prazo.

2.5.2 Potencial energético brasileiro

Em estudo desenvolvido pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2012), a demanda de eletricidade no país foi da ordem de 110.709 GWh, para terceiro trimestre de 2012. Isto resultou em um volume 1,8% acima do consumo nesse mesmo período para o ano de 2011.

Considerando a variação de consumo dos terceiros trimestres de 2011 e 2012, a soma do consumo total das regiões geográficas, foi de 1.987 MWh. Mas quando somasse o consumo total por subsistema nas regiões Sul Sudeste, Centro Oeste e Norte, o consumo chega a 2.453 MWh. Que foi compensado pela retração de consumo na região do Nordeste, conforme o gráfico 10.

Gráfico 10 – Variação do consumo de energia (MWh)



Fonte: EPE–Série Estatísticas Energéticas 2011-2012 – dados compilados pela autora

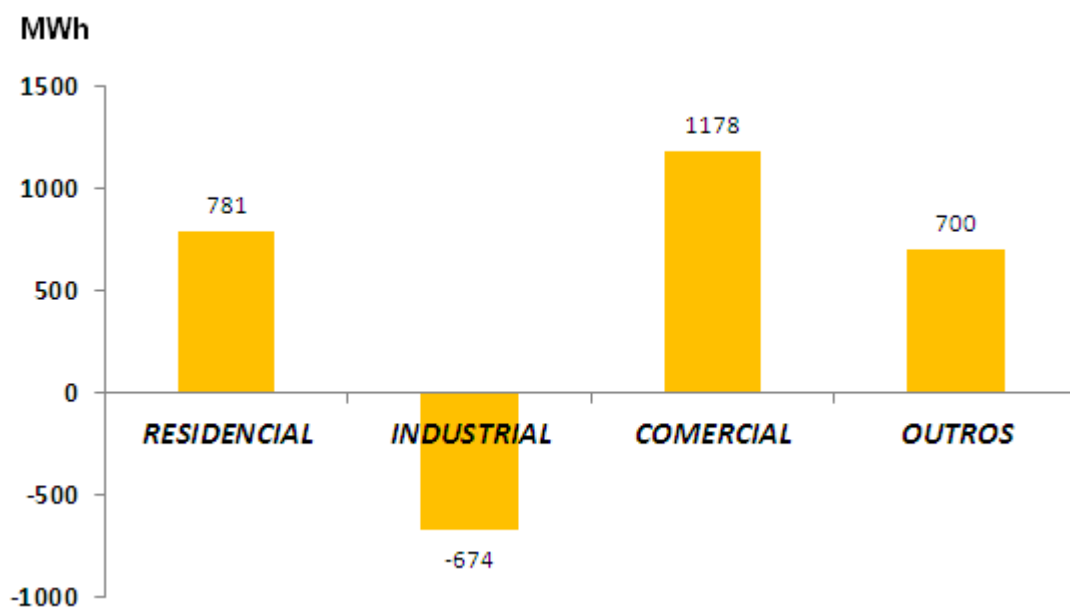
O total de consumo das regiões geográficas e a retração do Nordeste, apontam para 2435 MWh. há uma diferença de 20 MWh nos cálculos, que pode ser atribuída a imprecisão na tabulação dos dados estatísticos. Mas fica evidente que a retração de consumo de energia nordestina compensou o déficit nacional.

Desta maneira foi possível equilibrar a demanda, pois as 5 regiões brasileiras tiveram demanda crescente nesse período. A maior diferença como aponta o gráfico 13, é na região Sudeste, o baixo consumo da região em divergência ao consumo do seu subsistema. Essa diferença pode ser explicada pela retração no setor industrial da região Sudeste durante esse período.

O subsistema então pode ser utilizado para demandar energia em outras regiões. A região Nordeste teve um consumo total de 492 KWh, porém o subsistema da região ficou negativo em 448MWh, isto pode ser a resultante do sistema nacional interligado, demandando energia de um subsistema regional a outro.

Também o setor industrial foi determinante para o resultado equilibrado, com o consumo retraindo-se acentuadamente na região Sudeste. Com isso, o crescimento no consumo dos setores comercial e residencial determinou a manutenção das taxas dessas regiões em níveis positivos no terceiro trimestre do ano de 2012. O gráfico 11 apresenta o consumo de energia por classe de atividade.

Gráfico 11 – Consumo de energia por classe de atividade – Compilação própria



Fonte: EPE–Série Estatísticas Energéticas 2011-2012 – dados compilados pela autora

A soma das classes residencial, comercial e outros, correspondem a 1987 MWh de consumo de energia. Porém se o consumo total por região foi de 2453 MWh, compensado pela retração industrial de menos 674 MWh. Somando-se essa retração ao consumo por classe de atividade econômica, tem-se 2435 MWh, conforme apresentado anteriormente.

Rüther e Salamoni (2011) observam que a etapa de fornecimento de energia elétrica, para consumidores residenciais, comerciais e industriais é centralizada na sua geração e exige sistemas de transmissão e distribuição complexos. Esse modelo torna o sistema vulnerável e eleva o custo da produção.

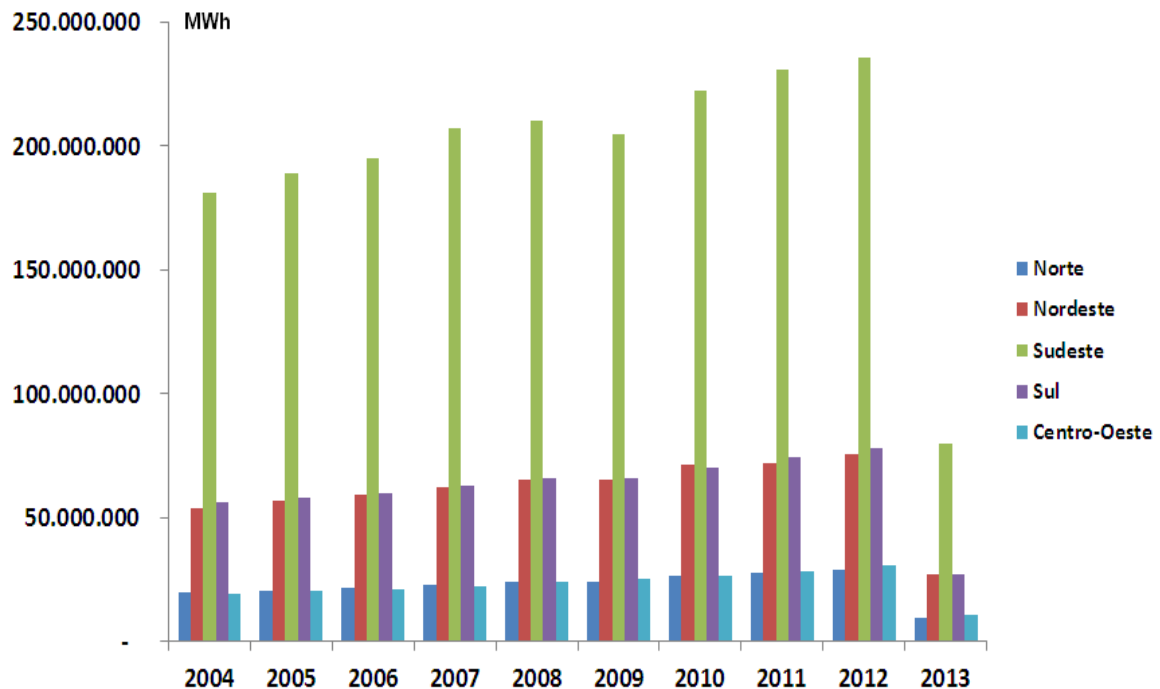
Este cenário remete a muitos os problemas enfrentados, causados basicamente pelo aumento acelerado da população e pela demanda energética, que não cresce na mesma proporção que a oferta de energia, conforme descreve Rüther e Salamoni (2011).

Rüther e Salamoni (2011) destacam ainda que a falta de matéria-prima na geração de energia elétrica e os problemas ambientais associados à sua exploração são aspectos fundamentais, e também o aumento da eficiência energética e uso fontes renováveis de energia são algumas das estratégias para mitigar esses problemas.

O relatório da Empresa de Pesquisa Energética (2012) apresenta que o consumo final de energia no Brasil (energia usada pelas pessoas e pelas empresas) cresceu 2,6%, mais do que a oferta interna, embora tenha apresentado condições hidrológicas favoráveis, o que assegurou aumento de 6,1% na produção hidroelétrica.

Por outro lado, a tabela 16 mostra o crescimento da demanda por energia elétrica nos últimos dez anos no Brasil por região, sendo a Sudeste a região com maior demanda, chegando já a 33,9 % no primeiro quadrimestre de 2013 em relação ao ano todo de 2012. O aumento de 2004 até 2012 cresceu em mais que 30% de demanda para a região Sudeste e representou um valor maior que a média anual de todas as outras regiões juntas.

Tabela 13 – Demanda de Consumo de Energia Elétrica no Brasil – de 2004 a 2013 (somente o 1º quadrimestre) – Compilação própria



Fonte: Compilação própria

A região sudeste consumiu energia elétrica, em média, 208 TWh, enquanto as outras 4 regiões somadas, demandaram por 178 TWh ao ano em média. O Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, com a grande parte pelas hidroelétricas que respondem por 74,0% da oferta. No entanto, o estudo considera o consumo de energia elétrica sem definir a fonte de recurso na geração.

O relatório da Empresa de Pesquisa Energética (2012) não inclui em seus estudos a energia proveniente do RSU. Porém a Secretaria de Energia do Estado de São Paulo (2011) aponta em seu plano estratégico até 2035 sobre a Matriz Energética do Estado de São Paulo, a energia produzida a partir do RSU.

Neste contexto, a Secretaria de Energia do Estado de São Paulo (2011) apresentou que o Brasil produziu aproximadamente 195 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos diariamente. Deste total, de acordo com a Cetesb (2012), 26.249 toneladas/dia foram recolhidas das residências do Estado de São Paulo em 2011, o que representa 13,4 % do total nacional de 2010.

Embora o excesso de resíduos seja um problema para as cidades, como refere-se a Secretaria de Energia do Estado de São Paulo (2011), seu manejo, se devidamente administrado pelas entidades, pode se transformar em solução integrada com o objetivo de conservar e gerar energia.

Para Oliveira (2004), o aproveitamento energético de diferentes fontes renováveis amplia a segurança do sistema elétrico nacional, pois oferta eletricidade de maneira descentralizada, em função da destinação final em aterros sanitários, dos resíduos sólidos urbanos, estarem disponíveis próximos dos centros consumidores.

A redução da quantidade de resíduos sólidos urbanos a ser depositada em aterros sanitários amplia suas vidas úteis e soluciona um dos grandes problemas da atualidade, a escassez de áreas para novos depósitos de RSU (Oliveira, 2004).

A Secretaria de Energia do Estado de São Paulo (2011) descreveu que o estado paulistano gerou 62 MW de biogás de aterros sanitários. Considerou a projeção, de acordo com o estudo da *Matriz Energética do Estado de São Paulo para 2035*, que a produção de energia a partir de resíduos sólidos urbanos em 2015 deverá ser de 14 MW, e em 2020, de 74 MW. Já a partir do biogás de aterros serão produzidos 72 MW em 2015 e 86 MW em 2020. Projeções mais a frente, em 2035, indicam que São Paulo estará produzindo 391 MW de energia proveniente de resíduos sólidos, e 157 MW de biogás proveniente de aterros sanitários.

A soma resulta em 548 MW – energia estimada para atender uma metrópole com mais de 2 milhões de habitantes. Este resultado considera a geração de gás de aterro por combustão, queima direta em usinas termogeradoras ou de ciclo combinado para termoelétricas, somadas a produção de energia por meio do confinamento do gás metano de aterro sanitário.

Portanto, pode-se estimar de maneira geral que se 26 mil toneladas geraram 62MW, 195 mil toneladas de resíduos diários poderiam produzir cerca de 465MW. Esta quantidade pode ser significativa quando agregasse ganhos com os créditos de carbono, ambientais, prolongamento da vida útil dos aterros, redução de custos em virtude da proximidade entre a geração e sua entrada no sistema de distribuição da concessionária local, os investimentos nesse caso, em transmissão, são menores.

2.5.3 Estimativa da produção de gás metano em aterros

Para estimar a quantidade total de gás metano produzida nos aterros sanitários, variáveis como o tempo e as fases de decomposição dos resíduos devem ser considerados. Segundo Alves (2008), além destes fatores intervenientes, o processo de degradação influencia no potencial de geração de gás metano, podendo alcançar cerca de 400m³/ton de resíduo seco.

De fato, já em 1983, Ehrig, apresentou os resultados de um estudo realizado em 20 aterros sanitários do norte da Alemanha. As variações na geração do metano dependem da compactação do solo dos aterros, da precipitação das chuvas, da quantidade de concentração de cada tipo de material em diferentes pontos. As condições climáticas de cada região analisada, bem como a operação dos aterros, também são fatores que influenciam na qualidade e quantidade de produção do gás metano. E por último considerou também a quantidade de oxigênio penetrante no solo, o tipo de solo e sua granularidade e a distribuição da quantidade de água em várias partes do aterro.

Mendes e Magalhães (2005) avaliaram duas metodologias de estimação de gás de aterro. Uma chamada de método de projeto do IPCC e o método de decaimento de primeira ordem conhecido como equação de USEPA (U. S. Environmental Protection Agency). Os autores recomendaram maiores pesquisas nos diferentes métodos, mas concluíram que o método de projeto estima menores taxas de geração e metano, uma vez que considera a média de disposição de diferentes tipos de resíduos, levando a resultados imprecisos. Sugeriram que o método de decaimento de primeira ordem é mais completo e o que melhor aproxima-se da realidade, pois considera os longos períodos de tempo na emissão de gás metano, e o incremento de resíduos a cada ano, dentro do ciclo de vida como aterro.

Nas considerações de Borba (2006), existe dificuldade em avaliar as emissões, tomado como base que todo o metano gerado é emitido à atmosfera, através de fissuras ou vias de evacuação praticada no terreno.

Laner *et al* (2010) avaliaram as condições em aterros fechados e analisaram que os modelos de geração de gás são específicos de cada planta produtiva de

aterro. A validação da geração de gás real depende das características dos resíduos, o teor da umidade e como esteve distribuída ao longo de 15 ou 20 anos. Neste período devem ser consideradas a temperatura, a acidez do solo e até as comunidade microbianas em relação a disponibilidade da presença de nutrientes.

Neste contexto diferentes metodologias foram propostas desde a apresentada por IPCC em 1997. Estas metodologias foram incorporadas como modelos matemáticos que objetivam auxiliar no cálculo das emissões para viabilizar projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo. A mais utilizada atualmente é a do método de decaimento de primeira ordem, por sua simplicidade e facilidade na assimilação. As razões apontadas a seguir demonstram a motivação para usar este modelo no presente trabalho.

2.5.4 Modelo para estimativa da produção de gás metano em aterros

As primeiras equações dos métodos de cálculo para estimativa de geração do metano, não consideravam as emissões, das quais parte migrava para a atmosfera e outras absorvidas e degradadas nas camadas superficiais da planta territorial do aterro sanitário, dentre outros diversos parâmetros. Conforme o IPCC (1997), diferentes métodos e modelos matemáticos foram utilizados para estimativa das emissões em aterros. Essa variabilidade não permitia a aplicação em regiões ou até mesmo em países, por conta da heterogeneidade de clima, solo, precipitação, dentre outras, como já descrito no item 2.5.3 deste trabalho.

Steger (2009) realizou um estudo sobre a aplicação do modelo matemático em diferentes projetos MDL de países em desenvolvimento, comparando com os resultados medidos. Os países envolvidos no estudo foram o Brasil, China, Argentina e Chile. A conclusão do autor foi de que os modelos remetem a previsões ótimas diferentes das medidas reais realizadas, e não conseguem explicar adequadamente a composição dos resíduos e as condições do local, que são diferentes dos aterros de países desenvolvidos.

Os parâmetros dos modelos podem não representar as condições reais do aterro. Pois, estão baseados em pesquisas experimentais, sem medidas efetivas em campo. Até porque, a dinâmica de um aterro em relação à disposição,

acomodação de resíduos, heterogeneidade do acúmulo de tipos de materiais e a emissão do gás metano são variáveis randômicas (Christensen, 2010).

