



**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**

Emerson Vanzin

**PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA
DO USO DO BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS PARA GERAÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA: APLICAÇÃO NO ATERRO
SANTA TECLA**

Passo Fundo

2006

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

Emerson Vanzin

ORIENTADOR: Professor Adalberto Pandolfo, Dr.

PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA
DO USO DO BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS PARA GERAÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA: APLICAÇÃO NO ATERRO
SANTA TECLA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Passo Fundo

2006

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação:

**“PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA
DO USO DO BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS PARA GERAÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA: APLICAÇÃO NO ATERRO
SANTA TECLA”**

**Elaborada por:
Emerson Vanzin**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia

**Aprovado em: 24/01/2006
Pela Comissão Examinadora**

**Dr. Adalberto Pandolfo
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador**

**Dr^a. Tania Nunes Silva
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**Dr^a. Luciana Londero Brandli
UPF – Universidade de Passo Fundo**

**PhD. Pedro Alexandre Varela Escosteguy
UPF -Universidade de Passo Fundo**

**Dr. Verner Luiz Antoni
UPF – Universidade de Passo Fundo**

Passo Fundo

2006

*Dedico este trabalho aos meus pais Alcides e Merce,
as minhas irmãs Andressa e Mariângela e a minha
noiva Renata.*

Agradeço ao grande senhor, criador do universo, que de maneira especial, iluminou-me nesta caminhada.

A minha noiva Renata, pela motivação, pelo apoio incondicional e pelo companheirismo neste trabalho.

A família pelo apoio a mais esta etapa de minha vida.

Ao Prof. Adalberto Pandolfo pelas contribuições e a orientação estratégica.

Aos Professores Dr. Pedro Escosteguy e Dr^a Luciana Brandli, pelas excelentes contribuições e sugestões.

Aos demais professores do PPGENG da UPF, em especial ao Coordenador do Curso, Prof. Dr. Antônio Thomé.

Ao Engenheiro Arceu Bandeira Rodrigues do DMLU pela atenção e empenho .

RESUMO

A energia é combustível indispensável para o desenvolvimento econômico e o estilo da sociedade moderna, porém, o desenvolvimento, a geração de energia e a sociedade produzem fortes impactos e danos ambientais. Contudo, a preocupação com o meio ambiente instiga questões relacionadas com aquecimento global, chuva ácida e a disposição dos resíduos sólidos. O objetivo principal deste trabalho é criar um procedimento para análise da viabilidade econômica da geração de energia elétrica, com a utilização do biogás, proveniente da decomposição anaeróbica de resíduos em aterros sanitários e aplicá-lo no Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla. A revisão bibliográfica aborda assuntos sobre o uso da energia e o meio ambiente, problemas ambientais como camada de ozônio e aquecimento global, disposição dos resíduos sólidos, biogás, geração de energia elétrica no Brasil, viabilidade econômica e benefícios ambientais. Nos resultados é apresentado o desenvolvimento do procedimento proposto, composto pela avaliação do potencial de geração de biogás através do modelo de decaimento de primeira ordem, capacidade de geração de energia elétrica, criação do fluxo de caixa e venda de créditos de carbono. Após, é aplicado o procedimento no aterro metropolitano Santa Tecla, onde obteve-se a taxa interna de retorno e o valor presente líquido para uma usina de 2 MW. Foram criados oito cenários para o estudo da viabilidade, considerando valores otimistas, conservadores e pessimista, para a venda de energia e de créditos de carbono para simulação de prováveis situações futuras. A instalação da usina de geração de energia elétrica traria como benefícios financeiros a geração de receita para o proprietário do aterro pela venda do biogás, neste caso as prefeituras municipais, podendo ser estendido à comunidade com a diminuição da taxa de limpeza urbana pelo biogás produzido e a diminuição da taxa de iluminação pública pela energia elétrica gerada e contribuição para o superávit da balança comercial pela venda de créditos de carbono. O sistema elétrico seria beneficiado pela diversificação da matriz energética.

Palavras-chaves: Energia de biomassa. Gás Metano. Aterro sanitário. Geração de energia elétrica. Viabilidade econômica de projetos.

ABSTRACT

Energy is a vital fuel both for the economic development and the modern society life style. However, the development, the electric energy production and the society itself cause strong impacts, and damage the environment. Nevertheless, the concerning about the environment has brought issues related to the global warming, acid rain and solid wastes deposit. This study aims to create a procedure to analyze the economic viability of the electric energy production based on the use of the biogas, which is a result of the anaerobic decomposition of wastes in sanitary landfills. Besides, it also aims to use this procedure at Santa Tecla Metropolitan Sanitary Landfill. The review of literature approaches topics related to the energy usage and the environment, environmental problems such as the ozone layer and the global warming, the solid wastes deposit, biogas, electric energy production in Brazil, economic viability and environmental benefits. In the results, part of this study points out for the development of the proposed procedure composed by the evaluation of biogas production capacity using a first-order decaimant model, electric energy production capacity, cash-flow creation and certified sales of carbon credits. After these steps, the procedure was applied at Santa Tecla Metropolitan Landfill. At this landfill there was an internal rate of return (IRR) tax and net present value (NPV) to a 2MW power plant. Eight sceneries have been created, each of them considering different values (optimist, conservative, pessimist) for energy and carbon credits sales, to simulate probable future situations. Thus, the electric energy power plant installation would bring, as financial benefits, the moneymaking possibility through biogas sales for the owner of the landfill. In this specific case, city halls would be the first to benefit from it. It would also benefit the entire community, since the biogas produced would reduce public cleaning costs, as well as public illumination taxes, which would be provided by the electric energy produced. Other benefits would be the contribution for commercial balance superavit through sales of carbon credits and energetic matrix diversification for the electric system.

Keywords: Biomass energy. methane gas. Sanitary Landfill. Electric energy production. Economic viability of projects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de evolução do consumo de eletricidade no Brasil.....	24
Figura 2 – Produção de gás pela decomposição anaeróbica do lixo.....	30
Figura 3 – Fases de formação do biogás.....	31
Figura 4 – <i>Design</i> da pesquisa.....	40
Figura 5 – Visita ao Aterro Metropolitano Santa Tecla.....	41
Figura 6 – Procedimentos para análise da viabilidade econômica.....	45
Figura 7 – Curva de geração de metano, em função do tempo do aterro.....	47
Figura 8 – Geração de energia elétrica, em função do tempo do aterro.....	48
Figura 9 – Vista parcial dos drenos de gás do Aterro Metropolitano Santa Tecla.....	54
Figura 10 – Estimativa de geração de metano no Aterro Metropolitano Santa Tecla.....	58
Figura 11 – Curva de geração de energia elétrica estimada para o biogás do Aterro Metropolitano Santa Tecla.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de resíduos depositados no Aterro Santa Tecla.....	53
Tabela 2 – Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de Porto Alegre.....	55
Tabela 3 – Dados do Aterro Metropolitano Santa Tecla.....	56
Tabela 4 – Geração de biogás, energia elétrica e créditos de carbono.....	57
Tabela 5 – Tabela SAC do empreendimento.....	59
Tabela 6 – Cenários para análise do investimento.....	61
Tabela 7 – Cenários para análise do investimento com dólar a R\$ 3,00.....	63
Tabela A.1 – Cotação do dólar e financiamento.....	74
Tabela A.2 – Investimento, depreciação e valor residual.....	74
Tabela A.3 – Geração de energia elétrica.....	74
Tabela A.4 – Valores de venda de créditos de carbono, redução de base e fator de ajuste de segurança.....	74
Tabela A.5 – Valores de venda de energia elétrica.....	75
Tabela A.6 – Custos de manutenção e operação.....	75
Tabela A.7 – Tributos.....	75
Tabela B.1 – Fluxo de caixa do cenário I.....	77
Tabela C.1 – Fluxo de caixa do cenário II.....	79
Tabela D.1 – Fluxo de caixa do cenário III.....	81
Tabela E.1 – Fluxo de caixa do cenário IV.....	83
Tabela F.1 – Fluxo de caixa do cenário V.....	85
Tabela G.1 – Fluxo de caixa do cenário VI.....	87
Tabela H.1 – Fluxo de caixa do cenário VII.....	89
Tabela I.1 – Fluxo de caixa do cenário VIII.....	91

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais.....	11
1.2 Problema de pesquisa.....	12
1.3 Justificativa.....	13
1.4 Objetivos.....	14
1.4.1 Objetivo geral.....	14
1.4.2 Objetivos específicos.....	15
1.5 Limitação do trabalho.....	15
1.6 Estrutura do trabalho.....	16

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O uso da energia e o meio ambiente.....	17
2.2 Camada de ozônio.....	19
2.2.1 Aquecimento global.....	20
2.2.2 Protocolo de Quioto.....	21
2.3 A energia elétrica no Brasil.....	23
2.3.1 Fontes alternativas de energia.....	25
2.4 Resíduos sólidos.....	26
2.4.1 Geração de resíduos sólidos no Brasil.....	27
2.5 Biogás.....	29
2.5.1 Formação do biogás em aterro sanitário.....	29
2.5.2 Composição do biogás.....	34
2.5.3 Geração de energia elétrica utilizando biogás.....	34
2.6 Viabilidade econômica.....	35
2.7 Benefícios ambientais.....	36
2.8 Considerações finais do capítulo.....	38

3 MÉTODOS E MATERIAIS

3.1 Classificação da pesquisa.....	39
3.2 <i>Design</i> da pesquisa.....	40

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Apresentação do procedimento	44
4.1.1 Geração de metano.....	45
4.1.2 Capacidade de geração de energia elétrica.....	47
4.1.3 Investimento na captação de biogás e geração de energia elétrica.....	48
4.1.4 Financiamento do empreendimento.....	49
4.1.5 Receitas do empreendimento.....	49
4.1.6 Custos de operação e manutenção.....	50
4.1.7 Tributos.....	50
4.1.8 Formação do fluxo de caixa.....	51
4.2 Aplicação do procedimento ao caso do Aterro Metropolitano Santa Tecla.....	51
4.2.1 Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre/RS.....	51
4.2.2 Gestão ambiental dos resíduos.....	52
4.2.3 Aterro Metropolitano Santa Tecla.....	53
4.3 Curva de geração de biogás no aterro.....	56
4.4 Curva de geração de energia elétrica.....	58
4.5 Investimento da usina de geração de energia elétrica.....	59
4.6 Análise da viabilidade econômica.....	60
4.7 Sensibilidade do investimento à variação do dólar.....	63

5 CONCLUSÃO

5.1 Conclusão da pesquisa.....	64
5.2 Recomendações para trabalhos futuros.....	66

REFERÊNCIAS	67
--------------------------	----

APÊNDICES	72
------------------------	----

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O desenvolvimento econômico e o estilo de vida da sociedade moderna são processos complexos que compartilham um denominador comum: a disponibilidade de um abastecimento adequado e confiável de energia. Contudo, a preocupação com o meio ambiente instiga questões relacionadas com o aquecimento global, a chuva ácida e a disposição dos resíduos, que estão estritamente ligados à forma como é usada a energia. De acordo com Hinrichs e Kleinbach (2003), a energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna, indispensável para criar bens a partir de recursos naturais e fornecerem muitos dos serviços.

Segundo Ensinas (2003), a disposição final dos resíduos sólidos urbanos é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos em todo o planeta e tende a agravar-se com o aumento do consumo de bens descartáveis. Uma das alternativas de tratamento dos resíduos sólidos são os aterros sanitários, que tem como um dos subprodutos a emissão de gases provenientes da decomposição do material orgânico. Os principais constituintes desses gases são o dióxido de carbono e o gás metano, sendo este último um combustível possível de ser coletado e utilizado para a geração de energia.

1.2 Problema de pesquisa

A disposição dos resíduos sólidos está assumindo papel de destaque entre as demandas da sociedade brasileira e das comunidades locais, seja pelos aspectos ligados à veiculação de doenças e, portanto, à saúde pública; seja pela contaminação de cursos d'água e lençóis freáticos, na abordagem ambiental; seja pelas questões sociais, ou ainda pelas pressões advindas das atividades turísticas, é fato que vários setores governamentais e da sociedade civil começam a se mobilizar para enfrentar o problema, por muito tempo relegado a segundo plano (MONTEIRO et al., 2001).

De acordo com Escosteguy (s.d.), a geração do lixo, ou dos resíduos sólidos como esse termo é referenciado na literatura técnico-científico, é um dos problemas mais relevantes da sociedade contemporânea, agravado pelo crescimento gradativo e desordenado da população, a aceleração do processo de ocupação do território urbano e do crescimento gradativo dos bens de consumo popularizados pelo aumento da produção industrial.

A disposição dos resíduos sólidos em aterros sanitários é uma alternativa de baixo custo, largamente utilizado no Brasil. Resultados obtidos na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2001), mostram que o Brasil gera diariamente 228.413 toneladas de resíduos sólidos, sendo 82.640 toneladas dispostas em aterros sanitários.

De acordo com Ensinas (2003) a disposição final dos resíduos é um dos principais problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos, particularmente no Brasil. A emissão descontrolada do biogás produzido na decomposição anaeróbica da matéria orgânica pode ser uma ameaça ao ambiente local causando danos à vegetação, gerando odores desagradáveis, oferecendo ainda riscos de explosão. O biogás pode ser também um problema global, pois é formado por cerca de 50% de metano que é um gás causador do efeito estufa.

Alves Filho (2004) afirma que a proporção de gás na mistura depende, entre outros parâmetros, do tipo de material degradado, sendo o metano combustível empregado para movimentar motores e geradores de energia elétrica, que queimado por combustão completa minimiza a poluição atmosférica e a contribuição para o efeito estufa.

Segundo Lima (1995), os resíduos urbanos passaram a ser considerados uma fonte inesgotável de energia alternativa, pois a sua conversão biológica com fins energéticos vem a cada dia tornando-se mais interessante. Porém, de acordo com Ross et al. (1995), o

investimento deve ser comparado com uma alternativa relevante disponível no mercado financeiro e se não for atraente é melhor recorrer ao mercado em vez de realizar o projeto.

Diante deste cenário torna-se importante a verificação da viabilidade econômica da utilização do biogás como fonte geradora de energia elétrica. Sendo assim, definiu-se como questão de pesquisa: como sistematizar um procedimento que permita estudar a viabilidade econômica da utilização do biogás de um aterro sanitário para geração de energia elétrica?

1.3 Justificativa

O crescimento populacional e das atividades industriais trazem como consequência uma demanda cada vez maior de energia e um aumento na geração de resíduos sólidos. Isto impõe alguns problemas a serem solucionados, como os relativos às questões ambientais, disponibilidade e custos de energia.

A exaustão dos recursos naturais e a crescente agressão ao meio ambiente para suprir as necessidades humanas são apontadas como fatores de desequilíbrio do ecossistema. Porém, a economia mundial passa por uma reestruturação em busca de uma sociedade com desenvolvimento sustentável.

De acordo com Silva e Cavaliero (s.d.), após o racionamento de energia elétrica de 2001, a diversificação da matriz energética brasileira passou a ser fator estratégico com incentivo de geração a partir de fontes alternativas tais como eólica, biomassa e pequenas centrais hidroelétricas.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) já autorizou empreendimentos com potencial de geração de energia com a biomassa de 1.376,5 MW, entre eles, 20 MW proveniente do biogás de aterro sanitário.