Worrell e Vesilind (2011) também reforçam que o modelo inicial evoluiu para melhorar a acurácia, em virtude das variáveis que afetam as reações químicas. Apontam restrições nos modelos, como a complexidade da geração de gás, em função das diversas variáveis, de acordo com as condições particulares de cada aterro, tais como solo, umidade e clima.

Além dos fatores anteriores contribuírem para a imprecisão de modelos matemáticos, outros poderiam constituir aproximações das condições reais, mas possuem abrangência nas medidas e nas bases de dados. Dentre as quais, destaca-se, a tipologia geográfica, o declive do terreno, a profundidade das valas, o controle operacional, englobando diferentes quantidades e a qualidade gerencial, aumentando as discrepâncias nos resultados.

A primeira metodologia de cálculo de redução de emissões de gases de efeito estufa oficial **aprovada** pelo Conselho Executivo do MDL está baseada em IPCC (1997), que foi uma evolução da metodologia proposta em 1996, descrita a seguir denominada como equação de decaimento de primeira ordem (eq1).

$$CH_{4\text{projetado},y} = K * L_0 * \sum_{t=0,y} WASTE_{\text{depositada},t} * e^{-k(t-y)} \text{ (eq1)}$$

Sendo:

CH₄projetado,y = Quantidade de metano projetada no período;

K = Taxa de decomposição (Obs1);

L₀ = Taxa de geração do metano (Obs2);

t = Ano final atual;

y = Ano de disposição do resíduo no aterro sanitário;

WASTE_{depositada,t} = Quantidade de resíduo depositada no ano atual.

Obs1 – Fixada inicialmente como constante, com valor de 0,12 (equivalente à meia vida do aterro, 12 para 6).

Obs2 – Variável dependente da fração orgânica do resíduo, fixada inicialmente como 180 Nm³/h.

Esta equação tem por finalidade, a funcionalidade no cálculo e uma possível implementação em ferramentas computacionais, ficando na etapa de auditoria a validação por meio de mensuração dos valores *in loco*.

Worrell e Vesilind (2011) descreveram a questão básica desse cálculo simplificado, utilizando a exponencial de decaimento para meia vida, ou seja,

metade do tempo proporcional, por conta do processo de decomposição do material orgânico observado em laboratório, em que as condições ambientais controladas são mantidas estáveis. E concluíram que o modelo matemático serve de amparo para a predição da geração de gás metano em modelos computacionais.

A adoção deste modelo matemático foi definida como metodologia, codificada como ACM0001, desde 1997, para projetos MDL e também foi adotada como base no projeto original da Usina de Aterro Sanitário Bandeirantes. Atualmente, é base de muitas pesquisas e já sofreu uma evolução que não se aplica a este estudo de caso. Desta forma, para o cálculo da geração de metano neste trabalho utilizou-se a equação eq2 a seguir.

$$Q_{CH_4} = L_0 * R * (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (eq2)$$

Sendo que:

Q_{CH_4} = Metano gerado no ano t, (m³/ano);

L_0 = Potencial de geração de metano, (m³/ton);

R = Média anual de entrada de lixo no vazadouro, (ton/ano);

k = taxa de geração de metano = 0,04 (meia vida 4 para 2 anos);

c = ano desde o fechamento;

t = ano desde o início da atividade (ano).

Vale ressaltar que na equação eq2, as variáveis c e t são equivalentes as variáveis t e y respectivamente apresentadas na equação eq1. Em eq1 há a representação da somatória (Σ) de todos os anos para a variável de decaimento.

USEPA (2012) reafirma a utilização da equação de decaimento de primeira ordem, reapresentada em 2006 e proposta em 1997 para o IPCC. Pela simplicidade da equação, com resultados embora divergentes, é a que mais se aproxima do real e a mais amplamente utilizada. Está disponível na forma de ferramenta computacional denominada software LandGEM – *Landfill Gas Emissions Model*.

No entanto, a ferramenta LandGEM não será utilizada neste trabalho, por exigir alguns parâmetros que afetam a redução de metano, dos quais não há dados disponíveis para comparação. Pois houve uma derivação da equação aqui apresentada, atualizada na versão de 2006. Vale explicitar que esta ferramenta computacional LanGen utiliza-se do aplicativo Excel (planilha eletrônica de propriedade da Microsoft) com utilização de programação interna não acessível ao usuário.

Há também uma motivação técnica para a adoção de outra ferramenta que não a proposta por USEPA (2012). O software LandGen projeta a estimativa de geração de gás a partir da equação de decaimento contínuo, porém a própria ferramenta LandGen lineariza as diferenças amostradas. O que não é real pela própria limitação da ferramenta adotada. O tempo para a projeção de gás é anual, isto significa que a variável tempo é amostrada, portanto, a equação é diferencial, com intervalos derivados anuais. A linearização, de um ano para o outro, na representação gráfica do modelo pelo LandGen, pode não representar as diferentes variações de geração de gás existentes ao longo do tempo.

2.5.5 Parâmetros da modelagem para estimação da produção de gás metano em aterros

A função de decaimento ou incremento exponencial é uma derivação em relação ao tempo discreto, isto quer dizer, que houve diferenças na variável tempo, por exemplo, $t_1 - t_2$, $t_1 - t_3$ e assim por diante, para depois integrar estas diferenças e apresenta-las na forma de gráfica.

A equação de primeira ordem, eq2, tem como tempo o período de 1 ano, e não o tempo em sua menor parte, por exemplo, a produção de gás a cada segundo de tempo. Seria limitante fazer projeções de produção de gás em todos os instantes de tempo, mesmo que finitamente. Somente supercomputadores poderiam realizar algum processamento nesse nível de precisão, somando-se as projeções de ciclo de vida do gás de aterro de 20, 30, 40 ou mais anos à frente.

De outro modo, é possível utilizar a ferramenta de modelagem e simulação Simulink incrementada no software Matlab, que permite simular modelos matemáticos de equações diferenciais e integrais com mais recursos de programação e bibliotecas, exigindo menos processamento. O Simulink é um ambiente de sistemas em blocos ou subsistemas. A associação do Matlab e do Simulink facilita o modelamento, simulação e análise de sistemas dinâmicos, lineares, não lineares, discretos e contínuos, (MORAIS e VIEIRA, 2011).

Modelos matemáticos são usados com frequência para descrever os fenômenos da vida real ou o comportamento de um sistema (Anton *et al*, 2005). A

construção de um modelo matemático de um sistema começa identificando-se variáveis responsáveis pelo comportamento do sistema. O mesmo autor aponta ainda que no modelo inicial não é necessária a incorporação de todas as variáveis, pois nessa etapa a especificação desejada é para validar o modelo e não em nível de resolução exigida.

A equação ou conjunto de equações que compõe o modelo é uma aproximação do processo real. Portanto, não pode incorporar todas as características, tanto macroscópicas quanto microscópicas. Serve para otimizar condições operacionais dos sistemas ou processos. Maximizando rendimentos operacionais, conversão de produtos, lucro e minimizando custos, completa Garcia (2005).

Partindo destas motivações, algumas variáveis da equação eq2 não possuem base de dados. Abrelpe (2012) destaca a dificuldade de encontrar base de dados para estimar com precisão os valores de L_0 e k . E ainda recomenda a adoção de fator de classificação do local de disposição do resíduo, tabela 14. Este fator está associado a variável L_0 e influencia no potencial de geração de gás metano.

Tabela 14 – Fator de emissão FE

Local	Fator de Emissão (FE)
Aterro Sanitário	1,0
Aterro Controlado	0,8
Lixão	0,4

Fonte: Abrelpe (2012) compilado pela autora

Este fator de emissão, associado ao local de destinação do resíduo, interfere na porção estimada de geração de gás metano. Aterros sanitários possuem fator 1, de 100%. Estima-se que estes locais, possuam controle adequado em relação ao manejo e compactação dos resíduos (MDL, 2011).

O aterro controlado tem fator 20 % menor, por conta do monitoramento ambiental, porém não apresenta as mesmas condições operacionais e de controle

dos aterros sanitários. Por último, o lixão, que não tem nenhum controle operacional, de manejo ou de monitoramento ambiental, seu fator potencial alcança somente 40% de geração do metano.

Neste fator aplica-se também um parâmetro de eficiência da coleta que gira em torno de 60 a 85%, em função da impossibilidade de captura de todo o gás gerado. Desta maneira a variável L_0 sofre influencia também do parâmetro de eficiência da coleta. Para efeitos de simulação pode-se considerar a seguinte parametrização apresentada na tabela 15.

Tabela 15 – Relação entre FE e FEC

Local	Fator de Emissão (FE)	Fator de eficiência na Coleta (FEC)
Aterro Sanitário	1,0	0,6 – 0,85
Aterro Controlado	0,8	0,6 – 0,85
Lixão	0,4	0,6 – 0,85

Fonte: Abelpre (2012) compilado pela autora

Na tabela 15, o FEC – fator de eficiência na coleta é padrão para aterros sanitários (*NSPS - New Source Performance Standards* (1997)). De certo, não há como capturar gás em lixões e nem em aterros controlados, por esta razão, para estimativas necessárias à simulação, neste trabalho considera-se também os mesmos valores nesses dois locais.

A variável L_0 deve ser multiplicada por FE e por FEC, para que perdas efetivas na captura do metano (eq3), nos três locais, possam ser consideradas na simulação. A variável passa a denominar-se como L_0' porque ainda sofrerá a influência de uma outra matriz.

$$L_0' = FE * FEC \text{ (eq3)}$$

Sendo que:

L_0 = Potencial de geração de metano, (m^3/ton);

FE = Fator de emissão (adimensional);

FEC = Fator de eficiência na coleta (adimensional);

Conforme orientações estabelecidas pelas entidades normativas, NSPS - *New Source Performance Standards* (1997), as variáveis do potencial de geração do metano (L_0) e a constante de taxa de geração K , devem seguir valores sugeridos em acordo com o tipo de clima do aterro, conforme estipulado na tabela 16.

Tabela 16 – Faixas de valores para variáveis L_0 e k

Varável	Tipo de Clima		
	Úmido	Seco	Semi-úmido
$L_0(m^3/t)$	62-140	62-140	47-125
$K(1/ano)$	0,05 - 0,20	0,03 - 0,10	0,01 - 0,05

Fonte: MDL (2012) – compilado pela autora

A faixa de valores estabelecida ocorre em função da incerteza de L_0 e k . Estas variáveis são difíceis de estimar, porque a proporção do tipo de resíduos depositado é desconhecida. Adotando-se faixa de valores padrão, a variação entre valores pré-definidos, auxilia na escolha dos indicadores mais adequados para essas variáveis. A tabela 16 denota as características do clima predominante em diferentes regiões onde os aterros estão localizados.

Pelo IBGE (2010), a quantidade total de resíduos gerada não é a mesma quantidade coletada e destinada para os aterros sanitários. Além disso, um percentual da população não recebe os serviços do sistema de coleta de resíduos público. Por diversas razões, em geral a dificuldade no acesso aos locais pelos caminhões de coleta, a variável R deve receber a subtração da fração de resíduos, apontada pelo censo, como segue a fórmula eq4 para o cálculo estimado, com base nos dados de IBGE, 2010.

$$R = QTR - QRC \text{ (eq4)}$$

Sendo que:

R = Média de entrada de lixo no vazadouro, (ton/ano ou ton/mês)

QTR = Quantidade total resíduos gerados (ton/dia, ton/semana ou ton/mês);

QRC = Quantidade total resíduos coletados (ton/dia, ton/semana ou ton/mês).

A equação eq2 é denomina de primeira ordem.

Equações de primeira ordem são derivações de equações diferenciais ordinárias (ANTON *et al* 2005). Equações diferenciais ordinárias envolvem derivadas de funções desconhecidas.

Neste exemplo, a produção de gás de aterro é supostamente um conjunto de derivações de várias velocidades de produção de gás. Das quais não são conhecidas ou dominadas. A velocidade é a cinética envolvida na equação, e é uma variável dependente do tempo. Cujas relações entre tempo e a cinética do gás, em todos os pontos do aterro, são muito difíceis de serem determinadas ou medidas.

Então, supondo que $x' = -x$, isto quer dizer que x' é uma derivada diferencial ordinária, onde x é uma variável numérica desconhecida.

Isto pode ser escrito da seguinte maneira:

$$\frac{dx}{dt} = -x$$

Onde, dx/dt é a derivada x' .

Pode-se reescrever:

$$\frac{dx}{x} = -dt$$

Integrando os dois lados da equação anterior, tem-se:

$$\int_{x_0}^x \frac{1}{u} \cdot du = - \int_0^t dv$$

Resolvendo as duas integrais anteriores:

$$\ln(x) - \ln(x_0) = -t$$

Aplicando as propriedades logarítmicas:

$$\ln\left(\frac{x}{x_0}\right) = -t$$

Isto implica em uma função exponencial contínua de decaimento, cujo o gráfico esperado é dado por:

$$x = e^{-t} \cdot x_0 \rightarrow x(t) = x(0) \cdot e^{-t}$$

Aplicando a exponencial para obter o Q_{CH_4} , finaliza-se ajustando as variáveis k e c na fórmula:

$$Q_{CH_4} = L_0 \cdot R \cdot (e^{-kc} - e^{-kt}) \text{ (eq2)}$$

Esta demonstração da equação de primeira ordem foi necessária para que as etapas, a serem aplicadas na simulação, possam ser acompanhadas neste objeto de estudo. O algoritmo ode45 do Matlab será usado para integração do sistema dinâmico e simulação no Simulink.

Com os resultados de Q_{CH_4} , calcula-se a Potência disponível a cada ano em MW, com um parâmetro fixo de P_c , para efeitos de simulação, convertido em Joules por metro cúbico ($J/m^3_{CH_4}$).

PCI = poder calorífico inferior do metano (combustão pobre)

$$PCI = 8500 \text{ Kcal}/m^3.$$

Conversão para Joules $\rightarrow 35, 53 \cdot 10^6 J/m^3$ (energia térmica)

$$\text{Portanto, } P_c = 35, 53 \cdot 10^6 J/m^3$$

Tem-se a equação abaixo para calcular a Potência Térmica disponível em MW (Megawatt). A constante de 860.000 é a conversão de Kcal para MW.

$$P_x = (Q_x \cdot P_c \cdot \eta / 860.000) \text{ (eq5)}$$

Sendo:

P_x = Potência térmica disponível a cada ano (MW);

P_c = Poder calorífico de metano ($J/m^3_{CH_4}$);

η = Eficiência do motor = 0,28 (fixado).

A combustão é feita em motores a explosão com eficiência nominal adotada de 0,28 para este trabalho.

Agora, é possível determinar a produção de energia elétrica, por meio da equação eq6, em função da produção de gás. A energia, neste cenário, é um produto direto entre a potência térmica, o rendimento do motor funcionando a plena carga e o tempo de operação, adotado aqui em horas.

$$E = P_x \cdot R_{\text{end}} \cdot T_{\text{operação}} \quad (\text{eq6})$$

Sendo:

E = energia disponível (MWh/dia);

P_x = potência térmica disponível (MW);

R_{end} = rendimento do motor operando a plena carga = 87% = 0,87;

T_{operação} = 24 (h/dia)

Ao converter o gás metano em energia térmica e esta depois em energia elétrica pode-se estimar então o potencial energético da Usina Bandeirantes. E também os créditos de carbono equivalentes nestes processos.

Neste contexto, Taboada (2009) explica que “para calcular a emissão de um determinado gás multiplica-se a massa emitida por esse gás pelo DCE (Dióxido de Carbono Equivalente) ou CO_{2eq} do referido gás” destruído. A tabela 17 apresenta os padrões de emissão para os gases DCE.

Tabela 17 – Índice de Potencial de Aquecimento Global

Gás	GWM (Global Warming Potencial) – Potencial de Aquecimento Global
Dióxido de Carbono (CO₂)	1
Metano (CH₄)	23
Óxido Nitroso (N₂O)	296
Perfluormetano (CF₄)	5700
Perfluoretano (C₂F₆)	11900

Fonte: IPCC (2008)

O DCE do metano, único gás estudado neste trabalho, é de 23, conforme tabela. A emissão de 1 tonelada desse gás equivale a 23 toneladas de CO₂. Portanto os CO_{2eq} são expressos em milhões de toneladas métricas, e para calcular a emissão do gás metano (eq7), multiplica-se a massa emitida por esse gás pelo DCE ou CO_{2eq} equivalente do referido gás.

$$\text{MMTDCE} = Q_x \cdot \text{GWM} \quad (\text{eq75})$$

Sendo que:

MMTDCE= Milhões de Toneladas de Dioxido de Carbono Equivalente:

Q_x = Vazão de metano a cada ano ($m^3_{CH_4}/ano$);

GWM = Potencial de aquecimento.

Finalmente, em função da cotação no Mercado de Carbono, é possível calcular os valores de venda de Créditos de Carbono equivalentes (CRC_{eq}) que foram mitigados para diferentes oportunidades de geração de energia e valorização do gás de aterro. Mas somente são comercializáveis para projetos certificados pelo conselho MDL.

MDL (2012) apresenta que as Reduções Certificadas de Emissão (RCE) são comercializadas como *commodities*, que podem ser compradas por países que não conseguirem alcançar metas de redução de emissões ou não desejarem a adesão dentro de seus planos de desenvolvimento. Cada tonelada de CO_{2e} (tCO_{2e}) reduzida ou removida da atmosfera corresponde a uma unidade emitida pelo Conselho Executivo do MDL ou outros mercados voluntários, denominada de Redução Certificada de Emissão (RCE).

O mercado de Créditos de Carbono é complexo. Conta com a participação de várias entidades em todo o mundo. Há condições e metas a serem alcançadas e prazos acordados a serem cumpridos pelos países envolvidos, tanto países desenvolvidos com interesse na compra de créditos de carbono, quanto países em desenvolvimento que querem vender pela melhor cotação de mercado.

Em resumo, todos os parâmetros foram definidos e estabelecidos para serem usados na simulação. Buscou-se nos estudos anteriores, justificar os parâmetros envolvidos e possíveis flexibilidades que servem de ajuste para a simulação. Os créditos de carbono são tratados apenas para efeitos de simulação em quantidade e valores de venda no mercado, apenas representando uma saída positiva do sistema.

2.5.6 Simulação da estimativa da produção de gás metano na Planta Usina Bandeirantes

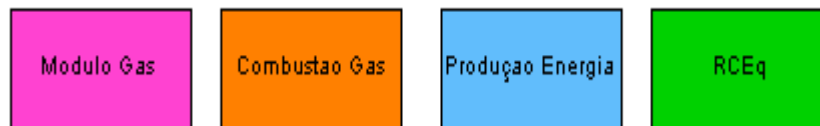
Nesta simulação, o aterro Bandeirantes é denominado como Planta Usina Bandeirantes. Teve por objetivo em seu projeto inicial, a utilização do gás metano para transformá-lo em energia e recuperar créditos de carbono.

A figura 16 mostra as quatro etapas dentro desse processo. Cada processo utiliza as *baselines* recomendadas pelo Conselho Executivo do MDL, estabelecidas

na metodologia ACM0001, para simular projetos de larga escala. Estas práticas contribuem para a pesquisa da aplicabilidade das metodologias em diferentes cenários, principalmente para os países em desenvolvimento nortearem caminhos de desenvolvimento sustentável.

Figura 16 – 4 etapas de processo Planta Usina Bandeirantes

PLANTA USINA BANDEIRANTES



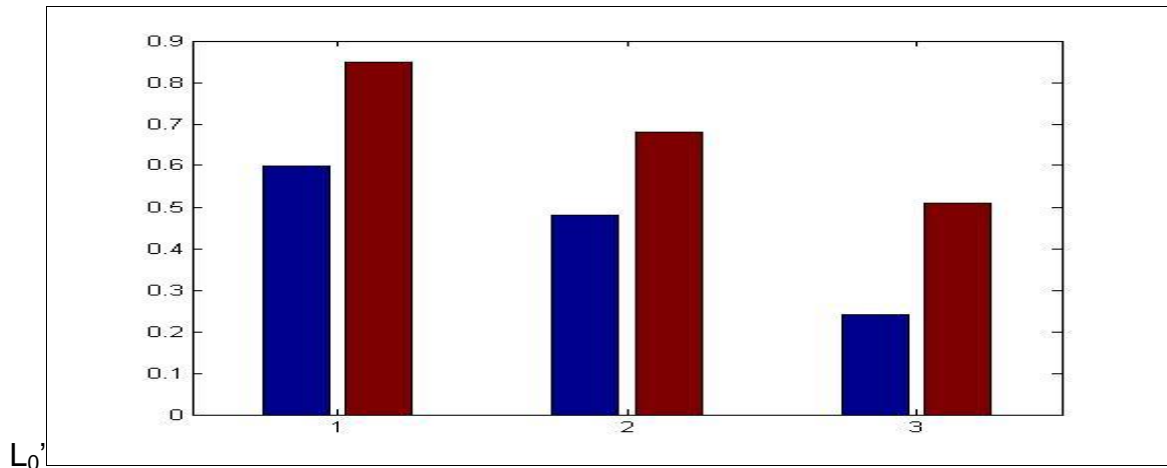
Fonte: elaboração própria

Para cada etapa há um modelo matemático que busca representar as estimativas. A etapa inicial, denominada pela autora de Modulo Gas, é uma composição e matrizes, e assim cada etapa é composta por uma modelagem matemática.

Desses arranjos, existem etapas que são compostas de outras equações. Para efeitos de simulação cada etapa é um processo ou sistema, que podem ter subprocessos ou subsistemas derivados. A etapa Modulo Gas foi modelada no Matlab e Simulink, e as outras, por se tratarem apenas de cálculos foram auxiliadas pelo ToolBox do Matlab.

O gráfico 12, apresenta o resultado da simulação da matriz que conjuga o fator de emissão e o fator de coleta com os três tipos de locais de disposição, conforme a equação eq3, denominando para este cálculo como $L_0' = [FE] * [FEC]$.

Gráfico 12 – Resultado da matriz



Fonte: Elaboração própria

Na simulação, as três categorias foram divididas em 1, para aterro sanitário, 2 para aterro controlado e 3 para lixão. Este último apresentou o resultado mais baixo para a variável L_0' . A barra azul foi codificada para resultados do percentual de coleta de 60% e a barra vermelha para 85% de coleta realizada. O potencial de geração do metano teve os seguintes resultados na simulação apresentados na tabela 18.

Tabela 18 – resultado da simulação para L_0' (m^3/ton)

Categoria do local	FE = 0,6	FEC = 0,85
1	0,6	0,85
2	0,48	0,68
3	0,24	0,51

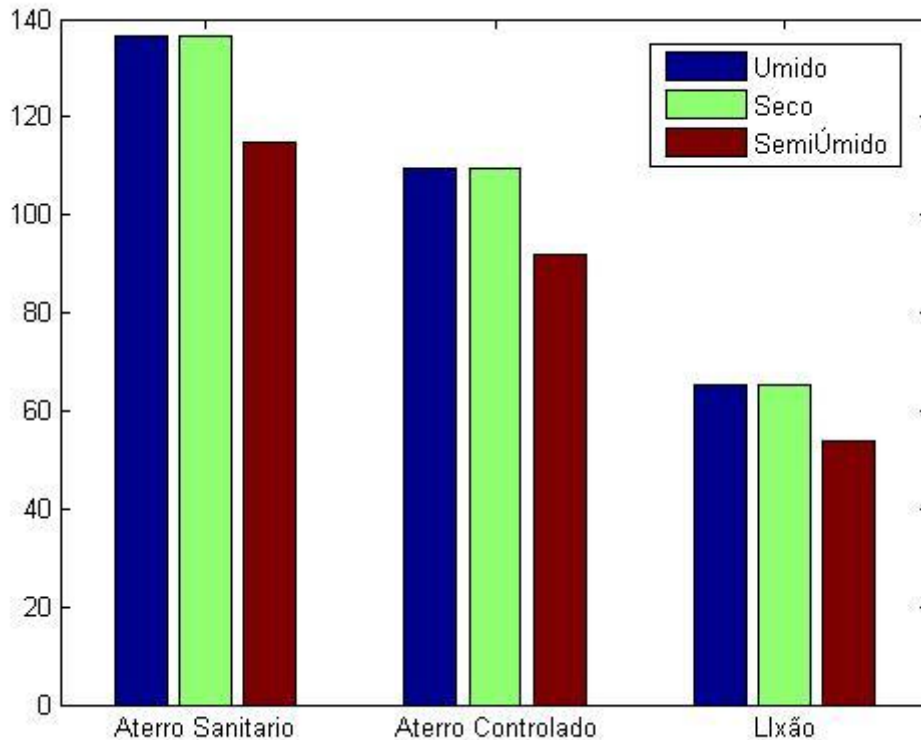
Fonte: elaboração própria

Os resultados reforçam que o fator de coleta afeta o fator de emissão, quanto mais baixo for o fator de coleta menor é o potencial de produção de gás metano. Quando o fator de coleta tende a aumentar, o potencial de geração de metano tende positivamente também. Embora o fator de coleta seja o mesmo para aterros sanitários e aterros controlados, os números mantiveram-se diferentes nos dois casos (FE e FEC).

Considerando agora o resultado da matriz L_0' e mais um conjunto de entrada de dados no simulador, relacionada aos 3 tipos de clima, obtêm-se cenários diferentes para a variável L_0 .

1º Caso para L_0 : Considerado os 3 tipos de clima com as faixas de melhor e pior produção juntas, 140 a 47 m^3/t , resultados do gráfico 13.

Gráfico 13 – Resultado da matriz L_0



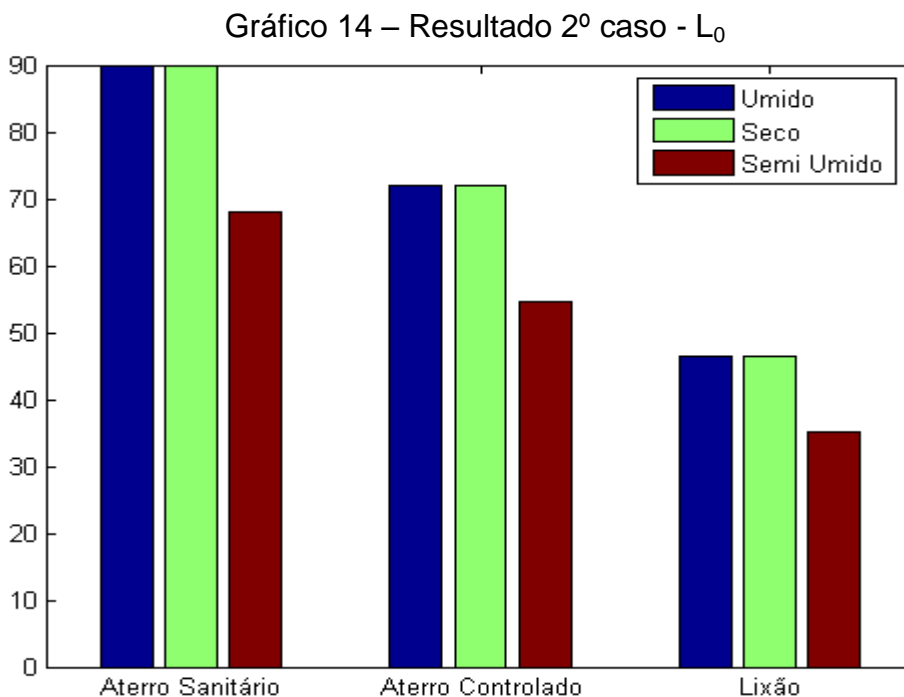
Fonte: elaboração própria

A simulação deste cenário retornou como mostra o gráfico 13, que houve uma melhora no desempenho da geração de gás metano em todos os locais de disposição de resíduos, mais ainda no lixão.

Os dois locais de destinação inadequados, tiveram suas emissões aumentadas. Repetiu-se a simulação, trocando-se a ordem vetorial dos elementos da matriz.

O resultado retornou exatamente o mesmo, provando que o resultado da primeira simulação está correto. Confirmando assim a elevação da geração de metano em plantas consideradas como inadequadas, mas com valor de produção de gás que não é aproveitado.

2º Caso para L_0 : Considerado os 3 tipos de clima com as faixas de pior produção, 62, 62 e 47 m^3/t resultados do gráfico 14.

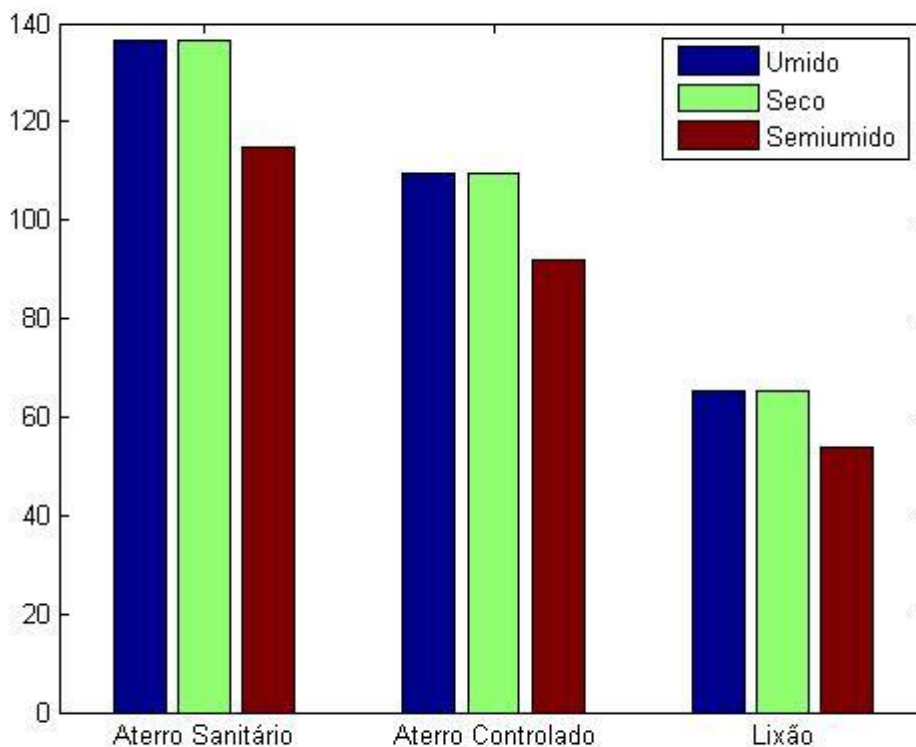


Fonte: Elaboração própria

O desempenho nos climas úmido e seco melhora a produção de gás e afeta para o clima semiúmido. Embora tenha adotado os piores valores para a produção do metano, o desempenho para aterro sanitário elevou-se quando comparado com o 1º caso.

Os climas úmido e seco afetam positivamente a produção de gás no aterro controlado, ficando acima do resultado influenciado no aterro sanitário pelo clima semiúmido.

3º Caso para L₀: Considerado os 3 tipos de clima com as faixas de melhor produção, 140, 140 e 125 m³/t resultados do gráfico 15.

Gráfico 15 – Resultado 3º caso - L_0 

Fonte: Elaboração própria

Neste caso os resultados mostram um desempenho equilibrado. O clima semiúmido melhora a produção de gás no aterro sanitário ficando acima da produção de gás em aterro controlado e influenciado pelos três climas.

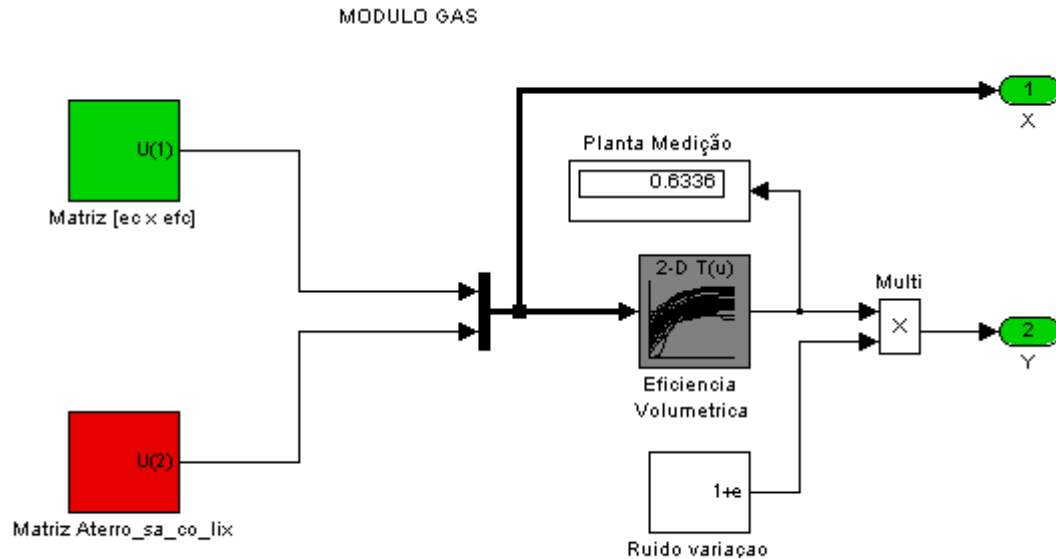
A atual Usina Bandeirantes foi inicialmente um lixão, passou a aterro controlado e depois aterro sanitário, fechado em 2006. Esse ciclo produtivo de três estados gerou um volume de gás metano com potencial de aproveitamento energético.