De acordo com a CETESB (1999), a geração de metano em depósitos de resíduos sólidos urbanos no Brasil é de 677 Gg, cuja densidade é de $0,716 \text{ kg/m}^3$, o que representa 945 milhões de metros cúbicos por ano. Como o metano representa 55% do volume do biogás, têm-se 1.718 milhões de metros cúbicos anuais desse gás, com recuperação típica de 90%, estariam disponíveis 1.546 Mm^3 de biogás para geração de energia elétrica. Multiplicando este valor pelo poder calorífico do biogás, 5.800 kcal/m^3 e o resultado por 4.180 J/kcal , obtêm-se $3748122,4 \times 10^{10}$ Joules, sendo que cada joule corresponde a 1 Watt-segundo. Dividindo este valor pelo número de segundos em uma hora (3.600 s/h) e multiplicando o

resultado pela eficiência do motor a combustão interna, normalmente usado neste sistema, na faixa de 20%, encontra-se a energia disponível de 2,1 TWh, que alimentaria uma cidade de 875 mil residências com consumo médio mensal de 200 KWh, o que equivale a uma cidade de aproximadamente 3,5 milhões de habitantes.

Uma vantagem da utilização do biogás para a geração de energia elétrica é a proximidade da fonte geradora ao centro consumidor, evitando investimentos em linhas de transmissão de energia elétrica.

Segundo a Agência Estado (2003), além da oportunidade de gerar energia elétrica, para diversificar a matriz energética com uma alternativa descentralizada, a utilização do biogás de aterros contribui para diminuir as conseqüências das mudanças climáticas, já que o gás metano, produzido pelos resíduos sólidos, é mais nocivo que o gás carbônico (CO₂) na formação do efeito estufa. Com isso, projetos de aproveitamento desse recurso são passíveis de comercialização de créditos no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, previsto no Protocolo de Quioto.

O Brasil possui potencial para a utilização do biogás, pois segundo o IBGE (2001), 36,18% dos resíduos sólidos urbanos gerados diariamente são depositados em aterros sanitários, 37% em aterros controlados e 21,2% em lixões, porém, segundo Zulauf (2004), apenas 20 MW são explorados de um potencial superior a 350 MW. Portanto, é relevante estudar a viabilidade econômica, para ampliar para todo o país, a geração de energia elétrica através desta fonte de energia renovável, o biogás, aproveitando este potencial disponível.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo geral criar um procedimento para avaliar a viabilidade econômica da geração de energia elétrica com a utilização do biogás proveniente da decomposição anaeróbica de resíduos em aterros sanitários, proporcionando uma ferramenta para critério de decisão na utilização desta fonte de energia renovável próxima aos centros geradores de resíduos e consumidores de energia elétrica.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar o potencial de geração de biogás em aterros sanitários;
- Avaliar a capacidade de geração de energia elétrica utilizando o biogás resultante da decomposição anaeróbica dos resíduos sólidos;
- Avaliar o potencial de geração de certificados de redução de emissão - CRE de gases efeito estufa pela combustão do biogás em aterros sanitários;
- Sistematizar o procedimento de análise da viabilidade econômica da implantação de uma usina de geração de energia elétrica utilizando o biogás gerado em aterros sanitários;
- Aplicar o procedimento para análise da viabilidade econômica da implantação de uma usina de geração de energia elétrica utilizando o biogás gerado no Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla;

1.5 Limitação do trabalho

Este trabalho baseou-se em dados do Banco Mundial, um dos principais organismos financiadores de projetos ambientais desta natureza, pois a utilização desta fonte alternativa de energia é, ainda incipiente no Brasil, e não conseguiu-se dados nacionais para a elaboração do procedimento. Portanto, foram utilizados os valores de investimento e custo de manutenção e operação da usina de geração de energia elétrica e do sistema de captação do biogás, embasado em um banco de dados de aterros sanitários da América Latina com capacidade de disposição de resíduos sólidos de 1,13 a 29,15 milhões de toneladas.

Para a geração da curva de metano ao longo do tempo, foram utilizados parâmetros L_0 (potencial de geração de metano dos resíduos sólidos) e K (constante de decaimento) baseados em dados da revisão da literatura, pois o aterro estudado não tem mensurado estes valores.

A avaliação do empreendimento foi baseado na análise da viabilidade econômica e não foram considerados os benefícios sócio-ambientais e o impacto financeiro no setor público pelas receitas da venda do biogás, energia elétrica e créditos de carbono.

1.6 Estrutura do trabalho

Além do presente capítulo, onde estão apresentados o problema de pesquisa, a justificativa, e os objetivos, esta dissertação contém mais quatro capítulos.

No capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre conceitos necessários ao entendimento do tema da pesquisa. Inicialmente é abordado o uso da energia e o meio ambiente, o aquecimento global, o protocolo de Quioto e a questão dos créditos de carbono. Logo após, é feita uma breve revisão sobre a questão energética no Brasil e o uso de fontes alternativas de energia. Além disso, apresentam-se assuntos como resíduos sólidos, biogás e a geração de energia elétrica utilizando biogás de aterros sanitários. Por fim, é tratado o tema da viabilidade econômica de empreendimentos.

O capítulo 3 apresenta os métodos e materiais utilizados para a realização deste trabalho. Ainda, nesse capítulo, é apresentada a classificação da pesquisa e o *design* da mesma.

No capítulo 4 são apresentados os resultados da pesquisa. Num primeiro momento é feita a explanação do procedimento criado para avaliação da viabilidade econômica da geração de energia elétrica com a utilização do biogás proveniente da decomposição anaeróbica de resíduos em aterros sanitários. Após é aplicado o procedimento ao estudo de caso do Aterro Metropolitano Santa Tecla.

O capítulo 5 traz as conclusões da pesquisa e sugestões para outros trabalhos relacionados ao tema estudado.

Após o capítulo 5 são apresentadas as referências e os apêndices.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O uso da energia e o meio ambiente

De acordo com Hinrichs e Kleinbach (2003), o uso dos recursos energéticos é um dos principais fatores a afetar o meio ambiente. O aumento da utilização de combustíveis fósseis, observado desde o início da era industrial, causou aumento em torno de 30% da concentração do dióxido de carbono atmosférico e, provavelmente, o aumento da temperatura global.

Segundo Lora e Teixeira (2001), com o homem e sua atividade industrial apareceu a poluição ambiental. O crescimento industrial e a urbanização dos países em desenvolvimento têm levado a um aumento severo na poluição: água imprópria para beber ou se banhar, altos níveis de concentração de poluentes no ar, aumento da quantidade de resíduos sólidos urbanos e resíduos perigosos dispostos inadequadamente. Define-se poluição como: a degradação do ambiente, ou seja, mudanças nas características físico-químicas ou biológicas do ar, água ou solo, que afetam negativamente a saúde, a sobrevivência ou as atividades humanas e de outros organismos vivos.

Os mesmos autores afirmam que a aplicação da ciência e da tecnologia têm conduzido à melhoria no nível de vida, pelo menos para uma parte da população, que caracteriza-se por:

- acréscimo da qualidade e quantidade da produção de alimentos;
- desenvolvimento dos meios de transporte e comunicação;
- desenvolvimento da construção de moradias;
- mecanização e automação de processos produtivos;
- desenvolvimento de sistemas para água potável e para tratamento de efluentes líquidos;

- eliminação de muitas doenças contagiosas e desenvolvimento de tratamentos efetivos para outras;
- aumento da qualidade de vida das pessoas com o surgimento de equipamentos eletro e eletrônicos domésticos.

Ao mesmo tempo, Lora e Teixeira (2001) apresentam os efeitos nocivos que o desenvolvimento da ciência e tecnologia têm provocado no meio ambiente:

- mudanças climáticas;
- perda de terras cultiváveis (desertificação);
- desmatamento;
- poluição de rios, lagos e mares;
- poluição do solo e das águas subterrâneas;
- poluição do ar nas cidades.

Tem-se como um problema vital conciliar o desenvolvimento e as vantagens de um modo de vida aceitável com a conservação do meio ambiente. O consumo de energia traz como uma inevitável consequência, alguma forma de dano ambiental, seja na sua exploração ou no seu consumo, e uma das soluções para atenuar e manter em limites aceitáveis este problema seria a utilização racional das fontes de energia.

O consumo mundial de energia vem crescendo continuamente. Em parte, isto acontece porque as populações e suas necessidades estão crescendo, e, mais indústrias, serviços e empregos são gerados.

Colombo (1992) afirma que o desenvolvimento do terceiro mundo e a proteção do meio ambiente são os dois maiores problemas globais que devem ser enfrentados pela humanidade nas próximas décadas. Esses dois problemas estão rigorosamente interligados. A energia, motor do crescimento econômico é também a principal causa de degradação do meio ambiente. No início da década de 1980, constatou-se uma das questões ambientais mais preocupante, a diminuição da camada protetora de ozônio.

2.2 Camada de Ozônio

A camada de ozônio exerce papel fundamental na preservação da vida na terra, funcionando como filtro das radiações solares, que em altas quantidades causam sérios danos à saúde humana (câncer de pele, catarata, debilidade do sistema imunológico, entre outros) e ao equilíbrio dos ecossistemas naturais.

De acordo com Ferrer (2005), o ozônio se forma naturalmente nos níveis superiores da atmosfera terrestre através da radiação ultravioleta do sol. A radiação quebra as moléculas de oxigênio, liberando átomos livres, alguns dos quais se ligam com outras moléculas de oxigênio para formar o ozônio. Cerca de 90% do ozônio é formado desta maneira na estratosfera. O ozônio é uma molécula instável sendo que suas concentrações na estratosfera dependem de um equilíbrio dinâmico entre a rapidez de sua formação e de sua destruição. O ozônio também está presente nas camadas mais baixas da atmosfera, no caso a troposfera, mas em concentrações menores. Porém, elevadas concentrações de ozônio na superfície terrestre são resultado da poluição, que reage com a luz do sol e forma o ozônio causador de problemas de saúde nos seres vivos. Este ozônio é um poluente que não pode reabastecer a camada de ozônio estratosférico e seu efeito de absorção da radiação ultravioleta é muito limitado.

Segundo Kirchhoff (2000), a destruição da camada de ozônio é um dos mais severos problemas ambientais desta era e, durante algum tempo, vem sendo muito citada na imprensa. Sua destruição, ainda que parcial, diminui a resistência natural que oferece à passagem dos raios solares nocivos. O problema surgiu nos anos 30, quando algumas substâncias foram produzidas artificialmente em laboratório, principalmente, para as aplicações em refrigeração. Descobriu-se mais tarde que estas atacam a camada de ozônio, com a tendência de reduzi-la globalmente, aumentando a penetração de raios ultravioleta indesejáveis. Nos anos 80, iniciou-se uma verdadeira guerra para preservação da camada de ozônio e uma de suas maiores vitórias foi a assinatura do Protocolo de Montreal. Por esse tratado, assinado em 1987, todas as substâncias conhecidas por clorofluorcarbonetos – (CFC), responsáveis pela destruição do ozônio, não seriam mais produzidas em massa. A destruição da camada de ozônio contribui para o aumento da penetração de raios ultravioletas e como consequência o aquecimento global do planeta.

2.2.1 Aquecimento global

De acordo com Lora e Teixeira (2001), o problema de maior importância causado pelo uso da energia é o efeito estufa, que pode ser definido como o acréscimo constante da temperatura média da terra em consequência do aumento da concentração atmosférica de alguns gases, tais como o gás carbônico (CO_2), os clorofluorcarbonos (CFCs), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), etc. Estes gases são conhecidos como gases estufa e capturam parte da radiação infravermelha que a terra devolve para o espaço, provocando o aumento da temperatura atmosférica com as decorrentes mudanças climáticas.

Além do CO_2 , outro gás estufa cujo teor aumenta constantemente na atmosfera é o metano. Este gás tem fontes biogênicas, tais como pântanos, os resíduos animais, as plantações de arroz, os aterros sanitários e outros. Das emissões totais, 66% tem um caráter antropogênico, ou seja, aquelas provocadas pela ação do homem.

Para Furriela (2006) os gases efeito estufa surgiram no planeta há milhões de anos, e graças a eles foi possível surgir a vida na Terra, pois absorvem o calor dos raios solares e mantêm a superfície adequada à manutenção da vida de diferentes seres. No entanto, desde o século 19, com o advento da Revolução Industrial, o aumento progressivo do consumo de combustíveis fósseis, bem como o desmatamento e alterações nos padrões de uso do solo acirraram o efeito estufa, ocasionando o aumento da temperatura média do planeta.

Ainda para Furriela (2006) o aumento da temperatura está causando o derretimento de geleiras do Ártico, Antártico e das cumeeiras de grandes cadeias montanhosas. O fenômeno é responsável também por verões com temperaturas cada vez mais elevadas na Europa, fenômenos climáticos extremos no Caribe e Golfo do México, bem como pelo incremento das epidemias tropicais, e mais recentemente, uma surpresa no sul do Brasil: o furacão Catarina. Outros impactos relevantes esperados são o aumento do nível do mar e o gradual desaparecimento de países insulares, o incremento de problemas de desertificação e falta d'água, aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, alteração na vocação das regiões agrícolas e migração de doenças tropicais.

Em função desses graves eventos e para a mitigação da ação antrópica sobre a mudança do clima, instituiu-se, no final de 1997, o Protocolo de Quioto.

2.2.2 Protocolo de Quioto

Em dezembro de 1997, 167 nações se reuniram no Japão, sob a coordenação das Nações Unidas, para construir o que ficaria conhecido como o “Protocolo de Quioto”. Este documento foi a primeira tentativa internacional de legalmente estabelecer limites para as emissões de gases estufa pelos países desenvolvidos. O Protocolo assinado estabelece como meta, no período de 2008 a 2012, a redução de 5% da emissão combinada de gases estufa pelos países desenvolvidos, constantes no Anexo I do Protocolo (Alemanha, Austrália, Áustria, Belarus, Bélgica, Bulgária, Canadá, Comunidade Européia, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Federação Russa, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letônia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido, Irlanda do Norte, República Tcheca, Romênia, Suécia, Suíça, Turquia e Ucrânia), em relação ao nível das emissões ocorridas em 1990.

De acordo com Furriela (2006) as medidas propostas pelo Protocolo de Quioto, se efetivamente cumpridas, revolucionarão a matriz energética e a economia do planeta, tratando-se de uma nova revolução industrial. Um grande passo neste sentido foi o artigo 12 do Protocolo de Quioto, onde definiu-se Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que permite que as nações pertencentes ao anexo I comprem os certificados de redução de emissões das nações em desenvolvimento, ou que invistam em projetos nestes países.

2.2.2.1 Mecanismo de desenvolvimento limpo

Segundo Lopes (2002), o propósito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é prestar assistência às partes não incluídas no Anexo I do Protocolo de Quioto, para que viabilizem o desenvolvimento sustentável, através da implementação da respectiva atividade de projeto e contribuam para o objetivo final da Convenção e, por outro lado, prestar assistência às Partes do Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissão de gases de efeito estufa.

Para esse autor, o objetivo final da mitigação de gases de efeito estufa é atingido através da implementação de atividade de projeto nos países em desenvolvimento que

resultem na redução da emissão de gases de efeito estufa ou no aumento da remoção de CO₂, mediante investimentos em tecnologias mais eficientes, substituição de fontes de energia fósseis por renováveis, racionalização do uso da energia, florestamento e reflorestamento, entre outras. Para efeitos do mecanismo de desenvolvimento limpo, entende-se por atividades de projeto aquelas integrantes de um empreendimento que tenham por objeto a redução de emissões de gases de efeito estufa e/ou a remoção de CO₂. As atividades de projeto devem estar exclusivamente relacionadas a determinados tipos de gases de efeito estufa e aos setores/fontes de atividades responsáveis pela maior parte das emissões, previstas no Anexo A do Protocolo de Quioto.