O potencial volumétrico L_0 é o produto final das matrizes obtidas nos gráficos anteriores. Neste caso, a simulação facilita o tratamento dos dados. A entrada de dados é composta por matrizes bidimensionais. A variável L_0 é medida em metros cúbicos por tonelada.

Para conseguir esse cálculo, foi utilizado o Simulink módulo adaptativo, com entrada de dados de matrizes. Foram necessárias três entradas compostas para formar os três eixos geométricos. A seguir, na figura 17, o esquema parcial de

simulação para 2 matrizes de entrada (x, y). No anexo , deste trabalho, o esquema completo do simulador.

Figura 17 – Simulador Modulo Gas (parcial)



Fonte: Elaboração própria

A limitação da ferramenta impede que seja construído um gráfico tridimensional. O módulo de volumetria na biblioteca do Simulink é um módulo 2-D $T(u)$ (módulo bidimensional).

Para resolver esse problema, foram construídos outros dois módulos para saídas vetoriais (X,Z) e (Y,Z) . Na saída das três matrizes foi incluindo um módulo adaptativo para determinar L_0 por meio gráfico tridimensional. Este módulo adaptativo está esquematizado no anexo.

CAPÍTULO 3 – SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO QUE DENOTA A OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA ATERRO SANITÁRIO – CASO BANDEIRANTES

No caso da Usina Bandeirantes, foi estabelecido a hipótese de que funcionou como lixão, até determinada data, depois como aterros controlado a partir da licença de operação passou a funcionar como aterro sanitário até 2007.

As datas estabelecidas são sugeridas pela autora para efeitos de estimativa. O objetivo aqui é simular o comportamento da Usina Bandeirantes, no conjunto do seu de vida produtivo de geração do metano, dos quais os critérios estão listados na tabela 19.

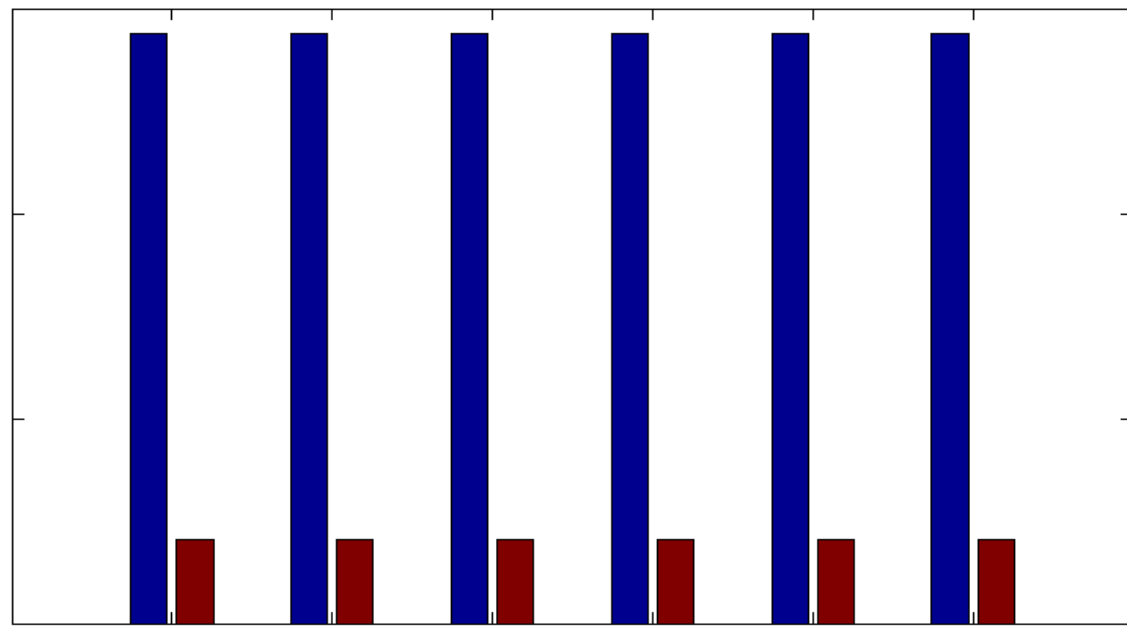
Tabela 19 – Categorização para cálculo do potencial de gás

ANO	CICLO DE VIDA	MUDANÇA DE ESTADO
1979	LIXÃO	INÍCIO
1985	ATERRO CONTROLADO	COLETA SELETIVA
1997	ATERRO SANITARIO	LINCENÇA DE OPERAÇÃO
2008	USINA DE ENERGIA	PROJETO MDL APROVADO

Fonte: Elaboração própria

Todo o método já foi detalhado em capítulos anteriores. Aqui o detalhamento especificamente em relação a Usina Bandeirantes.

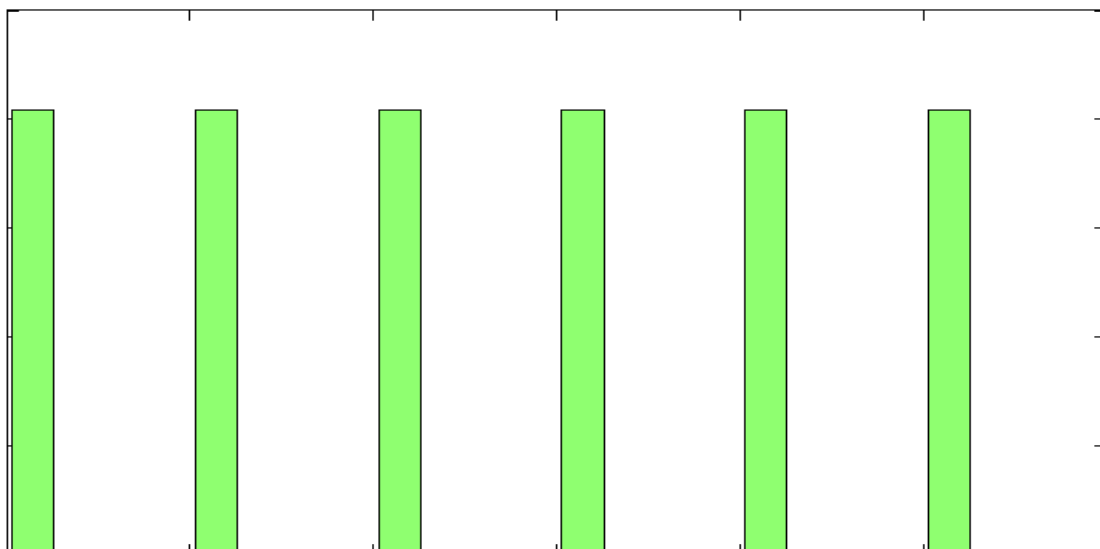
Inicialmente, foi preciso estabelecer os dados de entrada da matriz $L_0' = [FE] + [FEC]$. A coletânea de dados está no anexo. Resumidamente, o gráfico 16 mostra os valores encontrados no ciclo de vidas das três categorias do aterro Bandeirantes. As emissões iniciais antes de incluir os fatores do clima.

Gráfico 16 – Resultado da matriz L_0' 

Fonte: Elaboração própria

O gráfico 16 mostra somente a produção de gás, para a característica do local como aterros sanitário e lixão. Há uma boa diferença, entre ambos, o aterros sanitário variou entre 66 a 93,3 metros cúbicos por tonelada.

Como lixão, o potencial de gás metano variou entre 14,4 a 2,04 m^3/t . Como aterro controlado ficou muito semelhante aos valores de aterro sanitário em verde. O gráfico azul encobriu a matriz verde abaixo representada no gráfico 17.

Gráfico 17 – Resultado da matriz L_0' - somente aterro controlado Bandeirantes

Fonte: Elaboração própria

Os valores obtidos como aterro controlado são próximos dos valores apresentados na simulação para aterro sanitário. Ressaltasse que não havia valorização do gás metano como energia elétrica. O metano, quando emanado do aterro controlado, era queimado nas cabeças de poços. Seu potencial de geração de metano, dentro desse ciclo de vida, é muito próximo dos valores encontrados para aterro sanitário (tabela 20).

Tabela 20 – Resultado da simulação para L_0' (m^3/ton)

Categoria do local	FE = 0,6	FEC = 0,85
Lixão	2,04	14,4
Aterro Controlado	8,16	57,6
Aterro Sanitário	9,35	66,0

Fonte: Elaboração própria

Cabe reforçar que o fator de coleta contribuiu significativamente para o potencial de geração de metano, tanto para o aterro controlado quanto para o aterro sanitário.

Neste momento do trabalho, já há condições para calcular a influência das três categorias do clima, sobre as condições de geração de gás no aterro Bandeirantes. Vale ressaltar que não foi possível classificar o local do aterro dentro de uma categoria, a variabilidade do clima que tem comportamento complexo e não será objeto de pesquisa em detalhes para este estudo de caso.

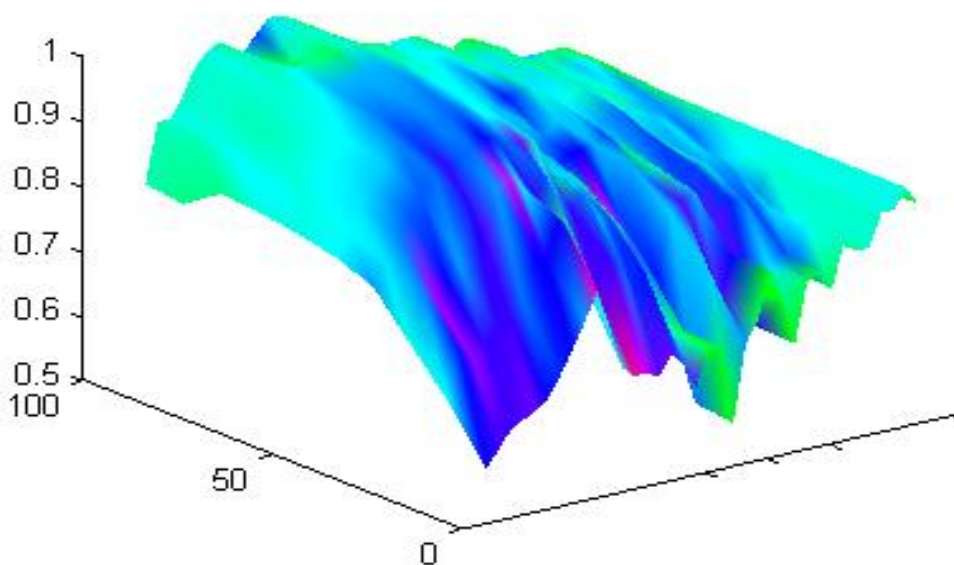
Limita-se neste trabalho a aplicar o mesmo método de cálculo, em relação à influência climática para a geração de gás no aterro Bandeirantes.

- 1º Caso para L_0 : Considerado os 3 tipos de clima com as faixas de melhor e pior produção juntas, 140 a 47 m^3/t .
- 2º Caso para L_0 : Considerado os 3 tipos de clima com as faixas de pior produção, 62, 62 e 47 m^3/t .
- 3º Caso para L_0 : Considerado os 3 tipos de clima com as faixas de melhor produção, 140, 140 e 125 m^3/t .

O final da simulação gerou um resultado próximo ao teórico calculado pelo sistema. O gráfico 18 de saída está menor devido a diferença entre o teórico e o experimental, que mostra o volume perdido.

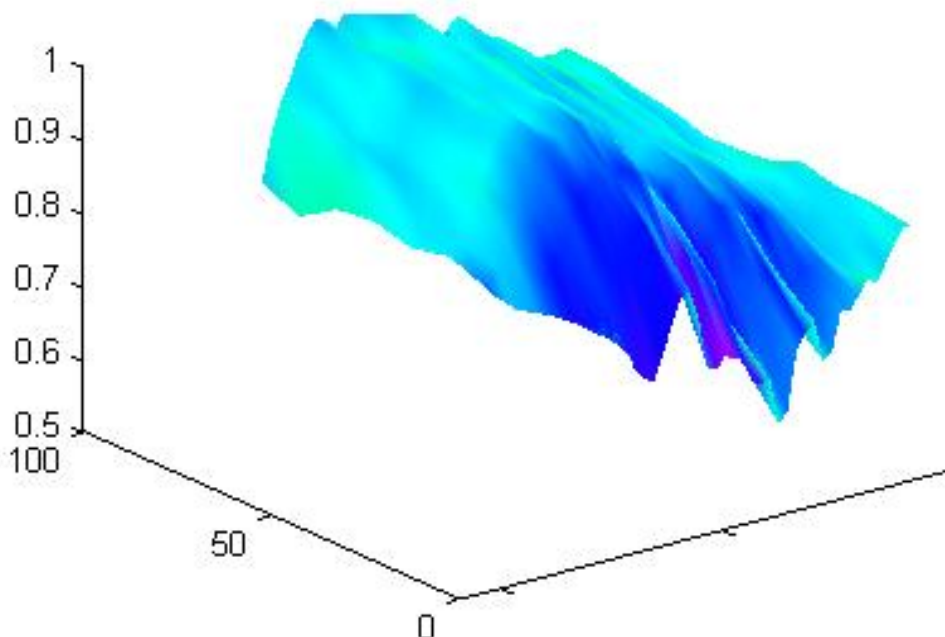
O total teórico é soma de toda a capacidade de geração de gás provável. O total experimental é a diferença do que não foi aproveitado.

Gráfico 18 – Gás perdido para geração de energia
Potencial Volumetrico gas teorico



elétrica

Potencial Volumetrico gas experimental



Fonte: Elaboração própria

O potencial volumétrico otimizado buscou responder a uma situação não considerada na maioria dos estudos e pesquisas, com relação a geração de gás em aterros sanitários, em países em desenvolvimento.

Foi considerado, neste estudo, o ciclo de vida, da atual Usina Bandeirantes. Por este motivo o cálculo do potencial de geração de gás, para este modelo, admite três locais existentes na dinâmica como lixão, aterro controlado e aterro sanitário.

Isto pode significar que havia uma demanda de produção gás para valorização como energia, que não foi aproveitada. O metano dispersou-se no ar ou quando em grandes quantidades foi queimado nas bocas de saída espalhadas no local. Somente em 2008 passou a ser aproveitado para produção de energia.

CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA DA PESQUISA

Especificar uma metodologia de pesquisa é uma tarefa complexa e cuidadosa. A pesquisa em si, reuni uma coleção de fatores e atividades que estão relacionadas com o tempo, e concomitantemente com respostas das formulações de perguntas.

4.1 Classificação da pesquisa

Antes de classificar a pesquisa realizada, vale ressaltar que “A pesquisa dá a você o conhecimento e as habilidades necessárias para resolver problemas e vencer desafios de um ambiente de tomada de decisão”(COOPER e SCHINDLER, 2001).

Conforme Lakatos e Marconi (2003), classificar o tipo de pesquisa exige foco do autor. Saber os critérios classificatórios exige a percepção clara dos interesses, condições, campos em que essa pesquisa pode estabelecer-se.

A classificação da pesquisa segue objetivos bem definidos. Marconi e Lakatos (2003) apontam que na pesquisa exploratória, o objetivo é proporcionar maior familiaridade com o problema e na pesquisa descritiva, o objetivo maior é a descrição de características de um cenário ou fenômeno, estabelecendo relações entre uma ou mais variáveis.

Cervo *et al.*(2006) descrevem a classificação da pesquisa em relação ao tipo, como exposto a seguir.

- Pesquisa descritiva – observa, registra, analisa e correlaciona fatos ou variáveis, sem manipulá-los. Busca descobrir com mais detalhamento e precisão a forma e a quantidade com que os fenômenos acontecem. Relaciona esses fenômenos com outros e com o ambiente que o cerca. As formas mais comuns que se destacam são estudos descritivos, pesquisa de opinião, pesquisa documental, pesquisa de motivação e estudo de caso.

- Pesquisa exploratória – pode ser denominada também como pesquisa científica. Auxilia na formulação de hipóteses relevantes para futuras pesquisas.
- Pesquisa Experimental – manipula diretamente as variáveis relacionadas com o objeto pesquisado.
- Pesquisa bibliográfica – a abordagem do problema parte de referências teóricas publicadas pela comunidade científica.

A finalidade da pesquisa é investigar um problema, completam Cervo *et al.*(2006). Resumidamente a pesquisa é dividida em cinco partes: fundamentação teórica, pesquisa *in loco*, análise dos dados, discussões dos resultados e conclusões.

4.2 Método e procedimento

Constituem as etapas mais concretas da investigação, afirma Marconi e Lakatos (2003). Tem por finalidade restringir os termos de explicação geral dos fenômenos menos abstratos. Os principais métodos de pesquisa, segundo os autores, preconizam uma atitude efetiva em relação ao fenômeno em domínio restrito. As abordagens nas ciências sociais, por exemplo, podem ser, a realização de uma linha do tempo comparativa, estudo de caso, estudo estatístico, estudo funcional, dentre outros.

Turrioni e Mello (2012) observam que os métodos **quantitativos** de pesquisa mais importantes são o experimento, a pesquisa levantamento (questionário) e a **modelagem e simulação**. Os métodos **qualitativos** de pesquisa mais importantes são o **estudo de caso**, a pesquisa-ação e o *soft system methodology*.

A modelagem e simulação são empregadas quando se deseja experimentar. O problema pode ser resolvido por meio de um modelo, à partir de um sistema real, determinando-se como este sistema responderá a modificações que lhe são propostas.

O objetivo é **estudar o comportamento**. O **estudo de caso** envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento, (TURRIONI e MELLO, 2012).

A evolução da simulação está relacionada à evolução tanto de hardware quanto de software. Segundo Chung (2004) *apud* Turrioni e Mello (2012), a modelagem e simulação é o processo de criar e experimentar um sistema físico através de um modelo matemático computacional. Um sistema pode ser definido como um conjunto de componentes ou processos que se interagem e que recebem entradas e oferecem resultados para algum propósito.

Para Pereira (2000), a simulação computacional representa um sistema real por meio de um modelo utilizando um computador, com a vantagem de se poder visualizar esse sistema, implementar mudanças e responder a testes, minimizando custos e tempo.

Brighenti (2006) refere-se à modelagem e simulação como um sistema interativo. Que podem ser discretos ou contínuos, em que as variáveis podem assumir valores finitos ou infinitos em relação ao tempo ou a diferença desses tempos. E neste caso, a simulação deve dar condições de resolver equações diferenciais.

Em resumo, este trabalho está relacionado aos estudos sobre pesquisa qualitativa com foco investigativo. As noções teórico-metodológicas que estão presentes nesse tipo de pesquisa estão embasadas numa linha investigativa denominada de interacionista, que se diferencia da postura positivista no tratamento dos dados. Essa última é também chamada de pesquisa quantitativa. A abordagem aponta para o estudo de caso, com o objetivo de constituir modelos matemáticos que provisionem as estimativas.

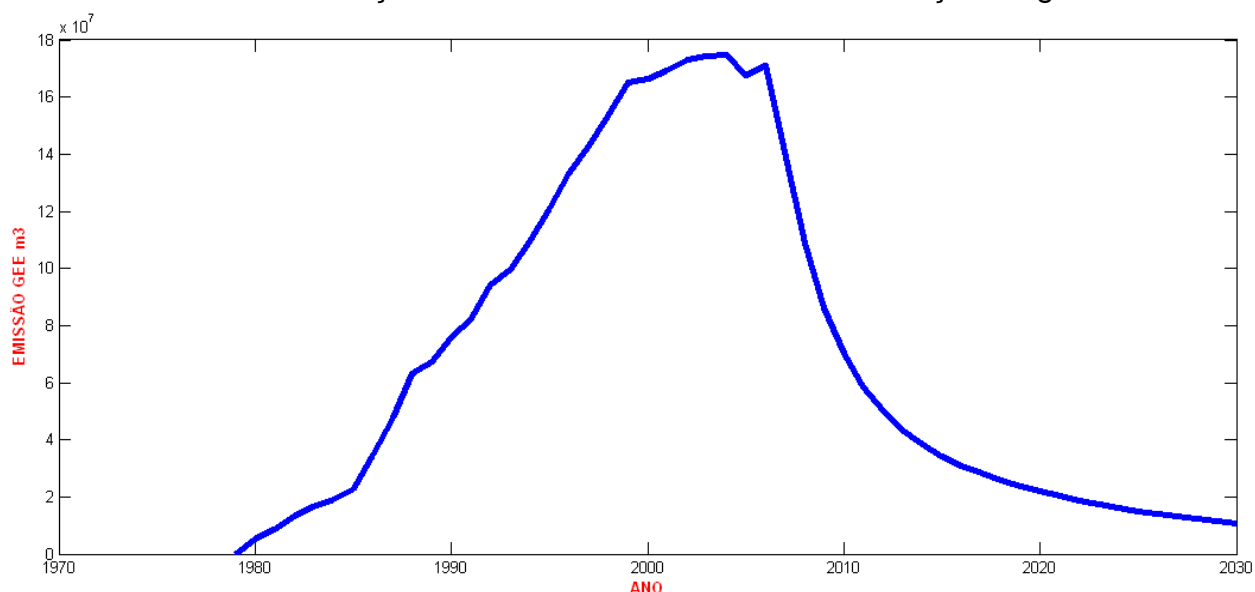
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS DO POTENCIAL DO ATERRO SANITÁRIO BANDEIRANTE - MODELO EXPERIMENTAL SIMULADO

A estimativa de geração e energia elétrica é uma variável dependente das emissões de metano em um aterro sanitário. Para que isso ocorra e assim possibilitar investimentos atrativos, é preciso estimar o potencial de geração de gás metano daquele futuro empreendimento.

Além disso, a mitigação de metano e dos GEEs, contribuem para os mecanismos de desenvolvimento limpo comercializarem o equivalente em créditos de carbono no mercado mundial com os países desenvolvidos.

A comparação dos resultados obtidos da simulação e do estudo de caso aponta a demora em alternativas, para valorização do gás metano. A comparação e os detalhes podem ser vistos nos gráficos 19, 20 e 21.

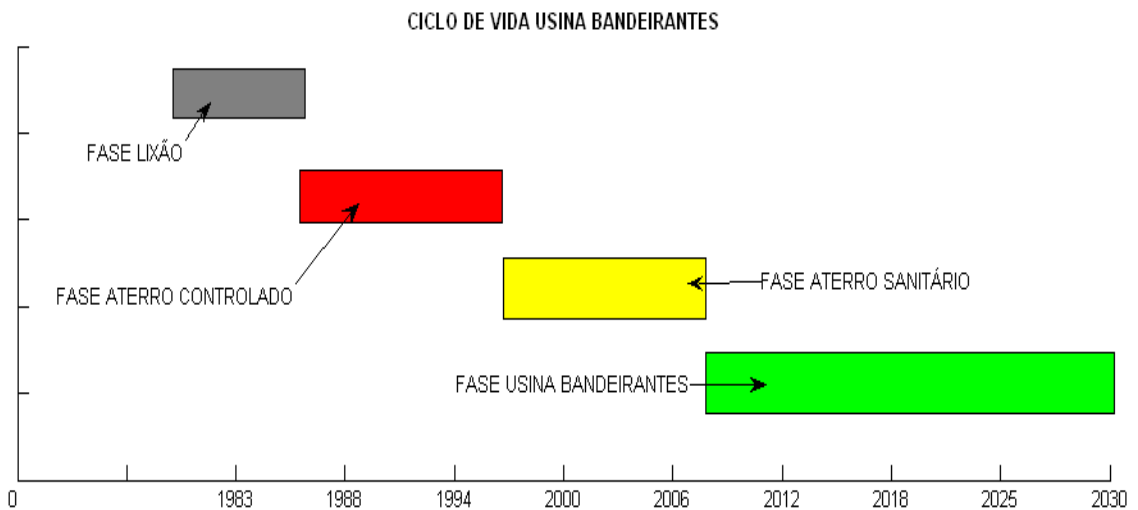
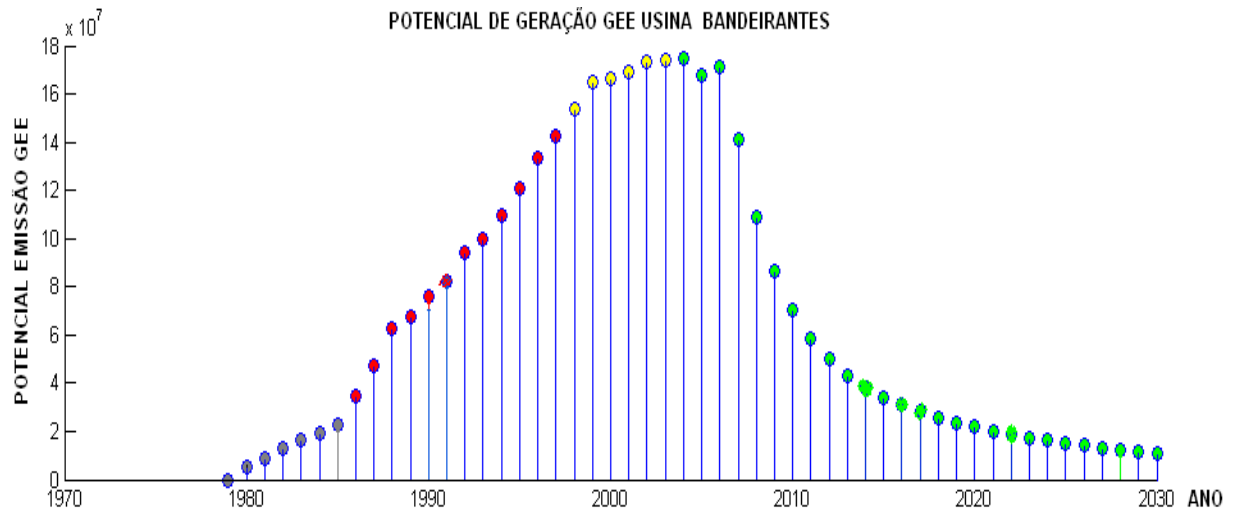
Gráfico 19 – Simulação da estimativa de Potencial de Geração de gás metano



Fonte: Elaboração própria

O gráfico 20 mostra um pico de geração de gás em torno de 2004 que não foi aproveitado. Nessa época o *status* do local era como aterro controlado. Portanto não havia projeto de valorização do metano para conversão em energia elétrica.

Gráfico 20 e 21 – Ciclo de vida da Usina Bandeirantes



Fonte: Elaboração própria

De maneira comparativa, o gráfico x mostra as 4 fases do ciclo de vida da usina Bandeirantes e a relação com o potencial de geração de GEE. A fase de aterro controlado durou 12 anos, a fase de aterro sanitário durou 11 anos, a fase de usina já dura cerca de 5 anos, porém está sendo utilizada no ciclo de decaimento de produção de gas.

Deixou de ser valorizado 2.095.724.529 m³ de GEE, isto equivale a produção de 2.356.207 MWh. Seria possível alimentar a usina e ainda sobraria 2.244.175 MWh.

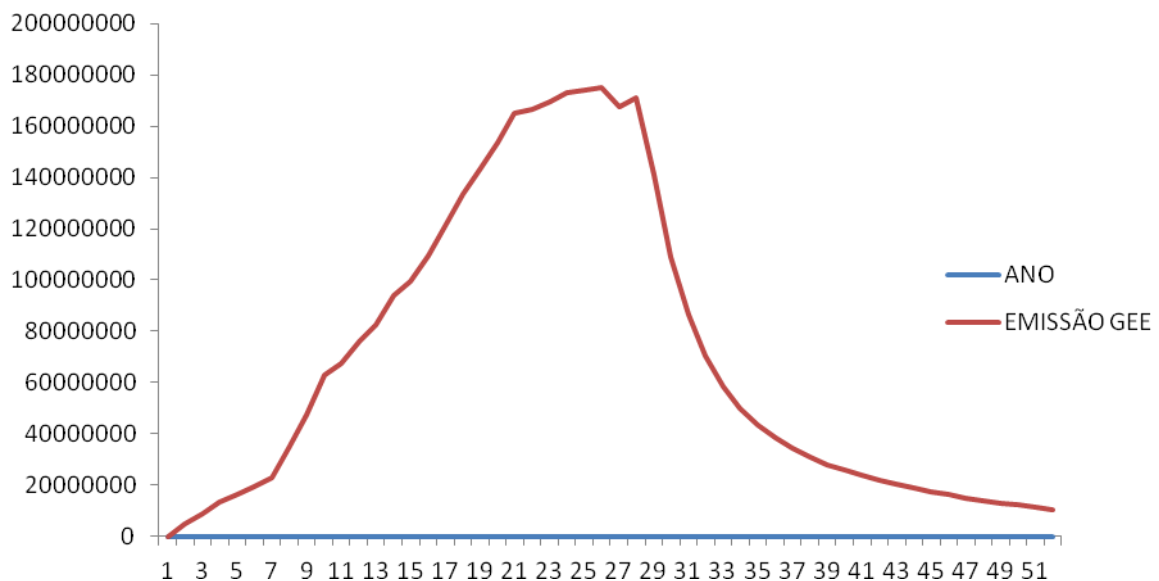
A simulação retorna que até 2030, a usina produzirá 1.424.148.778 m³ de GEE. Isto equivale a geração de 1.683.183 MWh, e subtraindo os gastos de energia, desde 208 até 2030, poderá injetar no grid elétrico paulista, 1.552.479 MWh.

Na estimativa de redução de carbono só puderam ser “comercializadas” a partir de 2010, refere-se ao mais recente contrato aprovado pelo MDL. Há a estimativa de que até 2017, quando encerra esse contrato, serão comercializados 1.751.497 tCO₂e/ano.

A simulação também mostrou que há uma ligeira discrepância em relação ao valor teórico e o valor experimental. A autora considera que a modelagem requer ajustes, mas estes são implementados facilmente em software.

Porém ajustes nas **baselines** ou metodologias precisam ser realizados também. A figura 2 mostra o potencial de metano seguindo a metodologia MDL. Não está previsto uma análise mais profunda do ciclo de vida do aterro produtivo de gás.

Figura 18 – Potencial de geração do metano teórico (estimado)



Fonte: Elaboração própria

As atuais metodologias não simulam condições ótimas ou condições mínimas. Trabalham com dados baseados em estatística pura, e muitas vezes não se tem a melhor forma para comparar os resultados encontrados. Utilizam a média aritmética de todos os dados dos resultados encontrados. O ciclo de vida da emissão de gás metano no aterro é de 51 anos, a escala de metano é em metros cúbicos.

CAPITULO 6 – RESULTADOS DA PESQUISA REALIZADA FRENTE AO MODELO EXPERIMENTAL SIMULADO NOS 4 GRUPOS E CONCLUSÕES

A Usina de Balbina – Usina Hidráulica Elétrica (UHE) no AM tem seu destino de energia para São Paulo e fornece o equivalente a 250MW; a UHE de Governador Parigot de Souza (Capivari/Cachoeira), em operação, na cidade de Antonina – PR fornece para São Paulo o equivalente a 260MW de energia. O custo com o transporte de energia, considerando as perdas existentes, poderia ser suprimida pelos 170 MW potenciais da região sudeste para o estado de São Paulo. A tabela 21 mostra uma compilação de dados sobre os potenciais energéticos do Brasil

Tabela 21 – Potencial de geração de energia RSU

Região	Potencial de geração de energia (MW)
SUL	23
SUDESTE	170
CENTRO OESTE	22
NORDESTE	49
NORTE	18
TOTAL	282

Fonte: Elaboração própria

Se considerarmos as PCHs – pequenas centrais hidroelétricas e sua produção, possivelmente maiores ganhos poderiam decorrer em relação ao baixo volume de água em épocas de baixa produção, nas hidroelétricas e nelas também. O sistema de geração de energia pode assim funcionar como sistema redundante em referencia as pequenas PCHs localizadas na região. Estes projetos carecem de licenciamentos ambientais ágeis e também uma solução de melhor eficiência para aproveitamento das pequena quedas d'água.

No entanto, o número de aterros controlados, lixões e aterros sanitários que não estão valorizando o metano como energia e créditos de carbono, merece ser avaliado. Produzir energia e por outro lado, negociar créditos de carbono no mercado, como uma **commodity** da produção de energia, pode ser um bom investimento.