Lopes (2002) ainda afirma que para que seja considerado elegível no âmbito do desenvolvimento de mecanismo limpo, o projeto deve colaborar para o objetivo principal da Convenção, observando alguns critérios fundamentais, entre eles o da adicionalidade, pelo qual uma atividade de projeto deve, comprovadamente, resultar na redução de emissões de gases de efeito estufa e/ou remoção de CO₂, adicional ao que ocorreria na ausência da atividade de projeto de desenvolvimento limpo. Outro critério é a linha base que representa um cenário, de forma razoável, onde as emissões antrópicas de gases de efeito estufa por fontes que ocorreriam na ausência do projeto proposto.

Além disto, a atividade de projeto deve contribuir para o desenvolvimento sustentável do país no qual venha a ser implementada. Deve, ainda, ser capaz de demonstrar benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima.

As quantidades relativas às reduções de emissão de gases de efeito estufa e/ou remoções de CO₂ atribuídas a uma atividade de projeto resultam em Certificados de Reduções de Emissões (CRE's), medidas em tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente, conhecidos como créditos de carbono.

2.2.2.2 Créditos de carbono

Lopes (2002) apresenta o modelo para cálculo de emissões em dióxido de carbono equivalente, onde os outros gases de efeito estufa são transformados em toneladas equivalentes de CO₂. Este modelo considera o gás de efeito estufa, diminuindo a emissão de linha de base, resultando nas emissões do projeto do MDL, multiplicando pela equivalência do dióxido de carbono.

O metano, quando é queimado completamente tem como subprodutos a água e o dióxido de carbono, que é 21 vezes menos prejudicial para o efeito estufa do que o metano. A redução dos gases efeito estufa, em um projeto aprovado pelo MDL, recebe os certificados de reduções de emissões (créditos de carbono) que são comercializados entre US\$ 5 e US\$ 20 por tonelada de CO₂ equivalente.

A geração de energia elétrica através do uso do biogás de aterros sanitários habilita o projeto, de acordo com os requisitos do MDL, a incrementar a receita com a venda dos créditos de carbono.

2.3 A energia elétrica no Brasil

Conforme Furtado (2005), para sustentar um crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) na faixa de 3,5% anuais, será preciso aumentar pelo menos 4,5% ao ano a produção brasileira de energia elétrica a fim de evitar a repetição do racionamento de 2001. Apesar dos reservatórios que abastecem as usinas hidrelétricas estarem cheios, isso não basta para assegurar que haverá energia elétrica suficiente para atender a expansão da economia, embora ajudem a diminuir substancialmente as ameaças de racionamento. Segundo a autora, calcula-se que será necessário investir cerca de 20 bilhões de reais por ano para assegurar a oferta de eletricidade ao país, e a maior parte dos recursos deverá vir da iniciativa privada.

O Balanço Energético Nacional de 2004 do Ministério de Minas e Energia (MME, 2004), apresenta a evolução do consumo de energia elétrica no Brasil com a distribuição setorial do consumo. No ano de 2001, observa-se uma queda abrupta no consumo devido ao racionamento pela escassez de água nos reservatórios das usinas hidroelétricas. O Brasil, que na década de 70 possuía um consumo na ordem de 50 TWh, aumentou-o em sete vezes nas últimas três décadas, com um valor atual em torno de 350 TWh. Este aumento significativo deve-se a universalização dos serviços de energia elétrica, ao desenvolvimento industrial e o crescimento comercial do país, conforme a Figura 1 a seguir.

CONSUMO DE ELETRICIDADE - TWh

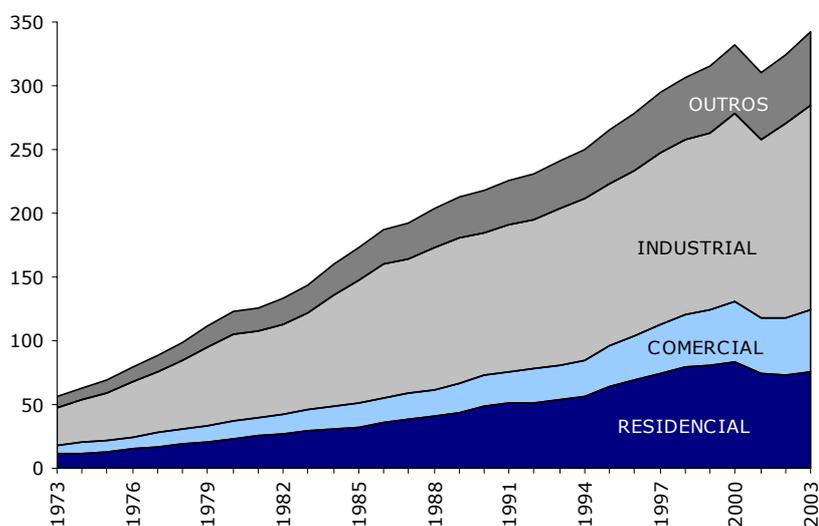


Figura 1 - Curva de evolução do consumo de eletricidade no Brasil

Fonte: Balanço Energético Nacional (MME, 2004).

Segundo Vichi e Mello (2003), o Brasil possui um potencial de geração de eletricidade semelhante à posição de países como a Arábia Saudita e o Iraque com relação ao petróleo, com uma vantagem: mais de 90% da capacidade brasileira de geração é baseada em dois elementos gratuitos: a água e a força da gravidade. O país possui grandes bacias hidrográficas e muitos rios permanentes espalhados pelo território nacional, cuja pequena declividade favorece a formação de grandes lagos, que representam a energia potencial armazenadas. Porém, existe uma dependência do regime das chuvas, já que os reservatórios funcionam como um estoque.

Para Moreira, David e Rocha (2003) a geração de energia elétrica no Brasil é predominantemente hidrelétrica, com capacidade de geração hídrica correspondente a quase 90% da capacidade total e a produção de energia por geração hídrica a quase 95% da produção total, sendo este sistema estruturado em diversas bacias hidrológicas energeticamente interligadas através de uma extensa rede de transmissão, que cobre quase todo o país. A afluência hídrica segue um padrão temporal, marcadamente sazonal e de grande variabilidade, sobretudo nos meses úmidos. Essas características implicam a necessidade de construção de reservatórios de grande capacidade de acumulação, no presente capaz de abastecer toda a demanda brasileira durante cerca de quatro meses e meio.

Ainda para esses autores, um dos pressupostos mais importantes dos mercados de energia elétrica, especialmente após a reestruturação do setor elétrico brasileiro, é o da expansão auto-sustentada da capacidade de produção, ou seja, a renda dos agentes de produção obtida com a venda de energia deverá viabilizar não só a operação, mas também a expansão do sistema, que possui uma taxa de crescimento histórica de 4% a 6% a.a.. Como o sistema brasileiro de geração é predominantemente hídrico, o preço da energia, a produção hidrelétrica e termelétrica e, conseqüentemente, a renda das usinas são afetadas pela incerteza hidrológica.

Conforme Moreira, David e Rocha (2003) em um sistema tão fortemente hidrelétrico como o brasileiro, a geração térmica e as fontes alternativas de energia têm um papel importante para a complementação energética durante os períodos de baixa afluência.

2.3.1 Fontes alternativas de energia

De acordo com Silva e Cavaliero (s.d.), o interesse pela geração de energia a partir de fontes renováveis, principalmente as alternativas (energia solar, dos ventos, biomassa) vem experimentando uma nova fase de crescimento no Brasil. Até bem pouco tempo, o apelo ambiental era o único argumento utilizado para incentivar tais fontes, não sendo, no entanto, suficiente para atingir seu objetivo. Com a crise da energia elétrica e o plano de racionamento de 2001, chamou-se a atenção para um outro fator importante: a necessidade de diversificar as fontes de energia. Como resultado, vêm sendo criados mecanismos legais para regulamentar o uso destas fontes, tal como a lei que cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, conhecido como PROINFA. Este programa tem como objetivos: incentivar a geração de energia elétrica a partir da energia eólica, da biomassa (entre elas o biogás dos resíduos sólidos) e de pequenas centrais hidroelétricas, diversificar a matriz energética do país e da maior confiabilidade e segurança ao abastecimento.

Segundo Miguel (2005) o consumo crescente e o impacto ambiental causados pelas fontes de energia tradicionais levam o governo e a sociedade a pensar em novas alternativas para geração de energia elétrica. Segundo o Balanço Energético Nacional (MME, 2004), mais de 40 % da matriz energética do Brasil é renovável, enquanto a média mundial não chega a 14 %. No entanto, 90 % da energia elétrica do país é gerada em grandes usinas hidrelétricas, o que provoca grande impacto ambiental, tais como o alagamento dessas áreas e

a conseqüente perda da biodiversidade local. Os problemas sociais não são menores com a remoção de famílias das áreas atingidas.

Para o mesmo autor, diante deste cenário, as fontes alternativas de energia como eólica, solar e biomassa, além de causarem impactos ambientais menores, ainda evitam a emissão de toneladas de gás carbônico na atmosfera.

Dentre as fontes alternativas citadas, enquadra-se a utilização do biogás proveniente da decomposição dos resíduos sólidos urbanos como uma fonte alternativa da biomassa.

2.4 Resíduos sólidos

De acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004), resíduos sólidos são resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos, nesta definição, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações, de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exigem para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Para a NBR 10.004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos podem ser classificados quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente:

- Classe I (Perigosos): apresentam periculosidade em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, risco à saúde pública ou ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, ou constar nos anexos A ou B da respectiva NBR;
- Classe II (Não perigosos): são classificados como resíduos não perigosos: resíduos de restaurantes (restos de alimentos), sucata de metais ferrosos, sucata de metais não ferrosos, resíduos de papel, papelão, plásticos polimerizados, borrachas, madeira, materiais têxteis, minerais não-metálicos, areia de fundição e bagaço de cana;
- Classe II A (Não inertes): aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos de classe II B – Inertes. Os resíduos classe II A –

Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;

- Classe II B (Inertes): quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, de acordo com a NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10006, não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da NBR 10004;

Além desta classificação, os resíduos sólidos são classificados de diversas maneiras, dependendo do local onde são gerados (urbano ou rural), dependendo da natureza da composição química (orgânicos ou inorgânicos) e dependendo da atividade humana que gera os resíduos (residencial, comercial, industrial, serviços de saúde, restos de obra e construções, resíduos públicos ou especiais).

2.4.1 Geração de resíduos sólidos no Brasil

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada pelo IBGE (IBGE, 2001), mostra que 228.413 t/dia de resíduos sólidos foram coletados no Brasil, em 2000, sendo 36% dispostos em aterros sanitários. No Brasil, a quantidade de resíduos sólidos gerados por habitante/dia varia de local para local e até mesmo com a época do ano, mas assume-se que são gerados em média 0,7 kg/habitante/dia.

2.4.1.1 Composição dos resíduos sólidos urbanos e destinação final em aterros sanitários

Para Ensinas (2003), a composição do lixo urbano acompanha diretamente as modificações econômicas e as transformações tecnológicas que vêm influenciando o modo de vida dos centros urbanos em um ritmo cada vez mais acelerado, gerando, conseqüentemente, mais resíduos. Nos países desenvolvidos, nota-se uma predominância de materiais como papeis, metais, plásticos e vidros, característicos de produtos industrializados e suas respectivas embalagens, além de uma quantidade maior de geração de resíduos.

Na opinião de D'Almeida e Vilhena (2000), no Brasil nota-se que mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos ainda são compostos por matéria orgânica, porém para Meldonian (1998) estes números vêm baixando, o que demonstra uma alteração de hábito do brasileiro, refletindo as mudanças econômicas que estão em curso.

De acordo com a NBR 8419 (ABNT, 1984), aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza 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.

Para Philippi Jr. et al (2004), o aterro sanitário ainda é o processo mais aplicado no mundo, por causa de seu baixo custo. Ele é bastante seguro e simples, além do fato de que os processos de tratamento de resíduos também geram resíduos, os quais devem ser destinados a aterros. Segue algumas vantagens e desvantagens dos aterros sanitários:

Vantagens

- baixo custo comparado com outros tratamentos;
- utilização de equipamento de baixo custo e de simples operação;
- é possível a implantação em terrenos de baixo valor;
- evitam a proliferação de insetos e animais que transmitem doenças;
- não estão sujeitos a interrupção no funcionamento por alguma falha;

Desvantagens

- perda de matérias-primas e da energia contidas nos resíduos;
- transporte de resíduos a longas distâncias;
- desvalorização da região ao redor do aterro;
- risco de contaminação do lençol freático;
- produção de lixiviado e percolados;
- necessidade de manutenção e vigilância após o fechamento do aterro.

Como um dos subprodutos desta forma de destinação final dos resíduos sólidos urbanos obtêm-se o biogás.

2.5 Biogás

De acordo com Zulauf (2004), o biogás é uma mistura gasosa, combustível, resultante da decomposição de matéria orgânica, em meio anaeróbico, por bactérias denominadas metanogênicas. É composto essencialmente por metano e gás carbônico e sua produção é naturalmente encontrada em pântanos, dejetos bovinos, eqüinos e suínos, estações de tratamento de efluentes domésticos e industriais e em aterros sanitários.

Conforme delimitações deste trabalho apresenta-se a formação do biogás em aterro sanitário.

2.5.1 Formação do biogás em aterro sanitário

A conversão biológica dos resíduos sólidos com fins energéticos vem ganhando importância a cada dia, uma vez que os resíduos urbanos passaram a ser considerados uma fonte inesgotável de energia alternativa.

Segundo Lima (1995), os métodos biológicos para a produção de combustíveis a partir do lixo baseiam-se no rendimento da atividade microbiana, principalmente de bactérias anaeróbicas que, através do seu metabolismo, transformam a matéria orgânica em produtos combustíveis, como o gás metano e o hidrogênio.

De acordo com Lima (1995), apesar das incertezas, muitos projetos visando a exploração do gás metano em aterros sanitários vêm sendo estabelecidos nas últimas décadas em todo mundo. Esta mobilização iniciou-se em 1973, com a crise do petróleo, que desencadeou grupos de pesquisa na América do Norte, Suíça, Alemanha e Grécia. Somente nos Estados Unidos, mais de sessenta unidades foram instaladas, mobilizando fundos do governo americano e de empresas privadas ligadas ao uso do gás ou à exploração de recursos energéticos alternativos, tais como: Aterro de Monterey Park (112.000 m³/ dia de gás metano), Aterro de San Fernando (100.000 m³/ dia), Aterro de Liosia – Atenas – Grécia (192.000 m³/ dia).

Segundo Tabasaran¹ *apud* Lima (1995), a produção de gás metano em aterros segue o modelo gráfico que envolve as fases de decomposição anaeróbica do lixo, a composição do gás e o tempo de produção, conforme a Figura 2, a seguir:

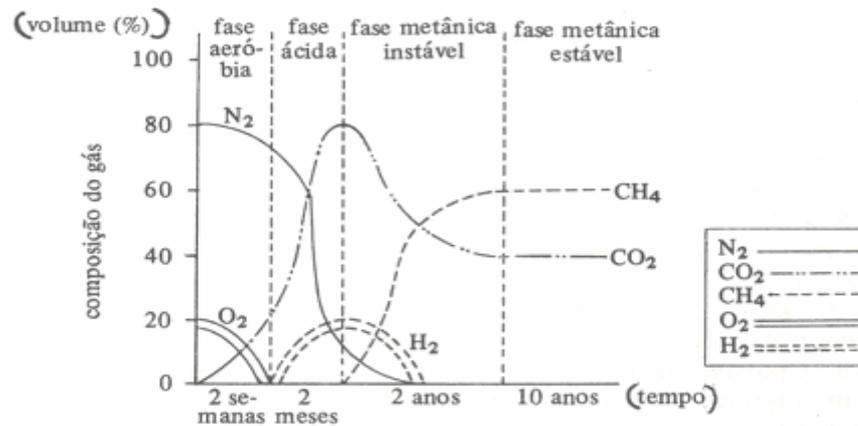


Figura 2 - Produção de gás pela decomposição anaeróbica do lixo.

Fonte: Tabasaran *apud* Lima (1995, p.199).

Serpa e Lima (1984), estudando o processo de metanização de resíduos orgânicos (lixo urbano), definiram as principais condições de contorno do processo de digestão, iniciando pela fase aeróbica até a metanogênica estável, conforme o Quadro 1 abaixo:

Fases	Características
Aeróbica	Temperatura (gradiente) 30 a 70°C pH (neutro/alcalino) acima de 7,0 Potencial redox +800 a 100 mV
Acetogênica	Temperatura (gradiente) 29 a 45°C pH na faixa de 5,2 a 6,5 Potencial redox inferior -100 mV
Metânica Instável	Temperatura (gradiente) 22 a 37°C pH na faixa de 6,8 a 7,2 Potencial redox em torno de -300 mV
Metânica Estável	Temperatura inferior a 30°C (próxima do ambiente) pH na faixa de 7,0 a 7,2 Potencial redox variando de -330 mV a -600 mV.

Quadro 1 – Processo de metanização dos resíduos orgânicos.

Fonte: Adaptado de Serpa e Lima (1984)

¹ TABASARAN, O. “Überlegungen zum Problem Deponiegas, Mull und Abfall”, General Electric Series Solid Waste Management Technology Assessment. Van Nostrand Reinhold Co., 1975.

Para Tchobanoglous Theisen e Vinil (1993), a formação dos gases do aterro sanitário é variável ao longo do tempo e segue varias fases distintas conforme a Figura 3.

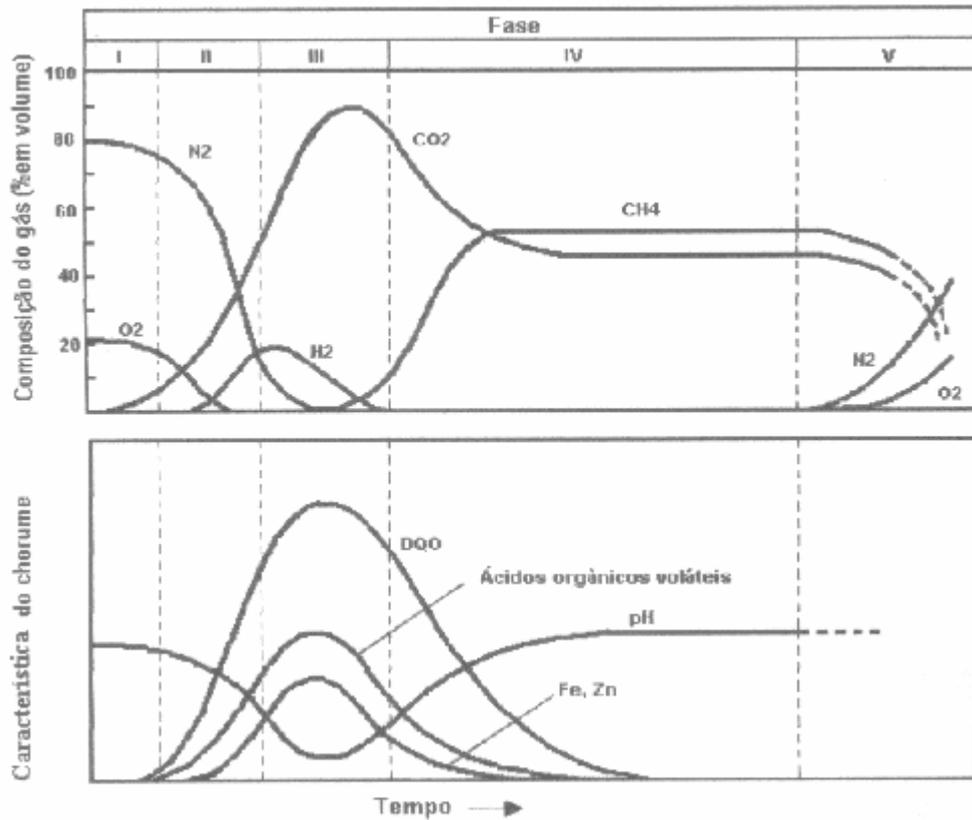


Figura 3 - Fases de formação do biogás.

Fonte: Adaptado de Tchobanoglous, Theisen e Vinil (1993).

As fases apresentadas na Figura 3 são descritas a seguir:

- Fase I - Ajuste inicial: a decomposição biológica da matéria orgânica ocorre principalmente em condições aeróbicas, devido à presença de ar no interior do aterro. A principal fonte de microorganismos para a decomposição aeróbica e anaeróbica nessa fase é a terra que é usada como material de cobertura para divisão das células do aterro e como camada final.
- Fase II - Transição: a quantidade de oxigênio decai e as reações anaeróbicas se desenvolvem. Nitratos e sulfatos que podem servir como receptores de elétrons nas reações biológicas de conversão. As reações de redução podem ser

monitoradas medindo-se o potencial de óxido-redução do lixo, ocorrendo aproximadamente entre -50 a -100 milivolts para nitratos e sulfatos. A produção do metano ocorre com valores entre -150 a -300 milivolts. Com a continuidade da queda do potencial de óxido-redução os microorganismos responsáveis pela conversão da matéria orgânica em metano e dióxido de carbono iniciam a conversão do material orgânico complexo em ácidos orgânicos e outros produtos intermediários. Nesta fase o pH do chorume começa a cair devido à presença de ácidos orgânicos e pelo efeito das elevadas concentrações de CO_2 dentro do aterro.

- Fase III - Ácida: as reações iniciadas na fase de transição são aceleradas com a produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e quantidades menores de gás hidrogênio. A primeira das três etapas do processo envolve transformação enzimática (hidrólise) dos compostos de maior massa molecular (lipídeos, polissacarídeos, proteínas e ácidos nucleicos) em compostos apropriados para o uso como fonte de energia para os microorganismos. A segunda etapa do processo (acidogênese) envolve a conversão microbiológica dos compostos resultantes da primeira em compostos intermediários com massa molecular menor, como o ácido acético (CH_3COOH) e pequenas concentrações de outros ácidos mais complexos. O dióxido de carbono é o principal gás gerado durante esta fase e os microorganismos envolvidos nesta conversão, descritos como não-metanogênicos, são constituídos por bactérias anaeróbicas estritas e facultativas. As demandas bioquímicas (DBO) e química de oxigênio (DQO) e a condutividade do chorume aumentam significativamente durante esta fase devido à dissolução de ácidos orgânicos no chorume. Também devido ao baixo pH, constituintes inorgânicos como os metais pesados serão solubilizados.
- Fase IV - Metanogênica: nesta fase predominam microorganismos estritamente anaeróbicos, denominados metanogênicos, que convertem ácido acético e gás hidrogênio em CH_4 e CO_2 . A formação do metano e dos ácidos prossegue simultaneamente, embora a taxa de formação dos ácidos seja reduzida consideravelmente. O pH do chorume nesta fase tende a ser mais básico, na faixa de 6,8 a 8,0.

- Fase V - Maturação: esta fase ocorre após grande quantidade do material orgânico ter sido biodegradado e convertido em CH₄ e CO₂ durante a fase metanogênica. Como a umidade continua a migrar pela massa de lixo, porções de material biodegradável ainda não convertidos acabam reagindo. A taxa de geração do gás diminui consideravelmente, pois a maioria dos nutrientes disponíveis foi consumida nas fases anteriores e os substratos que restam no aterro são de degradação lenta. Dependendo das medidas no fechamento do aterro, pequenas quantidades de nitrogênio e oxigênio podem ser encontradas no gás do aterro.

De acordo com a *United States Environmental Protection Agency* – (USEPA, 1991), diversos fatores influenciam a taxa de geração do gás de aterro sanitário:

- composição dos resíduos: quanto maior o percentual de materiais biodegradáveis, maior a taxa de geração de gases. Os resíduos destinados no aterro podem ter uma composição variada ao longo do ano, dependendo do clima e dos hábitos de consumo da população.
- umidade dos resíduos: uma umidade alta (60 a 90%) pode aumentar a geração do biogás. O aterro com baixa permeabilidade, para controle da formação dos lixiviados, mantém a umidade dos resíduos baixa e prejudica a formação do biogás.
- idade dos resíduos: a geração do biogás segue as fases de decomposição dos resíduos descrita anteriormente. A duração de cada fase e o tempo de produção de metano depende das condições de cada aterro.
- temperatura do aterro: a temperatura ideal para a digestão anaeróbica está entre 29 e 38°C para as bactérias mesofílicas e entre 49 e 70°C para as termofílicas. Abaixo de 10°C tem-se uma queda brusca na geração do metano.
- pH do aterro: o pH ótimo para produção de metano está entre 7,0 e 7,2.

2.5.2 Composição do biogás

A qualidade do biogás depende do sistema microbiológico, do substrato (resíduo) sendo decomposto, e de variáveis específicas do aterro como acesso ao oxigênio para o aterro e o teor de umidade (HAM e MORTON, 1989).

Para o *Intergovernmental Panel on Climate Change* – (IPCC, s.d), o biogás proveniente de aterros sanitários tem uma concentração de 50 a 60% de metano, sendo adotado como valor referencial 50%. Análises experimentais em drenos de biogás indicam freqüentemente a composição de 55% de metano e 45% de dióxido de carbono.

Conforme USEPA (2004), a emissão do metano é proveniente da ação antropogênica (prospecção de combustível, criação animal, cultivo do arroz, queima da biomassa e decomposição dos resíduos sólidos) e de fontes naturais. A ação antropogênica corresponde a 60% da emissão global de metano. Com poder calorífico em torno de 4.500 kcal/m³, esse gás possui viabilidade para a utilização como fonte de energia.

2.5.3 Geração de energia elétrica utilizando o biogás

De acordo com dados do Balanço Energético Nacional, do Ministério de Minas e Energia (MME, 2003), a participação da biomassa na matriz energética brasileira é de 27 %, sendo 11,9 % utilização de lenha de carvão vegetal, 12,6 % bagaço de cana-de-açúcar e 2,5 % outros.

Segundo Zulauf (2004), o potencial de energia elétrica a partir do biogás do Brasil era superior a 350 MW, em 2005. Teoricamente, este potencial deve crescer ano a ano na proporção do crescimento populacional e do crescimento econômico.

Nos Estados Unidos e países da Europa, o potencial instalado de geração de energia com biogás e aterros é estimado em cerca de 1.200 MW e 500 MW, respectivamente, segundo a agência ambiental Norte Americana - USEPA (*EPA apud ZULAUF*, 2004 p.39).

Para Zulauf (2004), a captação do biogás e a geração de energia geram empregos diretos e indiretos na fase da obra e na fase operacional, não só no sistema de geração, mas no sistema de captação de biogás e na operação de disposição de lixo do aterro. Com um

horizonte de cerca de 100 projetos no Brasil, estima-se uma geração de 2000 empregos diretos com renda de cerca de 2 milhões de reais.

O mesmo autor afirma que em termos ambientais, existem muitos benefícios, tais como: redução de odores, redução de gases de efeito estufa (metano a ser queimado), redução de geração e infiltração de lixiviado (aumento da cobertura superficial) e redução de queimadas no lixo, entre outros.

Apesar da geração de energia elétrica pelo biogás agregar vários benefícios é indispensável a avaliação da viabilidade econômica do investimento.

2.6 Viabilidade econômica

Segundo Moura (2000), a avaliação de investimentos necessitará considerar o valor do dinheiro no tempo. Além disso, existem alguns índices utilizados em engenharia econômica que nos permitirão concluir sobre qual será a melhor escolha.

De acordo com Helfert (2000), investimento é a força motriz básica da atividade empresarial. É a fonte de crescimento que sustenta as estratégias competitivas explícitas da administração.

Para análise do investimento do estudo de caso em questão, serão adotados os seguintes métodos de análise:

a) Valor Presente Líquido

De acordo com Ross et al. (1995), o Valor Presente Líquido (VPL) de um investimento é um critério para que se decida se um projeto deve ser executado ou não. Se o VPL for positivo, o investimento é viável, pois executá-lo é equivalente a receber um pagamento igual ao VPL. Se for negativo, o investimento poderia ser rejeitado.

Lapponi (1996) ressalta que VPL positivo indica que o capital investido será recuperado; remunerado na taxa de juros que mede o custo de capital do projeto; gerará um ganho extra, na data zero, igual ao VPL.

Para Bruni e Famá² *apud* Fonseca (2003), as principais vantagens do VPL são:

- identifica se há aumento ou não do valor da empresa;
- analisa todos os fluxos de caixa;

² BRUNI, A. L.; FAMÁ, R. A Matemática das Finanças. São Paulo: Ed. Atlas S.A., 2003.

- permite a adição de todos os fluxos de caixa na data zero;
- considera o custo de capital;
- embute o risco no custo de capital.

A principal dificuldade deste método seria a definição da taxa de atratividade do mercado, principalmente quando o fluxo é muito longo.

b) Taxa Interna de Retorno

De acordo com Motta e Calôba (2002), a Taxa Interna de Retorno (TIR) é um índice relativo que mede a rentabilidade do investimento por unidade de tempo, necessitando para isso, que haja receitas envolvidas, assim com investimentos.

Para Gitman (2002), a TIR é possivelmente a técnica mais utilizada para avaliação de alternativas de investimentos. A TIR é definida como a taxa de desconto que faz com que o VPL de uma oportunidade de investimento iguale-se a zero (já que o valor presente das entradas de caixa é igual ao investimento inicial).

Gitman (2002) afirma ainda que o critério de decisão, quando a TIR é usada para tomar decisões do tipo aceitar ou rejeitar um projeto é o seguinte: se a TIR for maior que o custo de capital, aceita-se o projeto; se for menor, rejeita-se o projeto. Esse critério garante que a empresa esteja obtendo, pelo menos, sua taxa requerida de retorno.

Porém para Moreira, David e Rocha (2003) as metodologias do VPL e TIR escolhem projetos cujo valor é positivo e maior que a taxa mínima de atratividade, respectivamente. Entretanto, observam-se diversos casos de projetos com VPL positivo, que, por decisões gerenciais, não são implementados, e, por outro lado, casos de projetos implementados com VPL negativo. Razões estratégicas, valores intangíveis e incertezas devem, portanto, ser consideradas na quantificação econômica de um projeto.

Diante do exposto, apresenta-se os benefícios ambientais da exploração do biogás.