A questão dos aterros, controlados ou sanitários e lixões passa por uma grande transformação recente. Com a meta até 2014, os lixões terão que ser

fechados, deverá haver um grande incentivo a reciclagem e reuso de materiais. Mas assim como na Alemanha, por mais esteja madura em relação aos processos de destinação de resíduos, os aterros vão continuar existindo.

O modelo de simulação não está completo, precisa de implementações de outros módulos, para testar e interagir, com o objetivo de encontrar os pontos frágeis deste cenário, que trata os resíduos. O conjunto de dados é extenso e por esta medida fica mais fácil a implementação em software.

Várias leituras podem ser concluídas deste estudo. O Brasil precisa rever suas políticas de segurança e manutenção da matriz energética. No caso estudado, o antigo aterro Bandeirantes, São Paulo deixou de agregar a sua malha energética em pouco mais de 20 anos mais o montante de 1,5 Tera Watts hora, mais do que isso perdeu 1,5 TWh de energia. De alguma forma esse processo da Usina Bandeirantes não contribuiu para o meio ambiente com eficiência. Se considerarmos o período que não aproveitou os GEEs, no caso o metano. Projetos de hidroelétricas poderiam ter sido revistos a longo prazo, se o potencial de Bandeirantes tivesse sido aproveitado.

A Usina de Bandeirantes, em nosso estudo, poderia ter sido melhor aproveitada em termos de fonte de energia, deixando assim que as hidroelétricas não produzissem energia e em consequência emitissem GEEs por conta de suas etapas produtivas.

Vários ciclos produtivos são tratados como cadeias produtivas pelo MDL, como a logística a exemplo. Esta cadeia está mapeada informando em cada etapa qual a contribuição da emissão de GEEs. Porém o do aterro sanitário não se encontra envolvido como um ciclo produtivo. Além do mais, existem projetos na Europa, como Portugal a exemplo, de tri geração energia elétrica, térmica e solar.

Consiste no reuso da área do aterro sanitário por células solares para contribuir com a produção de energia. Em outros projetos o aterro é reaproveitado como usina de reciclagem e incineração.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Atlas Brasileiro de emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos**. Abrelpe – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Diretor Executivo: Carlos R. V. Silva Filho, 2012, 172p.

ABNT NBR 8849:1985. **Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos – Procedimento**. Em vigência desde 1985.

ABNT NBR15849: 2010. **Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento**. Em vigência desde 2010.

ALVES, I. R. F. S. **Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2008. 118 folhas, 33-34.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. CHAMADA Nº 014/2012 Projeto Estratégico: **”Arranjos Técnicos e Comparação da Inserção da Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás oriundo de resíduos e efluentes líquidos na Matriz Energética Brasileira”**. *Julho, 2012*. Publicado no DOU – Diário Oficial da União em 26/07/2012, pág 107 – Seção 3.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Informações Técnicas. **Aterro sanitário produz biogás para usina térmica no RS**. Publicado em 17/05/2011, no portal institucional http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=4098&id_area=90, acessado em 12/11/2012.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidroelétricos e aqueles com fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, com potência instalada menor ou igual a 30.000 kW**. Resolução Normativa Nº 271, de 3 de Julho de 2007 - Altera a redação dos arts. 1º e 3º da Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2007271.pdf>, acessado em 12/11/2012.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Mecanismo de Realocação de Energia**. Resolução Normativa ANEEL n. 109, de 26 de outubro de 2004 (Diário Oficial, de 29 out. 2004, seção 1, pág. 196).

ANTON, H. *et al.* **Cálculo**. Volume I. Bookman, 8ª Ed. Porto Alegre, 2005. Capítulo 9, 1181p, pág 582-611.

BARROS, L. H. S. Requalificação dos aterros desativados (brownfields) no município de São Paulo: Parques (greenfields) Raposo Tavares e Jardim Primavera. Tese de Doutorado FAUUSP, São Paulo, 2011, 403 p, pág 13.

BRITTO, A.L.; Cordeiro, B. S.; Pereira, T. D.; Hubner, C. F.; Sousa, A. C. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil. A Avaliação político-institucional do setor de saneamento básico**. Volume nº IV. Brasília: Ministério das Cidades/Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2011, 537 p, pág 28 a 30; 154,208 a 257.

BRIGHENTI, J. R. N. **Simulação e otimização de uma linha de manufatura em fase de projeto**. Itajubá: UNIFEI, 2006. 113p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de PósGraduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Engenharia de Itajubá).

BLFGE - Bandeirantes Landfill Gas to Energy Project, projeto de número 0164, disponível em <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1134130255.56>. Acessado em 03/06/2011.

CETESB. **Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo. Relatório de 2007 / CETESB**. São Paulo, CETESB, 2007, 2272 p, pág 1049.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares 2011**. Série Relatórios/Secretaria de Estado do Meio Ambiente. CETESB; Coordenação Maria Heloisa P. L. Assumpção; Equipe técnica: Maria Heloisa P. L. Assumpção et al. São Paulo; CETESB, 2012, 218 p.

COOPER, D. e SCHINDLER, P. **Métodos de pesquisa em Administração**. McGraw Hill, 2001.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. Metodologia Científica, 6ª ed., Pearson Education, São Paulo, 2006.

CHRISTENSEN, H. T. Journal of **Solid Waste Technology and Management**. Journal. Blackwell Publishing Ltd, the first published in 2011, 1052 p, page 3-4.

CHRISTENSEN, H. T. Journal of **Solid Waste Technology and Management**. Volume 1&2. Wiley, 2010, capítulo 2.1. **Waste Characterization: Approaches and Methods**, pág 61-84.

COMISSÃO DA UNIÃO EUROPEIA. **WASTE MANAGEMENT MODEL**. European Environment Agency. European Commission, EU Member State Municipal Waste Management Model, 2013. Disponível em: < <http://www.wastemodel.eu>>. Acessado em: 25 maio 2013.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA nº 404, de 11 de novembro de 2008. **Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos**. (Publicação – Diário Oficial da União – 12/11/2008)

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA nº 6, de 19 de setembro de 1991. **Dispõe sobre o tratamento de resíduos sólidos provenientes de estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos**. Seção 1, página 24063 (Publicação – Diário Oficial da União – 30/10/1991)

DOU BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 12.305, aprovada em 2/08/2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, de 03 de ago. 2010. 22 p. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato/2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acessado em 30/10/2011.

DOU BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei Nº 11.107, de 6 de abril de 2005. Publicada no DOU de 7.4.2005.

DECRETO n. 2.003, de 10 setembro de 1996, **Dispõe sob o Autoprodutor de energia elétrica**. Publicado no Diário Oficial, de 11 set. 1996, seção 1, p.17917. Glossário do Setor Elétrico, Grupo Neoenergia, Principais siglas, termos técnicos e legislação básica do setor elétrico. Disponível em: <<http://www.neoenergia.com/file/download/glossario.pdf>>. Acesso em: 23 abril 2012.

DESTATIS in Germany. Statistisches Bundesamt. Waste arase in Germany at 387 milion tonnes. Press Realease nº 170 of 22.05.2013. Disponível em: <https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2013/05/PD13_170_321.html>. Acesso em: 25 maio 2013.

DIAS, S. G. **O desafio da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos**. Sociedade e Gestão. Revista RAE, Fundação Getúlio Vargas, 16 vol. 11 nº 1 jan/jun 2012.

EIA – U.S Energy Information Administration. **Annual Energy Outlook 2012. With Projections to 2035**, publication in June,2012. Office of Integrated and International Energy Analysis. U.S. Department of Energy. Washington, DC 20585. 252 p, pág 90.

EIA – U.S Energy Information Administration. **U.S. Hydropower output varies dramatically from year to year**. Publication August 15, 2011. Disponível em: <<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=2650>>. Acesso em 25 outubro 2012.

EIGENHEER, E. A história do lixo: **A limpeza urbana através dos tempos, Rio de Janeiro**. Editora Campus, Rio de Janeiro, 2009. 144 p, pág 7 a 69.

EHRIG, H. J. **Quality and Quantity of Sanitary Landfill Leachate**. Waste Management & Research, 1983, 1, 53-68. Disponível em: <<http://wmr.sagepub.com/content/1/1/53>>. Acesso em 9 fevereiro 2013.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balço Energético Nacional 2008**: Ano base 2007 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2008. 52 p.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balço Energético Nacional 2012**: Ano base 2011 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2012. 282 p. pág 15-17.

EPA – United States Environmental Protection Agency, Landfill Methane Outreach Program. **Energy Projects and Candidate Landfills**, june, 2012. Disponível em: <<http://www.epa.gov/lmop/projects-candidates/index.html>>. Acesso 12 novembro 2012.

EPE – **Série Estatísticas Energéticas**. Nota Técnica DEA 08/13. Boletim Conjuntura Econômica Energética. 3º trimestre de 2012. Rio de Janeiro. Abril de 2013.

EUROSTAT (2013) - European Comission. Statistics, Database by themes, **Waste Generation and Treatment**. Disponível em: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database>. Acesso em 22 maio 2013.

EUROSTAT – *The EU in the world 2013: A statistical portrait*. Luxembourg: European Union, 2012.

FRANCHI, M. C. **Controle de processos industriais – princípios e aplicações**. Erica, São Paulo, 2011, 256. Capítulo 2.

GARCIA, C. Modelagem e Simulação. de Processos Industrias. Edusp, 2ª ed. rev. e ampl. São Paulo, 2005, 687p.

GARDNER, M; GOODGE, A; ROGNESS, J; CONSULTORES do MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Aproveitamento de Gás de Aterro Sanitário no Brasil e sua Regulação**. Relatório elaborado pela National Association of Regulatory Utility Commissioners (NARUC), Public Utilities Commission of Ohio, Kentucky Public Service Commission e Ministério do Meio Ambiente - MMA, junho de 2012.

GFCI – Global Financial Centres Index. **Global Financial Centres Index 12**. Long Finance. Disponível em: < <http://www.longfinance.net/Publications/GFCI%2012.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2013.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Scielo: **Estudos Avançados** Vol 21 nº 59, São Paulo, Edição de Janeiro/Abril 2007.

GOMES, M. B. **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. Comunicados do IPEA (instituto de Pesquisa Aplicada) nº 80. Série Eixos do Desenvolvimento Brasileiro. Edição de fevereiro, 2011. 27 p, pág10 a 17.

GONÇALVES, J. **A deriva urbanística do planejamento territorial: que consequências para o desenvolvimento local**. Cad. Metrop., São Paulo, v. 12, n. 24, 295-605 p. pág. 496-499, jul/dez 2010.

GUPTA, E.K.R., *et al.* **Global environment: problems and policies** Vol 3. Editora Atlantic Publishers & Distributors, Delhi, 2008, 288 p, pág 20 e 21.

HERR, M. and ROSTEK, S. **Biogaspartner – a joint initiative. Biogas Grid Injection in Germany and Europe – Market, Technology and Players**. Publisher: Deutsche Energie-agentur GmbH – Dena - German Energy agency - Renewable Energies, Berlin, Germany, 2011, p 80.

IBGE – FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – Diretoria de Pesquisas – DPE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – Limpeza Pública e Coleta de Lixo**, Manual de Instruções, 1989.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeção da População do Brasil por sexo e Idade 1980 - 2050**. Estudos e Pesquisas. Informação Demográfica e Econômica. Nº 24. Revisão, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Síntese dos Indicadores de 2009**. Rio de Janeiro: IBGE; 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2009/pnad_sintese_2009.pdf. Acesso em: 4 janeiro 2012.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Understanding Climate Change - 22 years of IPCC assessment**. IPCC, Edition November 2010, 9 p, page 4.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2008, 104 p, page 36.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 1997. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>>. Acessado em: 29 maio 2012.

JARDIM, A.; YOSHIDA, C.;MACHADO F.,J.V. **Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Editora Manole, Barueri, SP, 2012. Pág 19, 34 à 36, 62 e 63.

JACOB, P. **Cidade e meio ambiente: percepções e práticas em São Paulo**. Annablume, 2ª Ed. São Paulo, 2006, 206 p, pág 11 – 14.

KRISTIBSSON, K., and DUMONT, G.A. **System Identification and control using genetic algorithm**, IEEE Transactions. On Sys., Man, and Cybernetics, 1992, Vol nº 22, pages 1031-1042.

LANER, D. et al. **Environmental compatibility of closed landfills – assessing future pollution hazards**. Waste Management & Research, 2010. Disponível em: <<http://wmr.sagepu.com/content/29/89/98>. Acesso em 27 janeiro 2013.

LOGA. **Estação de Transbordo - 2012**. Disponível em: www.loga.com.br/news.asp, Acessado em 14 dezembro 2012.

LJUNG, L. **Asymptotic Variance Expression for Identified Black-Box Transfer Function Models**, IEEE Transactions. Automatic Control, 1985, Vol nº 30, page. 835.

LOBO, C. MATOS, R. **Dispersão espacial da população e do emprego formal nas regiões de influência do Brasil contemporâneo**. Cad. Metrop., São Paulo, v. 12, n. 24, 295-605 p. pág. 309-330, jul/dez 2010.

MACIEL, F. J.; JUCÁ, J. F. T. e NETO, A. C. **Avaliação do Projeto Piloto de Recuperação do Biogás no Aterro da Muribeca/PE**. VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Anais, Fortaleza, Ce, 2011. 8 p, pág 1.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M; Fundamentos da Metodologia Científica , 5 ed. Editora Atlas, São Paulo, 2003.

MARQUES, A.C.M. **Compactação e Compressibilidade de Resíduos Sólidos Urbanos**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos -USP, 2001, 267 p, pág 38.

MENDES, L. G. G.; MAGALHÃES S. P. **Estimate Methods of Biogas Generation in sanitary landfill**. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Faculdade de Engenharia, Campus Guaratinguetá – FEG. Departamento de Energia – DEN. Rev. ciênc. exatas, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 71-76, 2005.

MDL (**Mecanismos de Desenvolvimento Limpo**). BLFGE (**Bandeirantes Landfill Gas to Energy Project**), projeto de número 0164, 2006. Disponível em <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1134130255.56>, Acesso em: 29 maio 2012.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21 brasileira: resultado da consulta nacional / Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional**. 2. ed. Brasília : Ministério do Meio Ambiente, 2004, 158 p, 93.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Gestão do Lixo. Aterros Sanitários, 2010**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/sobre/meio-ambiente/gestao-do-lixo/aterros-sanitarios>>. Acesso em: 31 maio 2013.

MONTEIRO, J. H. P., *et al.* **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2001, IBAM (Instituto Brasileiro de Administração Municipal). 204 p, pág 36. Disponível em <http://www.web-resol.org/cartilha4/manual.pdf>>. Acessado em 02 de novembro de 2011. 643p.

MORAIS, V. e VIEIRA, C. Matlab. FCA, Lisboa, 2011.

NSPS - **New Source Performance Standards**. Lei 1990, seção 812. Environmental Protection Agency. 1997. Disponível em: < <http://www.epa.gov/cleanairactbenefits/>>. Acesso em 31 maio 2013.

NETO, A. S. **Inventário estadual de resíduos domiciliares: relatório de 2006 / CETESB** - Série Relatórios/Secretaria do Estado do Meio Ambiente. São Paulo, CETESB, 2007, 98p, pág 31.

NETO, E. R.;BÓGUS, C. M. (orgs). **Saúde nos aglomerados urbanos: uma visão integrada.** – Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde – Série Técnica Projeto de Desenvolvimento de Sistemas e Serviços de Saúde, Vol. 3, 2003. 352p , pág. 30 - 110 à115.

OBLADEN, N.L; OBLADEN, N.T.R.;BARROS, K.R. **Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos.** Volume III, Série de Publicações Temáticas do CREA-PR, dezembro de 2009, 64 p, págs 6,13.

OLIVEIRA, C. M. **Energia Renovável – Renewable Energy.** CMO Internacional Consultoria e Gestão de negócios – Brasil Biomassa e Energia Renovável – Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável, 1ª Ed, 2011, 305 p, pág 44.

OLIVEIRA, L. B. **Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil.** 2004. 237 p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

OGATA, K. **Modern Control Engineering.** Third Edition, University of Minnesota. Printice Hall, 1997, 983 p, pages 57 to 65.

PECORA, V et al. **Comparação do Desempenho Ambiental de Alternativas para a Destinação de Resíduos Sólidos Urbanos com Aproveitamento Energético.** III Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços. Novos desafios para um planeta sustentável. 03 a 06 de setembro de 2012. Maringá – PR – Brasil. 6 p.