2.7 Benefícios ambientais

Para o Banco Mundial (2004) a emissão descontrolada do biogás de aterros sanitários converte-se em problemas com as autoridades reguladoras e com os donos de propriedades vizinhas porque têm na sua composição, em concentração menor do que 1%, o sulfato de hidrogênio (H_2S) e os mercaptanos, responsáveis a emissão do mau cheiro dos aterros. Além disso, o metano é um perigo potencial por ser combustível e explosivo em concentrações entre

5% a 15% no ar. O biogás pode migrar abaixo da superfície nas zonas não saturadas, especialmente durante os meses de inverno, quando o solo está saturado com a umidade da superfície, podendo se acumular em estruturas fechadas causando um perigo potencial. O metano não tem odor e é, portanto, impossível de ser detectado sem instrumentação apropriada.

Cabe salientar, que a cobertura do lixo desestimula vetores de doenças como ratos, baratas e moscas, reduzindo a contaminação das pessoas e o custo de internação e tratamento dos doentes. Além disso, o gás metano possui um potencial de aumento do efeito estufa 21 vezes maior que o dióxido de carbono considerando um período de referência de 100 anos, sendo o metano gerado dos resíduos sólidos e dos esgotos responsável por 20% das emissões antrópicas (IPCC, 1996).

A conversão do gás metano em dióxido de carbono em sua combustão em motores ou outro conversor de energia, ocasiona uma redução no potencial de aquecimento global do aterro. Isso possibilita que o uso energético ou mesmo uma queima controlada do biogás no aterro sanitário seja um projeto que pode se enquadrar a um financiamento externo do chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), previsto no Protocolo de Quioto (ENSINAS, 2003).

O Banco Mundial (2004) salienta numerosos benefícios associados ao manejo adequado do biogás e seu uso potencial como fonte de energia. Os projetos de gestão do biogás tem o potencial de gerar receita por meio da venda e transferência de créditos de carbono, o que proporciona um incentivo e meios para melhorar o desenho e a operação do aterro e para desenvolver um sistema global de manejo do lixo.

Para o mesmo autor, o biogás contém aproximadamente 50% de metano e considera-se combustível de valor médio a baixo, que pode ser utilizado em numerosas aplicações, como o uso de combustível direto em aquecimentos, geração de energia elétrica e subprodutos químicos comerciais. Além da mitigação das mercaptanas e da preocupação com o mau cheiro, a utilização do biogás pode gerar receita com a venda da energia verde e de outros produtos que podem diminuir os custos de operação e manutenção do aterro.

2.8 Considerações finais do capítulo

As pesquisas apresentadas neste capítulo demonstram a preocupação com a busca da sustentabilidade entre o uso da energia, a sociedade e o meio ambiente. São relatados alguns problemas ambientais como a redução da camada de ozônio e o aquecimento global e a busca da mitigação destes danos através da instituição do Protocolo de Quioto, juntamente com o mecanismo de desenvolvimento limpo e a comercialização dos créditos de carbono.

Sob ponto de vista energético, apresenta-se o sistema elétrico brasileiro, com forte característica de geração hídrica e a importância estratégica das fontes alternativas, entre elas, o biogás da decomposição anaeróbica dos resíduos sólidos em aterros sanitários. São exploradas também, a disposição dos resíduos, a formação e composição do biogás.

O estudo da viabilidade econômica do empreendimento é apresentado como critério para a realização do projeto, apesar de serem relatados alguns valores intangíveis como os benefícios ambientais.

A seguir apresenta-se os métodos e materiais para o desenvolvimento deste trabalho.

3 MÉTODOS E MATERIAIS

3.1 Classificação da pesquisa

Segundo Gil (2002), as pesquisas podem ser classificadas, de acordo com seus objetivos, da seguinte forma: pesquisas exploratória, descritiva ou explicativa.

A presente pesquisa, por ter como objetivo geral criar um procedimento para análise da viabilidade econômica da geração de energia elétrica, utilizando o biogás de aterros sanitários, pode ser classificada como uma pesquisa exploratória, que segundo Gil (2002), tem como meta proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito. Geralmente este tipo de pesquisa assume a forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso.

Para Chizotti³ *apud* Barros e Lehfeld (2004), o estudo de caso é uma modalidade de estudo que se volta à coleta e ao registro de informações sobre um ou vários casos particularizados, elaborando relatórios críticos organizados e avaliados, dando margem a intervenções sobre o objeto escolhido para a investigação.

Sendo assim, esta pesquisa pode ser tratada como um estudo de caso, por investigar um procedimento para estudo da viabilidade econômica de um empreendimento em um local determinado.

³ CHIZOTTI, A. Pesquisa em ciências humanas e sociais. São Paulo: Cortez, 1991.

3.2 *Design da pesquisa*

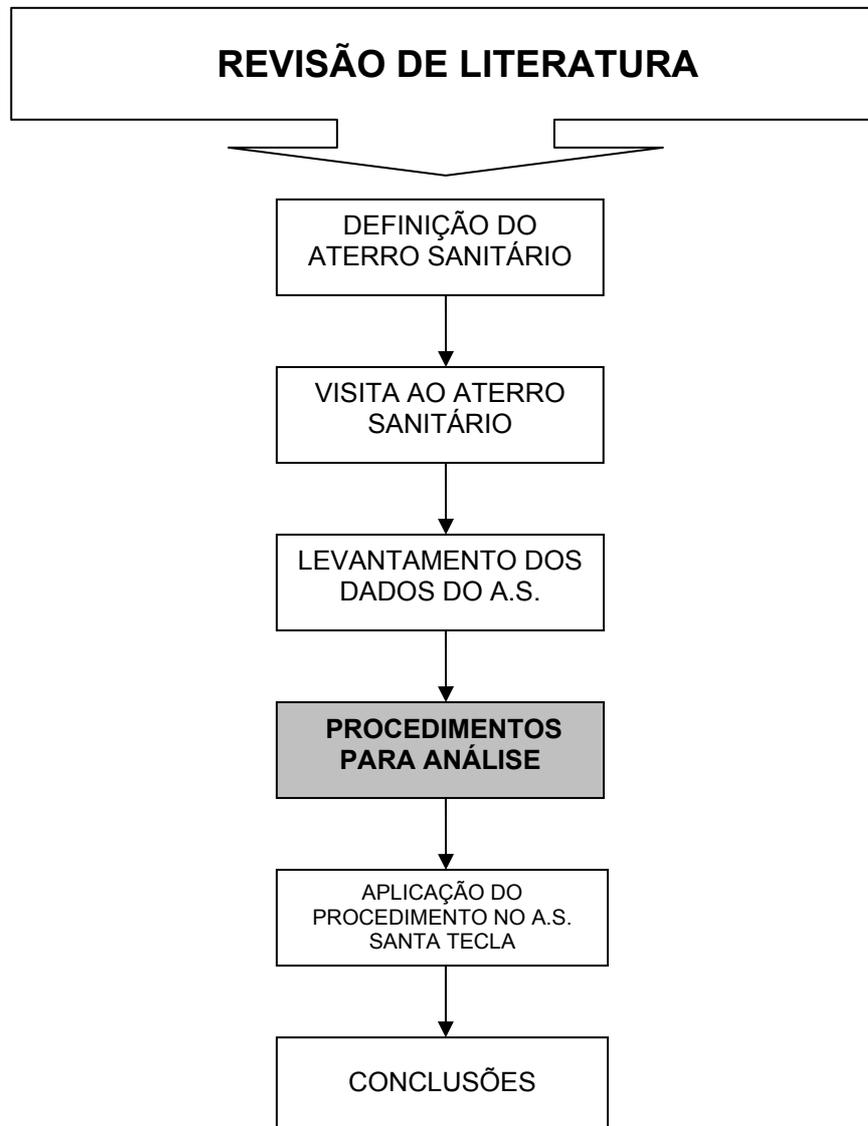


Figura 4 – *Design da pesquisa*

Conforme demonstra a Figura 4, o primeiro passo para a elaboração desta pesquisa foi a revisão de literatura, ela forneceu subsídios para a escolha de um aterro sanitário com potencial de biogás para a geração de energia elétrica. O Aterro Metropolitano Santa Tecla (vide Figura 5), está localizado na Estrada Henrique Closs, km 6, em Gravataí/RS, e tem capacidade de disposição de resíduos sólidos de 2,35 milhões de toneladas, sendo que no mês de maio do ano de 2005 já estavam dispostos 2,043 milhões de toneladas. O ápice da produção de biogás de um aterro sanitário ocorre no seu fechamento, neste caso, programado para meados do ano de 2006. Este fato foi fundamental para a escolha deste local para estudo.



Figura 5 – Visita ao Aterro Metropolitano Santa Tecla

Para levantamento dos dados necessários aos cálculos de geração de biogás neste aterro foi utilizada pesquisa documental. Na ocasião da visita ao local escolhido, foram fornecidos documentos relativos à disposição dos resíduos e a sua composição gravimétrica. Os dados coletados neste momento foram aplicados no procedimento criado para analisar a viabilidade econômica.

O primeiro passo na criação do procedimento foi a determinação do potencial de geração do gás metano. Para isso foi utilizado o método de inventário das emissões de metano da USEPA (1991), com o “Método Decaimento de Primeira Ordem”, que considera o gás metano emitido por longos períodos de tempo tendo em vista vários fatores que influenciam a taxa de geração do mesmo. A determinação da emissão anual de CH_4 , para países, regiões ou casos individuais, pode ser calculada pela Equação 1 a seguir:

$$Q = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (1)$$

Sendo:

Q: geração de metano no ano (m^3/ano);

L_0 : potencial de geração de metano dos resíduos (m^3/t de lixo);

R: média anual de deposição dos resíduos durante a vida útil do aterro (t/ano);

- K: constante de decaimento (ano^{-1});
- c: tempo desde o fechamento do aterro (anos);
- t: tempo desde a abertura do aterro (anos).

Segundo a USEPA (1991), o fator L_0 depende da composição dos resíduos e das condições do aterro para o processo de metanização, estando os valores encontrados em bibliografia técnica entre 6,2 e 270 m^3 de metano por tonelada de resíduos para aterros americanos. A constante de decaimento (k) está relacionada com o tempo necessário para a fração de carbono orgânico degradável (COD) do lixo, decair para metade de sua massa inicial, podendo ser obtida por processo iterativo quando são conhecidas as vazões do gás metano do aterro, o valor “ L_0 ” e a quantidade e o tempo de deposição do lixo no local.

De posse do potencial de biogás do aterro sanitário, o segundo passo na criação do procedimento foi avaliar a capacidade de geração de energia elétrica.

O terceiro passo foi a análise do investimento, que incluiu o estudo dos investimentos necessários à instalação de uma usina geradora de energia, a forma de financiamento, a formação do fluxo de caixa, com receitas e despesas e a análise da viabilidade técnico-econômica do investimento. Para a análise da viabilidade econômica do investimento, foi calculada a Taxa Interna de Retorno (TIR). Essa técnica é utilizada para a avaliação de alternativas de investimento (GITMAN, 2002).

Para Souza e Clemente (1995), a TIR “consiste na taxa (i) que iguala o fluxo de entradas com o fluxo de saídas”. No critério de decisão, a TIR é utilizada quando o valor obtido for maior do que o custo de oportunidade, neste caso, o projeto pode ser aceito.

Segundo Motta e Calôba (2002), sendo a TIR a taxa interna de retorno de dado projeto e a TMA a taxa mínima de atratividade:

Se $TIR > TMA$ – projeto economicamente viável.

Se $TIR < TMA$ – projeto economicamente inviável.

Se $TIR = TMA$ – é indiferente investir os recursos no projeto ou deixá-los rendendo juros à taxa mínima de atratividade.

A análise do investimento foi realizada através do cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR) que representa o valor do custo de capital que torna o VPL nulo através de ferramentas como Microsoft Excel e o *software* Excenomic.

Também foi verificada a possibilidade de venda de créditos de carbono através da redução de emissão do gás efeito estufa (GEE).

O último passo desta pesquisa foi a aplicação do procedimento criado no estudo de caso do Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla.

Para o cálculo da emissão do metano, através dos resíduos sólidos dispostos no aterro sanitário, foi utilizado *software Landfill Gas Emissions, Version 2.0*, desenvolvido pelo *The United States Environmental Protection* (USEPA, 1998).

Na avaliação da infra-estrutura para geração de energia elétrica foi utilizado o *software* de inferência estatística *Sisreg Windows* (TECSYS, 1998).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Apresentação do procedimento

O procedimento permite que seja analisada a viabilidade econômica da implantação de uma usina de geração de energia elétrica, com o biogás de aterros sanitários. Sendo assim, são seguidos alguns passos para a elaboração do fluxo de caixa, necessário ao cálculo da taxa interna de retorno – TIR e do valor presente líquido – VPL, critérios utilizados para avaliação do investimento.

Conforme a Figura 6, são necessários dados de entrada do aterro sanitário a ser avaliado para o início da simulação. Baseado nesta informação gera-se o potencial de metano ao longo do tempo e, simetricamente, a curva de geração de energia elétrica proveniente da combustão do biogás em motores de combustão interna. Com estes dados cria-se o fluxo de caixa, baseados no investimento do empreendimento, forma de financiamento, depreciação dos bens, custo de manutenção e operação da usina e do sistema de captação do gás e as receitas com a venda da energia elétrica gerada e os créditos de carbono. Criado o fluxo de caixa obtém-se os valores da TIR e VPL que fornecem o embasamento para a análise da viabilidade econômica e a criação dos resultados.

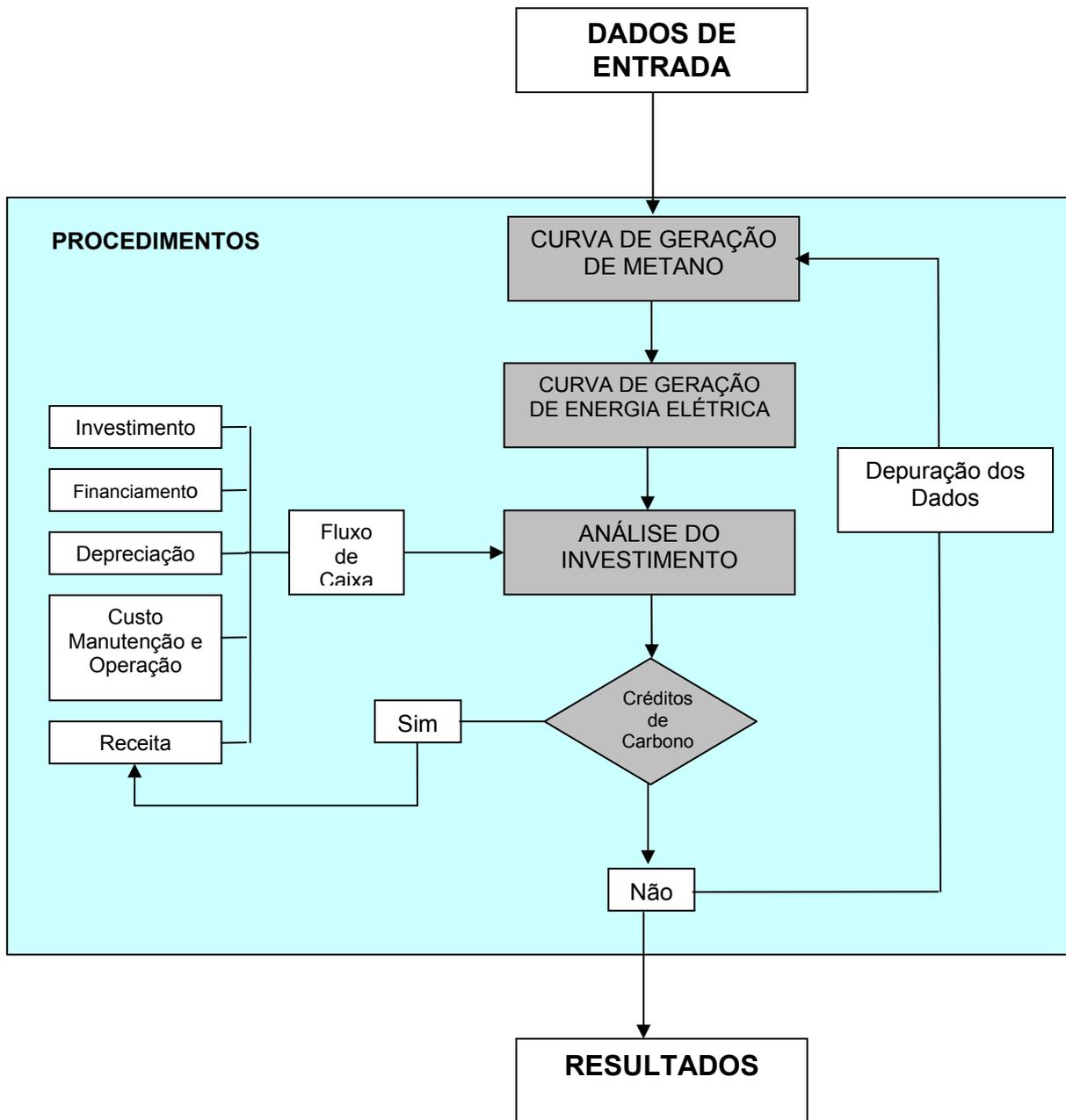


Figura 6 – Procedimentos para análise da viabilidade econômica

4.1.1 Geração de metano

O procedimento desenvolvido utiliza o método de decaimento de primeira ordem, desenvolvido pela USEPA (1991) para curva de geração de metano. Neste método, deve-se inserir os seguintes dados na planilha de entrada:

- **volume de metano no biogás:** de acordo com o Banco Mundial (2004), o biogás é tipicamente composto de, aproximadamente, 50% de metano e 50% de dióxido de carbono, com menos de 1% de outros componentes gasosos, inclusive sulfetos de hidrogênio e mercaptanas. Assim, foi utilizado como valor típico para a metodologia proposta, 50% de metano na composição do biogás;

- **L₀:** Representa o potencial de geração de metano, em metros cúbicos por tonelada dos resíduos sólidos urbanos (m³/t de lixo). Conforme afirma USEPA (1991), este fator depende da composição dos resíduos sólidos e das condições do aterro para o processo de metanização, estando os valores encontrados na literatura entre 6,2 e 270 m³ de metano para cada tonelada de lixo nos aterros americanos. Pode-se obter por medições realizadas em campo, ou valores utilizados em aterros de características semelhantes. Segundo a USEPA (1994), é utilizado um valor pré-estabelecido de 170 m³ de metano por tonelada de resíduos, porém o usuário do modelo pode aumentar ou diminuir o valor de L₀ para refletir o conhecimento específico da caracterização dos resíduos com maior ou menor conteúdo de material orgânico;

- **R:** média anual de deposição de resíduos sólidos, durante a vida útil do aterro (t/ano);

- **K:** constante de decaimento (ano⁻¹). Está relacionada ao tempo necessário para a fração de carbono orgânico degradável dos resíduos sólidos decair à metade de sua massa inicial. Segundo o Banco Mundial (2004), representa a taxa de decomposição biológica de primeira ordem à qual o metano é gerado depois da deposição dos resíduos. Esta constante é influenciada pela disponibilidade de nutrientes, pelo pH, pela temperatura e, principalmente, pelo teor de umidade. De acordo com a USEPA (1994), os valores típicos de K variam de 0,02 para aterros secos a 0,07 para aterros molhados, adotando-se 0,05 como valor pré-estabelecido para aterros com mais de 625 mm de precipitação por ano;

- **c:** tempo desde o fechamento do aterro em anos;

- **t:** tempo desde a abertura do aterro anos.

Com o lançamento dos dados acima obteve-se a curva de geração de metano (Gigagramas) pelo tempo (anos), conforme gráfico da Figura 7:

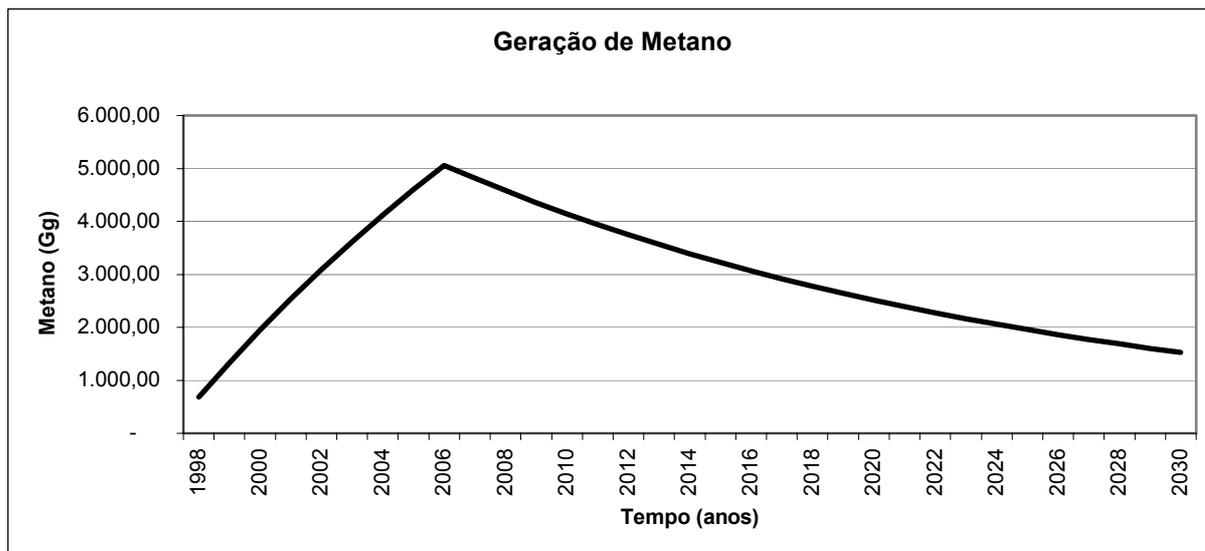


Figura 7 – Curva de geração de metano, em função do tempo do aterro.

4.1.2 Capacidade de geração de energia elétrica

A opção considerada para geração da energia elétrica foi a utilização de motores de combustão interna, acoplados à grupos geradores, que, conforme o Banco Mundial (2004), são prontamente disponíveis no mercado e podem ser obtidos em unidades modulares. Estes motores geradores estão disponíveis em vários tamanhos com capacidades de geração de menos de 0,5 megawatts (MW) a mais de 3 MW por unidade, com um custo de capital relativamente baixo por KW e uma maior eficiência do que a maior parte das turbinas a gás, com a vantagem da natureza modular deste sistema, que proporciona flexibilidade para maior expansão, tendo em vista a natureza incerta da produção futura do biogás. Conforme dados do Banco Mundial (2004), o custo de capital desses grupos geradores está entre U\$ 600 mil a U\$ 800 mil por MW de capacidade geradora, porém, representam entre 40% a 60% do custo total do empreendimento.

Na Figura 8 consta o potencial de geração de energia elétrica do metano recuperado no aterro sanitário, porém, para o investimento na usina, considera-se um valor constante de geração de energia ao longo do tempo e o restante do gás é queimado para obtenção dos créditos de carbono.

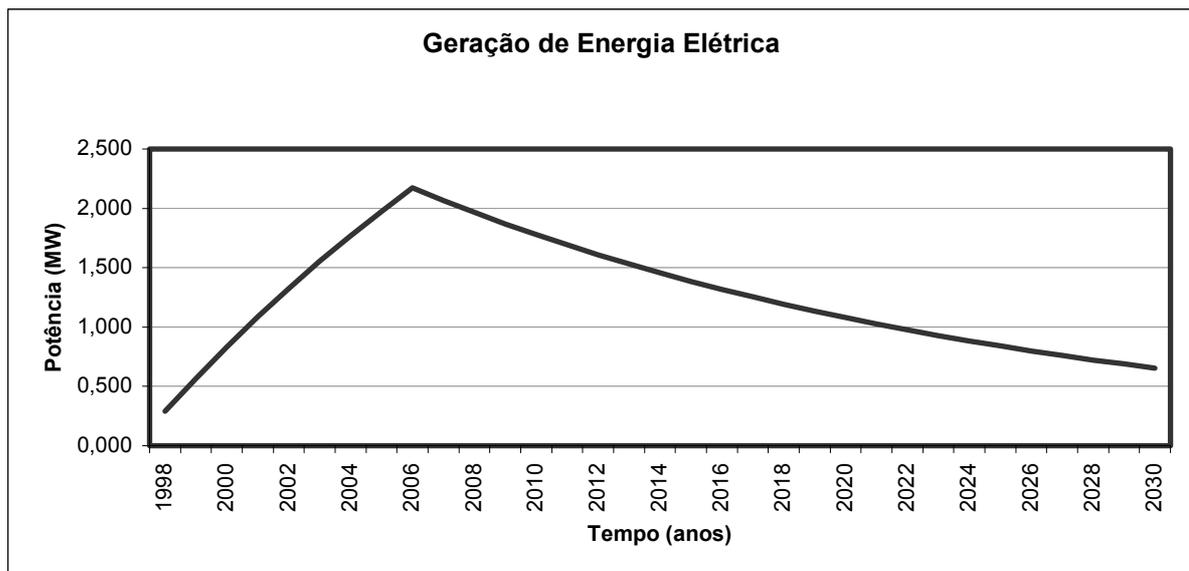


Figura 8 – Geração de energia elétrica, em função do tempo do aterro.

4.1.3 Investimento na captação de biogás e geração de energia elétrica

O cálculo do investimento total do empreendimento foi feito com base nos estudos do Banco Mundial (2005) de pré-viabilidade de recuperação do biogás e produção de energia nos seguintes aterros sanitários:

- aterro Muribeca de Pernambuco, Brasil;
- aterro Gramacho do Rio de Janeiro, Brasil;
- aterro de Montevideú, Uruguai;
- aterro de Queretaro, México;
- aterro Chihuahua, México;
- aterro Huaycoloro, Peru;
- aterro El Combeima, Colômbia;
- aterro La Esmeralda, Colômbia;
- aterro El Carrasco, Colômbia.

Criou-se um banco de dados com os valores referentes aos investimentos em geração de energia, infra-estrutura de captação e coleta do biogás e capacidade de disposição de resíduos sólidos de cada um dos aterros citados anteriormente. Este banco de dados foi utilizado pelo *software* de inferência estatística – Sisreg, para geração de equações conforme segue:

$$Inv.U.G.(milhõesUS\$) = 0,08032049 + 0,9616*(Pot.MW) \quad (2)$$

Na Equação 2, obtém-se o valor do investimento, em milhões de dólares, na usina de geração de energia elétrica inserindo a potência de geração em MW, para o intervalo da variável dependente de 1 a 10 MW. O *software* fornece informação sobre a confiabilidade do modelo, neste caso, é de 99%.

O valor do investimento, na infra-estrutura de coleta e captação do biogás representa de 40% a 60% do valor total do investimento, segundo o Banco Mundial (2004).

4.1.4 Financiamento do empreendimento

Para formação do fluxo de caixa foi considerada a possibilidade de financiamento do investimento pelo Banco Mundial, que possui uma linha de crédito específica para a geração de energia elétrica, com taxas de juros de 8% ao ano, com prazo de pagamento em 10 anos utilizando o sistema de amortização constante – SAC.

4.1.5 Receitas do empreendimento

Foram consideradas, para o fluxo de caixa do empreendimento, as seguintes possibilidades de receitas:

a) venda de energia elétrica

Foi utilizada a receita da venda da energia elétrica total produzida neste empreendimento. Os valores da receita da venda de energia elétrica são corrigidos anualmente com uma taxa de 3%.

b) venda dos créditos de carbono

Existe a possibilidade de enquadrar o projeto no mecanismo de desenvolvimento limpo, que permitirá a venda de certificados de redução de emissões para empresas interessadas, ou ainda em bolsa de valores.

4.1.6 Custos de operação e manutenção

Com base nos dados de projetos desenvolvidos e em operação nos Estados Unidos, segundo o Banco Mundial (2004), tem-se os seguintes valores:

a) taxa de compra do biogás: US\$ 0,35 por MMBTU.

b) custo de manutenção e operação da usina de energia elétrica: US\$ 0,018 por KWh.

c) custo de registro, monitoração e verificação: US\$ 25.000 a US\$ 40.000 por aterro sanitário.

d) custo de manutenção e operação do sistema de coleta e controle do biogás: 5 % do investimento em infra-estrutura de coleta e captação do biogás.

e) depreciação: considerou-se a depreciação do empreendimento em 10 anos.

Assim como na receita, os custos foram corrigidos com uma taxa de 3% ao ano.

4.1.7 Tributos

Foram lançados no fluxo de caixa do empreendimento, os tributos incidentes nas receitas obtidas com a venda da energia elétrica produzida e com os créditos de carbono, de acordo com informações do Ministério de Minas e Energia (MME, 2005), conforme segue:

Contribuição Permanente sobre Movimentações Financeiras – CPMF: 0,38%.

Programa de Integração Social – PIS: 1,65%.

Contribuição para Financiamento da Seguridade Social – COFINS: 3%.

Imposto de Renda – IR: 15% até R\$ 240.000/ano + 10% acima de R\$ 240.000.

Contribuição Social Sobre o Lucro – CSSL: 9%.

Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS: não considerado (Convênio ICMS nº 107/02).

Imposto sobre Produtos Industrializados – IPI: não considerado (Decreto nº 4542/02).

4.1.8 Formação do fluxo de caixa

Após o levantamento dos valores referentes ao investimento do empreendimento, das receitas obtidas com a venda da energia elétrica e dos créditos de carbono, dos custos com a compra do biogás, operação e manutenção do sistema e do pagamento do financiamento, tributos e à depreciação dos equipamentos, foi elaborado um fluxo de caixa para cálculo da análise do investimento.

Foram calculadas a TIR e o VPL para análise da viabilidade econômica do projeto.

O fluxo de caixa permite que sejam efetuadas simulações de diversos cenários, como por exemplo, um otimista, um conservador e um pessimista, alterando os valores das receitas com a venda da energia elétrica e dos créditos de carbono.

4.2 Aplicação do procedimento ao caso do Aterro Metropolitano Santa Tecla

4.2.1 Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre/RS

O Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) de Porto Alegre foi criado como autarquia, em 15 de dezembro de 1975, a partir da Divisão da Limpeza Pública, vinculada à Secretaria de Obras e Viação, no intuito de otimizar a realização dos serviços de limpeza pública da cidade de Porto Alegre. Em 1990, com o objetivo de diminuir o impacto ambiental, criou-se o Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Dentro deste sistema, destaca-se a coleta seletiva do resíduo sólido reciclável, convencionalmente chamado

de lixo seco. O lixo separado pela sociedade transforma-se em matéria-prima que provê sustento e resgate social para populações carentes.