PMSP – Prefeitura Municipal da Cidade de São Paulo. **A Coleta de Lixo em São Paulo.** Portal da Prefeitura de São Paulo. Secretaria Municipal de Serviços. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/coleta_de_lixo/index.php?p=4634>. Acesso em: 25 maio 2013.

PMSP – Prefeitura Municipal da Cidade de São Paulo. **Área de Concessão de coleta de resíduos.** Portal da Prefeitura de São Paulo. Secretaria Municipal de Serviços. Disponível em:<<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/limpurb/concessao/index.php?p=4630>> Acesso em: 29 setembro 2011.

PNSB - **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.** Ministério das Cidades, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais.Rio De Janeiro, 2010. 219 p, pág 59 – 61.

PEREIRA, S. L. **Eco - Economia Tecnológica Cooperativa**. Revista BSP – Business Scholl São Paulo, julho de 2010.

PEREIRA, I. C. **Proposta de sistematização da simulação para fabricação em lotes**. Itajubá: EFEI, 2000. 134p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Escola Federal de Engenharia de Itajubá).

REIS, L. B., FADIGAS, E. A. F. A., CARVALHO, E. C. **Energia, recursos naturais e prática do desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP, Editora Manole, 1ª edição, 2005. 415p, pág 180, 181, 228, 297 a 299.

ROSE, Juliana Lundgren; MAHLER, Cláudio Fernando and IZZO, Ronaldo Luis dos Santos. **Comparison of the methane oxodation rate in four media**. Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. 2012, vol.36, n.3, págs 803-812.

RUTHER, R; SALAMONI, I. **O POTENCIAL DOS SETORES URBANOS BRASILEIROS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA DE FORMA INTEGRADA ÀS EDIFICAÇÕES**. Mudanças climáticas e o impacto das cidades. Fórum Patrimônio, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 84-94, 2011

SCHUELER, A. S. **Sistema de avaliação para classificar áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos visando a remediação e a pós-ocupação**. Nota Técnica ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental) – 131_06. Vol.13 - Nº 3 - jul/set 2007, 249-254 p, pág 249.

SILVA, J. **Análise Termoeconômica do Processo de Geração de Vapor e Potência do Segmento de Celulose e Papel**. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Itajubá, sob orientação de Rogério José da Silva; co-orient. por Manuel da Silva Valente de Almeida. Itajubá, MG, UNIFEI, 2002, 218 p, pág 1,2 e 17.

SCHAADT, A *et al.* **Schriften des Forschungszentrums Jülich. Energy & Environment**. Institute of Energy Research (IEF), 18th World Hydrogen Energy Conference 2010 – WHEC 2010. Volume 78-3 komplett, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, 2010, 658 p, pages 71, 373.

SECRETARIA FEDERAL DO MEIO AMBIENTE. **Ablagerung von Abfällen auf Deponien**. Agencia Federal Ambiental. Dados Ambientais. Outubro, 2011. Disponível em: <<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de>>. Acessado em: 25 maio 2013.

SCHMIDT, M. ***Spartenübergreifende und integrierende Themen sowie Stromerzeugung aus Klär-, Deponie- und Grubengas.*** Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2011, gemäß § 65 EEG. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Vorhaben I. Endbericht. Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg. Juni, 2011. 118 s. seite 12-16.

Secretaria de Energia do Estado de São Paulo. **Matriz Energética do estado de São Paulo – 2035.** Sumário Executivo, Março de 2011, 39 p, pág 13 e 18.

SILVA, A. A.;MICHAELSEN, B. L.; VALLS, F. **Diagnóstico Situacional da Gestão de Resíduos Sólidos no Município de Uruguaiana – RS.** Temática Gestão. 1º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Instituto Venturi para Estudos Ambientais – Porto Alegre, RS, 2007. 6 p, pág 1 e 3.

SILVA, T. N. e CAMPOS, L. M. S. **Avaliação da Produção e Qualidade do Gás de Aterro parágrafo Energia nenhum aterro sanitário dos Bandeirantes.** São Paulo. *Eng. Sanit. Ambiente.* [online]. 2008, vol.13, n.1, pp 88-96.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M.; tradução Sonia Midori Yamamoto. **Química Ambiental.** Editora Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2009, 334 p, págs 113 -115.

STEGE, G. A. ***Methane Emission Reductions achieved by landfill gas projects in developing countries,*** SCS Engineers, Phoenix, Arizona. 2009. 6 p.

TABOADA, C. **Gestão de Tecnologia e Inovação na Logística.** Iesd Brasil SA. Curitiba, 2009, 104 p, pág 80 – 85.

TAN, K. C., Li, Y., SMITH, D .J. M. and SHARMAN, K. C. **Nonlinear Parameter Estimation via the Genetic Algorithm,** IEEE Innovations and Applications, Vol n 42, 1994, pages 927- 935.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil** – Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2003. 515 p , pág 1 e págs 39 à 58.

TOLMASQUIM, M. T. **Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil.** Scielo: Estudos Avançados. Vol 26, nº 74, São Paulo 2012.

TURRIONI, J. B. ; MELLO, C. H. P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção. Estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, 2012. 199 p.

USEPA – Environmental Protection Agency. **United States International Best Practices Guide for Landfill Gas energy Projects. Landfill Gas Modeling.** Global Methane Initiative. Capítulo 6, 2012, 14p, pág 63 – 67.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer.** The Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer & The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Ninth edition (2012), 709 p., page 544, section 3.2.

VANZIN et al (2007). **Análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no aterro metropolitano Santa Tecla.** XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2006, 9 p.

VENTURA, K. S. **Modelo de Avaliação do gerenciamento de resíduos de serviços de saúde (RSS) com uso de indicadores de desempenho. Estudo de caso: Santa Casa de São Carlos – SP.** Tese (Doutorado-programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento) , Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009. 258 p, pág 26.

WILLUMSEN, H. C. **Energy recovery from landfill gas in Denmark and Worldwide.** LG Consultant, 2002. 9 p, pág 1.

WORRELL, W. A. e VESILIND, P. A. **Solid Waste Engineering.** 2ª Ed, Cengage Learning, 2011. 401 p, pág 118 e 119.

ANEXO

Tabela para Cálculo do IQR – Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – CETESB

MUNICÍPIO:					DATA:				
LOCAL:									
BACIA HIDROGRÁFICA:									
LICENÇA:					L.: sim L.O.: não T.A.C. não				
ÁREA DELIMITADA:									
ITEM	SUB-ITEM	AValiação	PESO	PONTOS	ITEM	SUB-ITEM	AValiação	PESO	PONTOS
1	CAPACIDADE DE SUPORTE DO SOLO	ADEQUADA	5	0	3	ASPECTO GERAL	BOM	4	0
C		INADEQUADA	0	0			BUM	0	0
A	PROXIMIDADE DE NÚCLEOS HABITACIONAIS	LONGE > 500m	5	0		OCORRÊNCIA DE LIXO A DESCOBERTO	NÃO	4	0
A		PROXIMO	0	0			SIM	0	0
A	PROXIMIDADE DE CORPOS DE ÁGUA	LONGE > 200m	3	0	C	RECOBRIMENTO DO LIXO	ADEQUADO	4	0
C		PROXIMO	0	0	O		INADEQUADO	1	0
T	PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO	MAIOR 3m	4	0	N		INEXISTENTE	0	0
E		DE 1 A 3m	2	0	D	PRESEÇA DE URUBUS OU GAVIOTAS	NÃO	1	0
R		DE 0 A 1m	0	0	I		SIM	0	0
I	PERMEABILIDADE DO SOLO	BAIXA	5	0	C	PRESEÇA DE MOSCAS EM GRANDE QUANTIDADE	NÃO	2	0
S		MEDIA	2	0	O		SIM	0	0
T		ALTA	0	0	E	PRESEÇA DE CATADORES	NÃO	3	0
I	DISPONIBILIDADE DE MATERIAL PARA RECOBRIMENTO	SUFICIENTE	4	0	S		SIM	0	0
A		INSUFICIENTE	2	0		CREAÇÃO DE ANIMAIS (PORCOS, BOIS)	NÃO	3	0
S	QUALIDADE DO MATERIAL PARA RECOBRIMENTO	NENHUMA	0	0	O	DESCARCA DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE	NÃO	3	0
D	CONDIÇÕES DE SISTEMA VIÁRIO, TRÁNSITO E ACESSO	BOAS	3	0	E	DESCARCA DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	NÃO / ADEQUADA	4	0
L	ISOLAMENTO VISUAL DA VIZINHANÇA	BOA	2	0	R		SIM / INADEQ.	0	0
C	LEGALIDADE DE LOCALIZAÇÃO	LOCAL PERMITIDO	5	0	A	FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM PLUVIAL DEFINITIVA	BOM	2	0
A		LOCAL PROIBIDO	0	0	C		REGULAR	1	0
I	SUBTOTAL MÁXIMO		40		I	DEFINITIVA	INEXISTENTE	0	0
2	CERCAMENTO DA ÁREA	SIM	2	0	O	PROVISÓRIA	BOM	2	0
I		NÃO	0	0	N		REGULAR	1	0
N	PORTARIA / GUARITA	SIM	2	0	A	FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM DE CHORUME	BOM	3	0
F		NÃO	0	0	S		REGULAR	2	0
R	IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE DO ATERRO	SIM / DESNECES.	5	0			INEXISTENTE	0	0
A		NÃO	0	0		FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE CHORUME	BOM	5	0
E	DRENAGEM DE CHORUME	SUFICIENTE	5	0			REGULAR	2	0
S		INSUFICIENTE	1	0		FUNCIONAMENTO DO SIST. DE MONITORIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	BOM	2	0
T	DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS DEFINITIVA	SUFICIENTE	4	0			REGULAR	1	0
R		INSUFICIENTE	2	0		EFICIÊNCIA DA EQUIPE DE VIGILÂNCIA	BOA	1	0
U	DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS PROVISÓRIA	SUFICIENTE	2	0			BUM	0	0
T		INSUFICIENTE	1	0		MANUTENÇÃO DOS ACESSOS INTERNOS	BOAS	2	0
U		INEXISTENTE	0	0			REGULARES	1	0
R	TRATOR DE ESTEIRAS OU COMPATIVEL	PERMANENTE	5	0			PESSIMAS	0	0
A		PERIÓDICAMENTE	2	0		SUBTOTAL MÁXIMO		40	
I		INEXISTENTE	0	0					
M	OUTROS EQUIPAMENTOS	SIM	1	0		TOTAL MÁXIMO	130		
P		NÃO	0	0					
L	SISTEMA DE TRATAMENTO DE CHORUME	SUFICIENTE	5	0		IQR = SOMA DOS PONTOS / 13			
A		INSUF. / INEXIST.	0	0					
N	ACESSO A FRENTE DE TRABALHO	BOM	3	0		IQR	AValiação		
T		BUM	0	0		0 a 6,0	CONDIÇÕES INADEQUADAS		
A	VIGILANTES	SIM	1	0		6,1 a 8,0	CONDIÇÕES CONTROLADAS		
D		NÃO	0	0		8,1 a 10	CONDIÇÕES ADEQUADAS		
A	SISTEMA DE DRENAGEM DE GASES	SUFICIENTE	3	0		TOTAL DE CATADORES:	MENORES DE 14 ANOS:		
		INSUFICIENTE	1	0					
		INEXISTENTE	0	0					
	CONTROLE RECEBIMENTO DE CARGAS	SIM	2	0					
		NÃO	0	0					
	MONITORIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	SUFICIENTE	3	0					
		INSUFICIENTE	2	0					
		INEXISTENTE	0	0					
	ATENDIMENTO A ESTIPULAÇÕES DE PROJETO	SIM	2	0					
		PARCIALMENTE	1	0					
		NÃO	0	0					
	SUBTOTAL MÁXIMO		40						

Fonte: Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – site <http://www.cetesb.sp.gov.br/residuos-solidos/Residuos-Urbanos> - acessado em 30/10/2011.

Relatório de áreas contaminadas no Estado de São Paulo, ano base de 2007, emitido pela Agência Estadual CETESB. Registro do Aterro Sanitário Bandeirante

Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO - ATERRO SANITÁRIO BANDEIRANTE

RUA MOGUEIRO 1580 - PERUS - SÃO PAULO

Atividade Indústria comércio posto de combustível resíduo aditivos agricultura desconhecida

Categoria remediação em andamento

Etapas do gerenciamento

- Invenção contaminação
 Invenção de lixiviação
 avaliação de risco
 concepção/proteção da remediação
 remediação em andamento com monitoramento operacional

Fonte de contaminação

- armazenagem produção manutenção emissões atmosféricas tratamento de efluentes
 descarte/disposição infiltração aditivos desconhecida

Méio impactado

Méio Impactado	Propriedade	
	Dentro	Fora
solo superficial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
subsolo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
águas superficiais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
águas subterrâneas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sedimentos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ar	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
biota	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- existência de fase livre
 existência de POPs

Contaminantes

- combustíveis líquidos fenóis
 metais biodiesel
 outros inorgânicos nitatos
 solventes halogenados dioxinas e furanos
 solventes aromáticos anilinas
 solventes aromáticos halogenados radionuclídeos
 PAHs microbiológicos
 PCBs outros
 metais e outros suspensos

Ações emergenciais e de controle in situ

Risco Iminente

- isolamento da área (proibição de acesso à área)
 ventilação/exaustão de espaços confinados
 monitoramento do índice de explosividade
 monitoramento ambiental
 remoção de materiais (produtos, resíduos, etc.)
 fechamento/interdição de poços de abastecimento
 interdição edificações
 proibição de escauções
 proibição de consumo de alimentos

Risco Crítico

	restrição	proposição de avaliação de risco	comunicado ao órgão responsável	implantada
uso de solo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
uso águas subterrâneas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
uso águas superficiais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
consumo alimentos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
uso de edificações	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Processos de remediação

- bombeamento e tratamento oxidação/redução química barreira física
 extração de vapores do solo (SVE) barreiras reativas barreira hidráulica
 air sparging lavagem de solo bioremediação
 biosparging remoção de solo/resíduo fitoremediação
 blowdown recuperação fase livre biopilha
 extração multifásica encapsulamento geotécnico atenuação natural monitorada
 deodorização residual cobertura de resíduo/solo contaminado outros



Diretoria de Controle de Poluição Ambiental
 Diretoria de Engenharia, Tecnologia e Qualidade Ambiental

DADOS ESTATÍSTICOS DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE, CALOR E COMBUSTÍVEL A PARTIR DE RESÍDUOS NA ALEMANHA

ENERGIA DE GÁS DE ATERRO	ANO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	GERAÇÃO DE ELETRICIDADE BRUTA	115408	126330	184202	207 231	191 656	177 837	160 309	126 844	100 350	75 227	73 956
GERAÇÃO ELETTRICIDADE LIQUIDA	110551	118179	180303	201 636	183 550	169 711	153 170	114 831	89 394	71 212	70 593	
GERAÇÃO DE CALOR NET		63851	67850	93 859	121 467	101 327	86 060	64 927	31 238	29 254	29 559	
GERAÇÃO DE COMBUSTIVEL	673035	1142756	1417891	1687549	1983283	1983570	1746940	1402226	876 547	765 145	779 612	
ENERGIA DE RESÍDUOS DOMÉSTICO E INDUSTRIAL	GERAÇÃO DE ELETRICIDADE BRUTA	3897805	4321204	4232557	6074878	7267272	8259887	8978515	9352548	10175079	10529366	9439875
	GERAÇÃO ELETTRICIDADE LIQUIDA	2926819	3182945	3094260	4524206	5523465	6398662	7049002	7283341	8020179	8353124	7520808
	GERAÇÃO DE CALOR NET		6515057	6745422	8341577	9222013	9565484	10755536	11955268	13294922	13051547	12158816
	GERAÇÃO DE COMBUSTIVEL	53723430	81266241	80803387	123 347 324	141 014 114	149 761 354	165 788 540	176 552 896	193 764 577	196 084 530	184 795 894
ENERGIA DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	GERAÇÃO DE ELETRICIDADE BRUTA								1 287 406	1 287 406	1 428 821	1 340 490
	GERAÇÃO ELETTRICIDADE LIQUIDA								1 034 237	1 034 237	1 141 420	1 074 009
	GERAÇÃO DE CALOR NET								2 187 537	2 187 537	2 479 536	2 281 184
	GERAÇÃO DE COMBUSTIVEL								26 363 957	26 363 957	27 349 900	26 047 219
ENERGIA DE RESÍDUOS DOMÉSTICOS E RSU	GERAÇÃO DE ELETRICIDADE BRUTA								8 887 673	10 175 079	9 100 545	9 439 875
	GERAÇÃO ELETTRICIDADE LIQUIDA								6 985 942	8 020 179	7 211 704	7 520 808
	GERAÇÃO DE CALOR NET								11 107 385	13 294 922	10 572 011	12 158 816
	GERAÇÃO DE COMBUSTIVEL								167 400 620	193 764 577	168 734 630	184 795 894