Existem hoje, oito Unidades de Triagem de lixo seco, onde trabalham mais de 450 recicladores, recebendo, classificando e comercializando, em média, 60 toneladas de material entregues diariamente pelo DMLU. Este programa recebeu, em junho de 2000, o prêmio Coleta Seletiva – Categoria Governo, do Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE), em reconhecimento à melhor prática de gestão na área de reciclagem de resíduos sólidos no Brasil.

Com a diminuição de áreas passíveis de receberem resíduos sólidos para destinação final nos centros urbanos, o DMLU passou a discutir e propor projetos unificados para o conjunto dos municípios da região metropolitana. A soma dos esforços de cada cidade reduziria os custos das soluções dos problemas. Assim, nasceu o primeiro convênio intermunicipal do País – gerenciado pelos municípios envolvidos e pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), para o manejo e tratamento de resíduos sólidos, onde os municípios de Porto Alegre, Gravataí, Esteio e Cachoeirinha passaram a dispor seus resíduos no Aterro Sanitário Santa Tecla, situado no município de Gravataí e operado pelo DMLU.

O DMLU conta com uma equipe de 3.500 trabalhadores (servidores próprios e de empresas contratadas), distribuídos por 7 seções, subdividas em 27 postos de serviços posicionados nos bairros, com custo correspondente a 6,3% do orçamento municipal.

4.2.2 Gestão ambiental de resíduos

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), Porto Alegre é a metrópole com a melhor qualidade de vida do país, com rede de água para 99% da população, rede de esgoto para 82 % e coleta de resíduos sólidos domiciliares, responsabilidade do DMLU, atendendo a 100% dos moradores. A política de gerenciamento dos resíduos sólidos da Administração Municipal projeta a cidade como uma referência, liderando o Grupo de Trabalho de Gestão Integrada e Sustentável dos Resíduos Sólidos em Cidades da América Latina e Caribe do Programa de Gestão Urbana da ONU. Proteção ao meio ambiente e apoio a segmentos sociais excluídos são as diretrizes dessa política na capital gaúcha. Os objetivos do

DMLU são a redução, o reaproveitamento e a reciclagem, como caminho para o desenvolvimento (DMLU, 2005).

4.2.3 Aterro Metropolitano Santa Tecla

O Aterro Metropolitano Santa Tecla está localizado na Estrada Henrique Closs, Km 6, em Gravataí.

Segundo DMLU (2005), até o ano de 1999 a área foi operada como lixão, quando executaram-se as obras de remediação e implantação do aterro sanitário, para dar lugar a um aterro sanitário de 10 hectares. O aterro é do tipo rampa, com uma zona antiga fechada que contém 570 mil toneladas de resíduos e uma zona ativa mais recente, com capacidade de 2 milhões de toneladas. A profundidade máxima dos resíduos, na área mais antiga, é de, aproximadamente, 25 metros e na área mais recente de 35 a 40 metros.

Atualmente, o aterro opera em ampliação do projeto original com previsão de encerramento para meados de 2006.

De acordo com o DMLU, o aterro recebeu até maio de 2005 as quantidades de resíduos sólidos apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Quantidade de resíduos depositados no Aterro Santa Tecla

Ano de operação do aterro	Quantidade (t)
Até 1999	380.000,00
1999	232.671,14
2000	266.632,76
2001	361.812,47
2002	375.787,43
2003	219.532,28
2004	134.746,81
2005 (até maio)	72.025,36
Total	2.043.208,24

Fonte: DMLU (2005).

Este aterro sanitário possui atributos de um aterro moderno, como por exemplo:

- acesso controlado;
- possui um centro de reciclagem localizado fora do aterro, onde os recicláveis são removidos manualmente de uma porção do resíduo doméstico que é coletado diariamente;
- balança para pesar os resíduos recebidos;
- estradas de acesso bem conservadas;
- áreas de deposição controlada com compactação por tratores;
- aplicação de cobertura diária e áreas inativas com cobertura intermediária de 30 cm de solo argiloso;
- um sistema de controle do escoamento pluvial que impede que a maior parte da água se misture com o resíduo e se transforme em percolato, ou que flua para dentro do sistema de tratamento do lixiviado;
- cerca de 40% do aterro repousa sobre solos originais, e 60% sobre uma camada de 1m de argila compactada, com uma condutividade hidráulica mínima de 1×10^{-7} cm/s e na célula mais recente, de 2,4 hectares, o sistema de impermeabilização é feito com geomembrana de polietileno de alta densidade;
- possui um sistema interno de coleta de percolato que drena o material para uma lagoa de acumulação. O sistema coleta, em média, 200 m³ de lixiviado por dia. Uma porção deste material é tratado no sistema de lagoas do local; parte é recirculada para dentro do aterro; o resto é transportado para uma estação de tratamento de águas residuais;
- um sistema de ventilação de biogás que consiste em, aproximadamente, 140 drenos, conforme exemplo da Figura 9, a seguir.



Figura 9 – Vista parcial dos drenos de gás do Aterro Metropolitano Santa Tecla

Na Figura 9, pode-se observar parcialmente o sistema de drenagem do biogás na célula em operação do Aterro Metropolitano Santa Tecla.

4.2.3.1 Composição gravimétrica dos resíduos

Conforme Reis et al. (2003), a composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de Porto Alegre está apresentada na Tabela 2, a seguir.

Nesta tabela, observa-se que a composição dos resíduos sólidos de Porto Alegre contém mais de 40% de matéria orgânica, o que é imprescindível para produção do biogás.

Tabela 2: Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de Porto Alegre

Componentes	% (peso úmido)
Matéria orgânica facilmente biodegradável	43,83
Papel	2,75
Papelão	1,94
Plástico rígido	4,24
Plástico PET	2,11
Isopor	0,48
Vidro	3,44
Metal ferroso	3,18
Alumínio	0,59
Trapos	3,53
Embalagem Longa Vida	1,6
Jornais e revistas	4,57
Madeira	0,73
Cerâmica	0,18
Couros	0,55
Borracha	0,29
Outros metais	0,22
Plástico filme	5,35
Plástico PVC	0,13
Rejeito	20,29
Total	100

Fonte: Reis et al. (2003)

4.3 Curva de geração do biogás no aterro

Utilizando o *software Landfill Gas Emissions, Version 2.0*, inserindo a quantidade média de resíduos sólidos dispostos no aterro sanitário Santa Tecla (Tabela 1), obteve-se a curva de geração de metano ao longo do tempo em anos, sendo os parâmetros L_0 igual a 170 m^3 de metano por tonelada de resíduo e a constante de decaimento k igual a 0,05 por ano. A Tabela 3 apresenta os parâmetros utilizados para simulação da curva de geração de metano e energia elétrica.

Tabela 3 – Dados do Aterro Metropolitano Santa Tecla

Parâmetro	Valor
L_0 (m^3/ton)	170
R (ton)	260.000
K (1/ano)	0,05
Ano de fechamento	2006
Ano de abertura	1998
Volume de metano no Biogás (%)	50
Índice de recuperação de metano (%)	75
Eficiência do motor	0,2

Na Tabela 4, apresenta-se o tempo em anos, com a respectiva capacidade de produção de biogás e metano do aterro sanitário. Porém, apenas parte do biogás gerado é recuperado e considerou-se, para este caso, um índice de recuperação de 75%. Portanto, abaixo da linha do recuperado, considera-se apenas os valores de metano possíveis de serem extraídos do aterro nas unidades m^3/ano , MMBTU/ano e gigagramas/ano. Com a combustão deste gás obtêm-se a capacidade de geração de energia elétrica, em megawatts, e o potencial de geração de créditos de carbono que é mensurado em gigagramas equivalente de CO_2 .

Tabela 4 – Geração do biogás, energia elétrica e créditos de carbono

Ano	Produção no aterro		Recuperado				
	Biogás (m ³ /ano)	Geração de metano (m ³ /ano)	Geração de metano (m ³ /ano)	MMBtu/ano	Metano (Gg)	Potência Elétrica (MW)	CO ₂ eq/ano (Gg)
1998	4.311.318,87	2.155.659,44	1.616.744,58	28.922,09	1.157,59	0,497	24.309,37
1999	8.412.372,25	4.206.186,12	3.154.639,59	56.433,62	2.258,72	0,970	47.433,16
2000	12.313.414,88	6.156.707,44	4.617.530,58	82.603,41	3.306,15	1,420	69.429,19
2001	16.024.201,43	8.012.100,71	6.009.075,54	107.496,88	4.302,50	1,848	90.352,46
2002	19.554.010,78	9.777.005,39	7.332.754,04	131.176,28	5.250,25	2,255	110.255,29
2003	22.911.669,29	11.455.834,65	8.591.875,98	153.700,82	6.151,78	2,642	129.187,45
2004	26.105.572,87	13.052.786,43	9.789.589,83	175.126,83	7.009,35	3,010	147.196,27
2005	29.143.707,93	14.571.853,97	10.928.890,47	195.507,88	7.825,09	3,361	164.326,80
2006	32.033.671,40	16.016.835,70	12.012.626,77	214.894,93	8.601,04	3,694	180.621,86
2007	30.471.370,81	15.235.685,40	11.426.764,05	204.414,38	8.181,56	3,514	171.812,82
2008	28.985.264,52	14.492.632,26	10.869.474,19	194.444,98	7.782,54	3,342	163.433,41
2009	27.571.636,49	13.785.818,24	10.339.363,68	184.961,78	7.402,98	3,179	155.462,67
2010	26.226.951,91	13.113.475,95	9.835.106,96	175.941,09	7.041,94	3,024	147.880,67
2011	24.947.848,37	12.473.924,18	9.355.443,14	167.360,34	6.698,50	2,877	140.668,44
2012	23.731.127,45	11.865.563,72	8.899.172,79	159.198,08	6.371,81	2,737	133.807,96
2013	22.573.746,70	11.286.873,35	8.465.155,01	151.433,90	6.061,05	2,603	127.282,07
2014	21.472.812,09	10.736.406,04	8.052.304,53	144.048,38	5.765,45	2,476	121.074,45
2015	20.425.570,68	10.212.785,34	7.659.589,01	137.023,06	5.484,27	2,355	115.169,58
2016	19.429.403,85	9.714.701,92	7.286.026,44	130.340,37	5.216,79	2,241	109.552,69

Na Figura 10 demonstra-se graficamente os dados da Tabela 4 sobre a geração do metano ao longo do tempo. Nota-se que o ápice de geração de metano é na data do encerramento do aterro sanitário, neste caso em meados 2006. Após o fechamento do aterro, cessam a entrada de resíduos sólidos e a produção do biogás decai exponencialmente ao longo do tempo representada pela constante de decaimento k , no modelo de decaimento de primeira ordem.

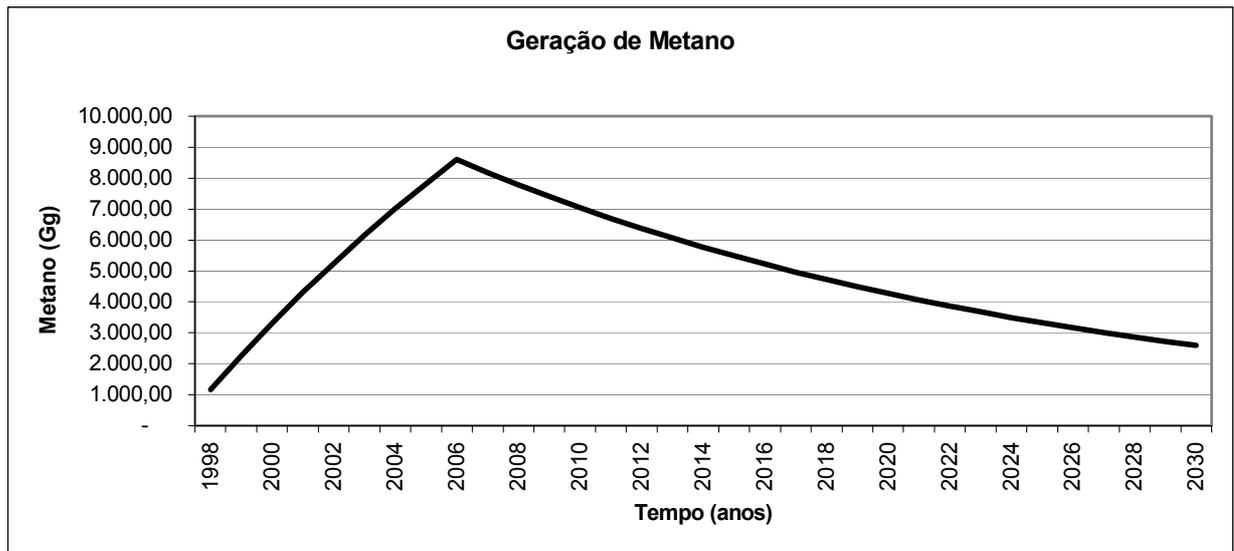


Figura 10 - Estimativa de geração de metano no Aterro Metropolitano Santa Tecla.

4.4 Curva de geração de energia elétrica

A geração de energia elétrica foi calculada com base na curva de geração de metano do Aterro Metropolitano Santa Tecla (Figura 7), cuja densidade, de acordo com a (CETESB, 1999) é de $0,716 \text{ kg/m}^3$ e o metano representa 50% do volume do biogás com recuperação típica de 75%.

A eficiência do motor para a combustão interna do biogás, normalmente usado neste sistema, está na faixa de 20%, gerando uma curva de produção de energia elétrica conforme a Figura 11.

Observa-se que a curva de geração de energia elétrica é simétrica e proporcional a geração de metano no aterro sanitário. Iniciando com uma potência próxima a 0,5 MW chegando ao máximo de 3,69 MW, no fechamento do aterro e decaindo exponencialmente com o passar dos anos. Porém, para a análise do investimento deve-se definir um valor constante de geração de energia elétrica por um intervalo de tempo determinado. Neste caso, definiu-se o valor de 2 MW para a geração de energia elétrica entre 2006 a 2016, pois a menor capacidade de produção de eletricidade do período acontecerá em 2016, que é de 2,24 MW.

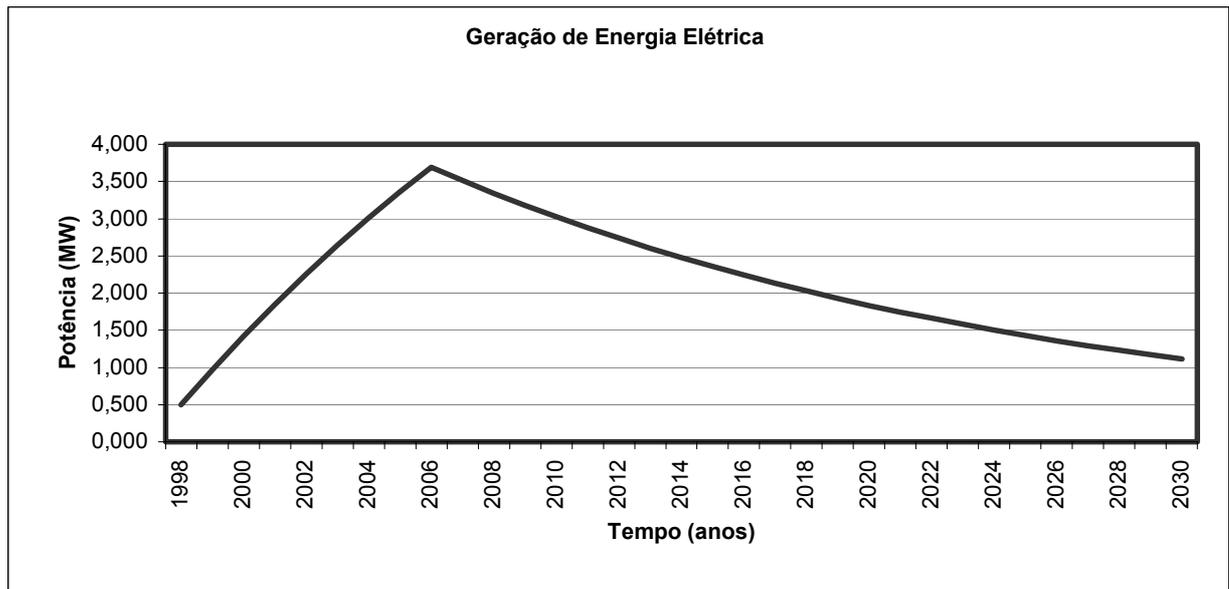


Figura 11 – Curva de geração de energia elétrica estimada para o biogás do Aterro Metropolitano Santa Tecla

4.5 Investimento da usina de geração de energia elétrica

Definida a potência da usina de geração de energia elétrica, simulou-se o valor necessário para o investimento do empreendimento, com base nos estudos de pré-viabilidade do Banco Mundial (2005), aplicados na Equação 2 apresentada no item 4.1.3.