COMPILAÇÃO PRÓPRIA. FONTE: GENESIS, 2013 (*Elektrizitätserzeugung, Nettowärmeerzeugung, Brennstoffeinsatz: Deutschland, Jahre, Energieträger*)

	III Trimestre			12 meses findos em setembro						
	GWh		Δ%	Estrutura (%)		GWh		Δ%	Estrutura (%)	
	2011	2012		2011	2012	2011	2012		2011	2012
Consumo total - Regiões Geográficas										
Norte	7.182	7.234	0,7	6,6	6,5	27.363	28.831	5,4	6,4	6,5
Nordeste	18.123	18.615	2,7	16,7	16,8	71.741	74.643	4,0	16,7	16,8
Sudeste	57.734	58.031	0,5	53,1	52,4	229.441	233.477	1,8	53,4	52,6
Sul	18.393	19.002	3,3	16,9	17,2	73.377	76.936	4,8	17,1	17,3
Centro-Oeste	7.290	7.827	7,4	6,7	7,1	27.480	30.111	9,6	6,4	6,8
Consumo total - Subistemas Elétricos										
5 Isolados	1.888	1.990	5,4	1,7	1,8	7.095	7.681	8,3	1,7	1,7
Norte	7.713	7.265	-5,8	7,1	6,6	29.604	29.860	0,9	6,9	6,7
Nordeste	14.993	15.771	5,2	13,8	14,2	59.726	62.862	5,3	13,9	14,2
Sudeste/CO	65.735	66.681	1,4	60,5	60,2	259.600	266.659	2,7	60,5	60,1
Sul	18.393	19.002	3,3	16,9	17,2	73.377	76.936	4,8	17,1	17,3
Consumo por classe										
Residencial	27.854	28.635	2,8	25,6	25,9	111.035	115.578	4,1	25,9	26,0
Industrial	47.020	46.346	-1,4	43,2	41,9	183.058	184.114	0,6	42,6	41,5
Comercial	17.647	18.825	6,7	16,2	17,0	72.471	77.403	6,8	16,9	17,4
Outros	16.202	16.902	4,3	14,9	15,3	62.838	66.902	6,5	14,6	15,1
Total	108.723	110.709	1,8	100,0	100,0	429.402	443.997	3,4	100,0	100,0

Fonte: EPE-Série Estatísticas Energéticas 2011-2012

RESUMO VARIAÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA - 1º TRIMESTRE				
ANO		2011	2012	Varição
CONSUMO TOTAL REGIÕES GEOGRÁFICAS	NORTE	7182	7234	52
	NORDESTE	18123	18615	492
	SUDESTE	57734	58031	297
	SUL	18393	19002	609
	CENTRO OESTE	7290	7827	537
CONSUMO TOTAL DOS SUBSISTEMAS	NORTE	1888	1990	102
	NORDESTE	7713	7265	-448
	SUDESTE	14993	15771	778
	SUL	65735	66681	946
	CENTRO OESTE	18393	19002	609
CONSUMO POR CLASSE	RESIDENCIAL	27854	28635	781
	INDUSTRIAL	47020	46346	-674
	COMERCIAL	17647	18825	1178
	OUTROS	16202	16902	700
	TOTAL	108723	110709	1986

Compilação Própria. Fonte: EPE-Série Estatísticas Energéticas 2011-2012

CONSUMO ENERGIA ELÉTRICA BRASIL - DADOS ESTATÍSTICOS - RESUMO COMPILAÇÃO TOTAL POR ANO - 2004 - 20013 (*)										
região/ano	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Norte	19.788.264	20.564.513	21.551.966	22.850.074	23.873.082	24.082.999	26.236.659	27.777.104	28.875.529	9.438.778
Nordeste	53.786.084	56.904.251	59.060.392	62.367.048	65.103.195	65.243.764	71.196.945	71.913.805	75.280.027	26.793.320
Sudeste	180.969.621	188.680.654	195.131.302	206.785.171	209.943.764	204.554.966	222.004.702	230.668.383	235.299.922	79.768.015
Sul	55.943.730	57.891.228	59.693.847	62.996.383	65.899.959	65.528.269	69.933.916	74.469.787	78.085.367	26.921.491
Centro-Oeste	19.219.728	20.243.030	20.691.809	22.031.338	23.652.399	24.896.383	26.310.480	28.204.522	30.735.472	10.475.380

(*) dados de 2013 somente até o 1º quadrimestre

Fonte: EPE - Empresa Brasileira de Energia - 2013

Detalhamento da Metodologia – Original de UNFCCC – Baseline de novembro de 2012.

United Nations
Framework Convention on
Climate Change

CDM Methodology Booklet November 2012 (up to EB 63)

ACM0001

ACM0001 Flaring or use of landfill gas



Typical project(s)	Capture of landfill gas (LFG) and its flaring and/or use to produce energy and/or use to supply consumers through natural gas distribution network.
Type of GHG emissions mitigation action	<ul style="list-style-type: none"> • GHG destruction. • Destruction of methane emissions and displacement of a more-GHG-intensive service.
Important conditions under which the methodology is applicable	<ul style="list-style-type: none"> • Captured landfill gas is flared, and/or; • Captured landfill gas is used to produce energy, and/or; • Captured gas is used to supply consumers through natural gas distribution network.
Important parameters	Monitored: <ul style="list-style-type: none"> • Amount of landfill gas captured; • Methane fraction in the landfill gas; • If applicable: electricity generation using landfill gas.
BASELINE SCENARIO LFG from the landfill site is released to the atmosphere	<p>The baseline scenario flowchart shows a linear process: Waste (represented by a trash can icon) is disposed of (represented by a landfill icon), producing Landfill gas (represented by a flame icon). This gas is then released (represented by a dollar sign icon) into the atmosphere, resulting in CH4 emissions (represented by a flame icon).</p>
PROJECT SCENARIO LFG from the landfill site is captured and flared; and/or used to produce energy (e.g. electricity/thermal energy); and/or used to supply consumers through natural gas distribution network.	<p>The project scenario flowchart shows the same initial steps as the baseline: Waste is disposed of, producing Landfill gas. However, the Landfill gas is captured and directed to three alternative paths: Flaring (flame icon), Energy (e icon), and Natural gas (flame icon). Additionally, some gas is still released (dollar sign icon), which leads to CH4 emissions (flame icon). The release and CH4 emission steps are crossed out with an 'X' to indicate they are avoided compared to the baseline.</p>

BASE DE DADOS ORIGINAL DO PROJETO USINA BANDIRANTES –Qte resíduos depositados		
	Year	Waste Accpetance (tons)
	1979	0 LIXÃO
	1980	229.040 LIXÃO
	1981	231.408 LIXÃO
	1982	313.633 LIXÃO
	1983	321.956 LIXÃO
	1984	325.585 LIXÃO
COLETA SELETIVA	1985	408.887 ATERRO CONTROLADO
	1986	801.366 ATERRO CONTROLADO
	1987	1.017.866 ATERRO CONTROLADO
	1988	1.283.852 ATERRO CONTROLADO
	1989	977.852 ATERRO CONTROLADO
	1990	1.206.964 ATERRO CONTROLADO
	1991	1.224.954 ATERRO CONTROLADO
	1992	1.508.817 ATERRO CONTROLADO
	1993	1.377.148 ATERRO CONTROLADO
	1994	1.616.710 ATERRO CONTROLADO
	1995	1.823.170 ATERRO CONTROLADO
	1996	1.971.651 ATERRO CONTROLADO
LICENÇA DE OPERAÇÃO	1997	1.992.386 ATERRO SANITARIO
	1998	2.142.325 ATERRO SANITARIO
	1999	2.305.464 ATERRO SANITARIO
	2000	1.964.424 ATERRO SANITARIO
	2001	2.043.617 ATERRO SANITARIO
	2002	2.082.855 ATERRO SANITARIO
	2003	1.993.371 ATERRO SANITARIO
	2004	1.965.347 ATERRO SANITARIO
	2005	1.594.350 ATERRO SANITARIO
	2006	1.974.799 ATERRO SANITARIO
	2007	489.627 ATERRO SANITARIO
	2008	Usina
	2009	Usina
	2010	Usina
	2011	Usina
	2012	Usina
	2013	Usina
	2014	Usina
	2015	Usina
	2016	Usina
	2017	Usina

FONTE: BLFGE, 2011. ERs Estimatives - BLFGE_rev_08072011

Resumo da Tabela de Dados sobre o aterro Bandeirantes

Nº de Atendimento	Ponto de coleta		UF	Município	CEP	Logradouro	Número	Comunidade	Fone	Fax	E-mail	Data de criação	Status	Área			Capacidade			Tipo de Resíduo
	Área total	Área útil												Área disponível	Capacidade total	Capacidade útil	Capacidade disponível			
437	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
438	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
439	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
440	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
441	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
442	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
443	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
444	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
445	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
446	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
447	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
448	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
449	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
450	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
451	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
452	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
453	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
454	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
455	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
456	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
457	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
458	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
459	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
460	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
461	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
462	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
463	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
464	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
465	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
466	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
467	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
468	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
469	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
470	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
471	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
472	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
473	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
474	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido
475	0	0	DF	Bandeirantes	71320	Rua	523	40	370	0	0	0	2	100	100	0	500	500	0	Sólido

APÊNDICE C – TESTES DA SIMULAÇÃOResultados da matriz L_0' e L_0 ($l_a = L_0'$ e $l_c = L_0$) Bandeirantes $l_z =$

14.4000 2.0400

14.4000 2.0400

14.4000 2.0400

14.4000 2.0400

14.4000 2.0400

14.4000 2.0400

 $l_{z1} =$

57.6000 8.1600

57.6000 8.1600

57.6000 8.1600

57.6000 8.1600

57.6000 8.1600

57.6000 8.1600

57.6000 8.1600

57.6000 8.1600

57.6000 8.1600

57.6000 8.1600

57.6000 8.1600

57.6000 8.1600

 $l_{z2} =$

66.0000 9.3500

66.0000 9.3500

66.0000 9.3500

66.0000 9.3500

66.0000 9.3500

66.0000 9.3500

66.0000 9.3500
66.0000 9.3500
66.0000 9.3500
66.0000 9.3500
66.0000 9.3500

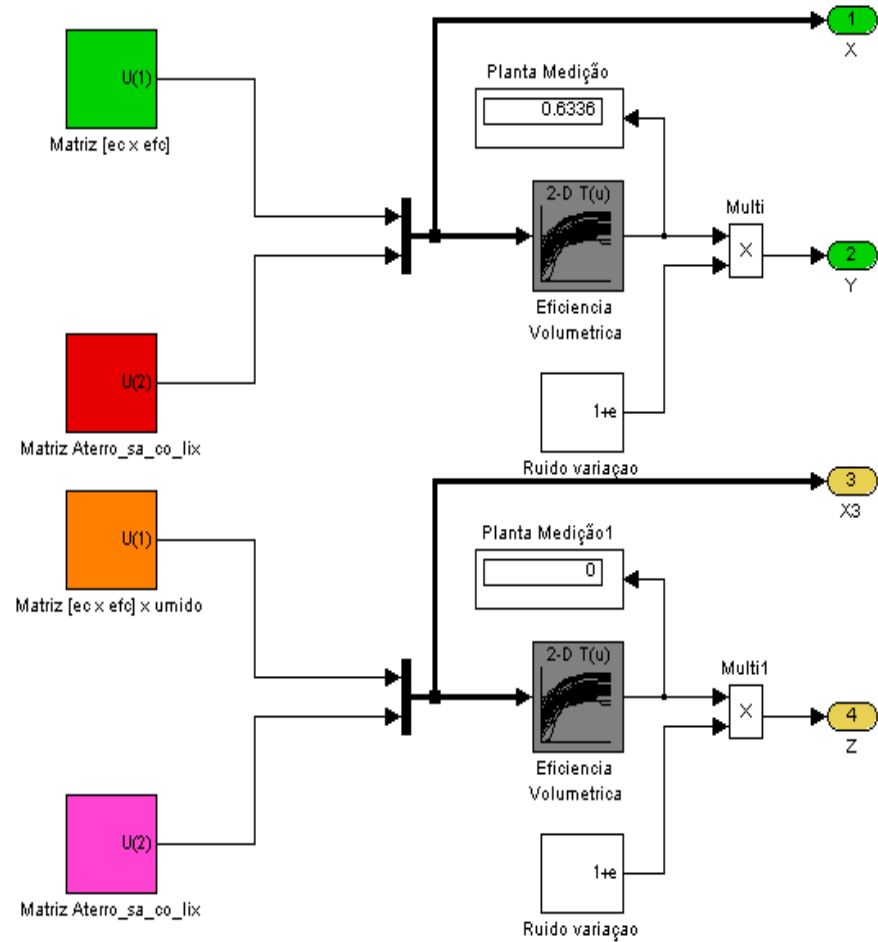
Input dados Aterro Bandeirantes Matlab Simulink

1980 5.121.565
1981 8.784.989
1982 13.244.392
1983 16.635.555
1984 19.195.287
1985 22.966.223
1986 34.512.403
1987 47.620.849
1988 63.009.638
1989 67.292.040
1990 75.795.627
1991 82.547.084
1992 94.034.068
1993 99.577.499
1994 109.276.365
1995 121.159.667
1996 133.313.376
1997 142.841.630
1998 153.446.390
1999 165.119.761
2000 166.293.733
2001 169.489.936
2002 173.164.169
2003 174.264.070

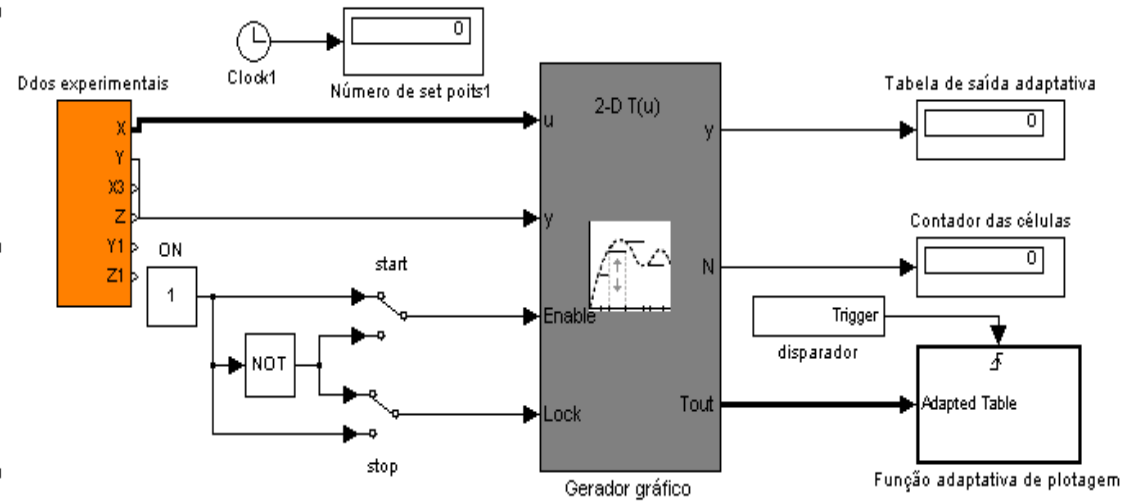
2004	174.897.819
2005	167.491.710
2006	171.180.068
2007	140.875.945
2008	108.866.933
2009	86.348.030
2010	70.277.921
2011	58.609.546
2012	49.963.274
2013	43.407.701
2014	38.312.606
2015	34.250.286
2016	30.929.349
2017	28.150.257
2018	25.775.471
2019	23.709.387
2020	21.884.838
2021	20.254.016
2022	18.782.349
2023	17.444.367
2024	16.220.907
2025	15.097.218
2026	14.061.673
2027	13.104.885
2028	12.219.101
2029	11.397.788
2030	10.635.335

PLANTA MODULO GAS – DETERMINAÇÃO VOLUMETRICA

MODULO GAS



PLANTA MODULO GAS – DETERMINAÇÃO VOLUMETRICA



MODULO GAS VOLUMETRIA