Tabela 5 – Tabela SAC do empreendimento

Período	Saldo Devedor	Prestação	Amortização	Juros
0	4.008.481,74			
1	3.607.633,57	721.526,71	400.848,17	320.678,54
2	3.206.785,39	689.458,86	400.848,17	288.610,69
3	2.805.937,22	657.391,01	400.848,17	256.542,83
4	2.405.089,05	625.323,15	400.848,17	224.474,98
5	2.004.240,87	593.255,30	400.848,17	192.407,12
6	1.603.392,70	561.187,44	400.848,17	160.339,27
7	1.202.544,52	529.119,59	400.848,17	128.271,42
8	801.696,35	497.051,74	400.848,17	96.203,56
9	400.848,17	464.983,88	400.848,17	64.135,71
10	-	432.916,03	400.848,17	32.067,85

Obteve-se um valor de US\$ 2,004 milhões para a usina de geração de energia elétrica e US\$ 2,004 milhões para o sistema de coleta e captação do biogás, totalizando o investimento em US\$ 4,008 milhões com financiamento total pelo Banco Mundial, com juros de 8% a.a. depreciados pelo sistema de amortização constante conforme Tabela 5.

4.6 Análise da viabilidade econômica

Na análise da viabilidade econômica do empreendimento foi considerada a possibilidade da venda de créditos de carbono. Segundo Protocolo de Quioto (MCT,1998) o projeto se enquadre no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL deve contemplar os seguintes critérios:

a) adicionalidade: o projeto deve comprovadamente resultar na redução de emissões de gases de efeito estufa e/ou remoção do gás carbônico adicional à que ocorreria na ausência do projeto do MDL. Este item é atendido no empreendimento proposto pela captação e queima do metano presente no biogás, já que não é usual a exploração do biogás como fonte energética no Brasil;

b) linha base: representa um cenário de forma razoável, onde as emissões antrópicas de gases de efeito estufa ocorreriam na ausência do projeto proposto. Considera-se como linha de base o valor de 13,5% do biogás gerado, já que existe um sistema de ventilação e queima do biogás com 140 drenos;

c) viabilidade do empreendimento condicionada à venda dos créditos de carbono: o projeto só será cadastrado no MDL se a venda dos créditos de carbono for imprescindível à viabilidade econômica do projeto, isto é, sem a venda desses créditos o projeto seria economicamente inviável;

A seguir são apresentadas as simulações de oito cenários considerando diferentes valores para a venda de energia e de créditos de carbono.

Tabela 6 – Cenários para análise do investimento

Cenários	Preço do CER (US\$)	Preço Energia Elétrica (US\$/Kwh)	TIR (%)	VPL (taxa 8%)
I	5,00	0,0592	13,76%	\$1.322.238,85
II	6,00	0,0592	14,95%	\$1.599.016,11
III	4,00	0,0592	12,54%	\$1.041.950,00
IV	5,00	0,0746	22,64%	\$3.572.963,10
V	5,00	0,0439	2,24%	(\$1.221.389,35)
VI	-	0,0746	16,96%	\$2.189.076,77
VII	-	0,0592	7,19%	(\$188.162,46)
VIII	-	0,0439	-7,01%	(\$3.098.835,01)

Onde: CER-Certificado de Redução de Emissões; TIR-Taxa Interna de Retorno; VPL-Valor Presente Líquido

A Tabela 6 apresenta oito simulações de cenários para análise de investimento. Para elaboração destes cenários, foram atribuídos valores para a venda dos certificados de redução de emissões (CER) e para a venda da energia elétrica gerada no aterro.

No primeiro cenário, apresentado no Apêndice B, considerou-se um valor conservador para os créditos de carbono, de US\$ 5 por tonelada, e um valor também conservador para a venda de energia elétrica, de US\$ 0,0592 por Kwh, o que resultou numa TIR de 13,76% e um VPL de US\$ 1.322.238,85 para uma taxa mínima de atratividade de 8% a.a.. Sendo assim, o investimento torna-se economicamente viável nesta situação.

Para o segundo cenário, conforme Apêndice C, criou-se uma situação otimista para a venda dos créditos de carbono, considerando-se o valor de US\$ 6 por tonelada e manteve-se o valor conservador para a venda de energia elétrica, o que resultou numa TIR de 14,95% e um VPL de US\$ 1.599.016,11 para uma taxa de atratividade de 8%. Nesta condição, o investimento também torna-se economicamente viável.

No terceiro cenário, demonstrado no Apêndice D, apresentou-se uma condição conservadora para a venda dos créditos de carbono, com valor de US\$ 4 por tonelada e novamente, manteve-se um valor conservador para a venda de energia elétrica que resultou numa TIR de 12,54% e um VPL de US\$ 1.041.950,00 para uma taxa mínima de atratividade de 8%. Novamente, o investimento apresentou-se viável economicamente.

Para o quarto cenário, apresentado no Apêndice E, adotou-se uma situação conservadora para a venda dos créditos de carbono de US\$ 5 por tonelada, e um valor otimista para a venda da energia elétrica, de US\$ 0,0746 por Kwh, o que resultou numa TIR de 22,64% e um VPL de US\$ 3.572.963,10 para uma taxa de 8%, que resultou na viabilidade econômica do empreendimento com a maior TIR e VPL simulados.

No quinto cenário, conforme Apêndice F, criou-se uma situação conservadora para a venda dos créditos de carbono e uma situação pessimista para a venda de energia, de US\$ 0,0439 por Kwh, que resultou em uma TIR de 2,24 % e um VPL negativo de US\$ 1.221.389,35 para uma taxa de 8%, que resultou na inviabilidade econômica do investimento.

Para o caso do projeto não ser cadastrado no MDL, foram criados o sexto, sétimo e oitavo cenários. Assim, não puderam ser considerados valores para a venda dos créditos de carbono. Foram atribuídos valores de cenários otimista, conservador e pessimista, de US\$ 0,0746, US\$ 0,0592 e US\$ 0,0439 respectivamente para a venda de energia elétrica.

No sexto cenário, apresentado no Apêndice G, obteve-se uma TIR de 16,96% e um VPL de US\$ 2.189.076,77 para uma taxa de 8%, que resultou na viabilidade econômica do projeto. Cabe salientar que neste cenário foi atribuído um valor extremamente otimista para a venda da energia elétrica, e com isso, o projeto não se enquadraria no MDL.

Já no sétimo cenário, demonstrado no Apêndice H, obteve-se uma TIR de 7,19% e um VPL negativo de US\$ 188.162,46, tornando o projeto economicamente inviável para uma taxa de 8%.

Para o oitavo cenário, conforme Apêndice I, criou-se uma situação pessimista para a venda de energia elétrica, resultando numa TIR negativa de 7,01% e um VPL também negativo de US\$ 3.098.835,01, tornando-se o cenário com os menores valores para a TIR e para o VPL simulados.

Em todos os cenários apresentados foi considerado que o biogás será adquirido do proprietário do aterro sanitário. Neste caso, os municípios de Porto Alegre, Gravataí, Esteio e Cachoeirinha, gerariam uma receita de US\$ 1.864.061,30, em 11 anos de operação da usina.

Após a análise desses cenários, observa-se que o cadastramento do projeto no mecanismo de desenvolvimento limpo é indispensável para a viabilização econômica do empreendimento. Nos cenários VI, VII, e VIII, onde não contemplava-se a venda de créditos de carbono, apenas apresentou-se viável o projeto na situação de venda de energia elétrica a um valor extremamente otimista. Com isto, o projeto acolhe todos os requisitos exigidos pelo MDL para a venda dos créditos de carbono: adicionalidade, linha base e viabilidade do empreendimento condicionada à venda dos créditos de carbono. Nos demais cenários, o projeto apenas não apresentou-se viável na situação de venda de energia elétrica a um valor pessimista, sendo as demais situações todas viáveis financeiramente.

4.7 Sensibilidade do empreendimento à variação do dólar

Na Tabela 6 criou-se cenários para a análise do investimento considerando a cotação de janeiro de 2006 do dólar (R\$ 2,28 por dólar), com a venda da energia gerada para o mercado nacional, gerando uma receita em moeda nacional.

A Tabela 7, apresenta novamente os oito cenários simulados com a cotação do dólar a R\$ 3,00.

Tabela 7 – Cenários para análise do investimento com dólar a R\$ 3,00

Cenários	Preço do CER (US\$)	Preço Energia Elétrica (US\$/Kwh)	TIR (%)	VPL (taxa 8%)
I	5,00	0,0450	3,32%	(\$1.001.248,04)
II	6,00	0,0450	5,02%	(\$638.497,88)
III	4,00	0,0450	1,58%	(\$1.371.493,85)
IV	5,00	0,0567	12,17%	\$945.953,10
V	5,00	0,0333	-	(\$3.301.028,89)
VI	-	0,0567	5,23%	(\$633.149,98)
VII	-	0,0450	-5,74%	(\$2.873.453,32)
VIII	-	0,0333	-	(\$5.198.170,94)

Onde: CER-Certificado de Redução de Emissões; TIR-Taxa Interna de Retorno; VPL-Valor Presente Líquido

Observa-se que das oito situações criadas, apenas uma apresentou-se viável economicamente. Isto revela uma grande sensibilidade da viabilidade econômica a variação da cotação do dólar, gerando um insegurança aos investidores estrangeiros.

5 CONCLUSÕES

5.1 Conclusões da pesquisa

A conclusão desta pesquisa está estruturada quanto à bibliografia, aos objetivos e os resultados:

- quanto à bibliografia, observa-se uma preocupação sobre temas ambientais, como o uso da energia, aquecimento global, mecanismo de desenvolvimento limpo, créditos de carbono e forma de disposição dos resíduos sólidos buscando a sustentabilidade da sociedade. Apesar da geração de energia elétrica no Brasil estar estruturada em fontes hídricas, com um baixo custo de geração, é de fundamental importância a diversificação da matriz energética, haja visto, o colapso que o racionamento causou em 2001. Cabe ressaltar o relevante papel das fontes alternativas de energia elétrica, entre elas a geração de energia através do biogás de aterros sanitários, amplamente utilizada na Europa (1200 MW) e nos Estados Unidos (500MW), ainda incipiente no Brasil, onde apenas utilizado 20 MW de um potencial superior a 350 MW. A análise da viabilidade econômica, através da TIR e o VPL, é fator determinante para a realização do investimento em usinas de geração de energia elétrica com utilização do biogás;

- quanto ao objetivo de criar um procedimento para avaliar a viabilidade econômica da geração de energia elétrica, com a utilização do biogás proveniente da decomposição anaeróbica de resíduos em aterros sanitários, como uma ferramenta para critério de decisão para utilização desta fonte de energia renovável, esta foi estruturada da seguinte forma:

- para avaliar o potencial de geração de biogás do aterro sanitário coleta-se os dados de disposição de resíduos, data de abertura e encerramento do aterro, valores do potencial de geração do metano e a constante de decaimento, aplicando-se, conforme USEPA (1991), no

“Método de Decaimento de Primeira Ordem” obtém-se a curva de geração de metano ao longo do tempo. A queima do metano através de motores de combustão interna, acoplados a geradores de energia elétrica, cria o potencial de geração de energia elétrica, utilizando o biogás. O potencial de geração de certificados de redução de emissão - CRE de gases efeito estufa pela combustão do biogás do aterro sanitário deve ser considerado de acordo com os critérios de linha de base, adicionalidade e a viabilidade condicionada à venda dos créditos de carbono. Para cálculo da viabilidade econômica da implantação de uma usina de geração de energia elétrica, utilizando o biogás gerado no aterro sanitário, utilizou-se a TIR e o VPL, estruturado no fluxo de caixa, considerando o investimento, financiamento, depreciação, custos de manutenção e operação e receitas da venda de energia e créditos de carbono. O estudo de caso foi no Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla e apresentou-se economicamente viável para um cenário conservador (valor dos créditos de carbono de US\$ 5 por tonelada e um valor da venda de energia elétrica de US\$ 0,0592 por Kwh, o que resultou numa TIR de 13,76% e um VPL de US\$ 1.322.238,85 para uma taxa mínima de atratividade de 8% a.a.).

- quanto aos resultados obtidos, a aplicação do procedimento para a análise da viabilidade econômica do empreendimento, na usina de geração de energia elétrica, utilizando o biogás do Aterro Metropolitano Santa Tecla para uma situação conservadora de venda de energia elétrica e venda dos créditos de carbono demonstrou-se viável economicamente com uma TIR de 13,76% e um VPL de US\$ 1.322.238,85 para uma taxa mínima de atratividade de 8% a.a, porém com grande sensibilidade a cotação do dólar. Estes valores foram obtidos com a cotação do dólar em R\$ 2,28. Simulando o dólar a R\$ 3,00, nas mesmas condições, o VPL apresenta-se negativo no valor de US\$ 1.001.248,01 com a TIR 3,32 %, inviabilizando economicamente o empreendimento.

É relevante salientar que a instalação da usina de geração de energia gera uma receita ao proprietário do aterro de US\$1.864.061,30 pela compra do biogás, neste caso os municípios proprietários do aterros, que, por sua vez, compram energia elétrica para a iluminação pública e para os estabelecimentos municipais. Isso poderia ser compensado e adquirido por um preço mais acessível do que o valor das concessionárias, redistribuindo aos munícipes uma taxa menor de iluminação pública e coleta de lixo urbano.

Do ponto de vista da matriz energética, é estratégico a diversificação de fontes geradoras de energia, sendo o biogás uma fonte alternativa, renovável, disponível, próxima aos centros consumidores de energia elétrica e até o presente, com apenas 6% do potencial utilizado.

Do ponto de vista econômico, a venda dos créditos de carbono ao mercado internacional contribuem para o superávit da balança comercial. Porém, as altas taxas de juros praticadas no Brasil, diminuem a atratividade para investimentos desta natureza e instabilidade da cotação da moeda nacional em relação ao dólar, afastam os investidores estrangeiros que optam por aplicar no mercado financeiro.

Cabe o desafio de fomentar a utilização do potencial do biogás de aterros sanitários para a geração de energia elétrica gerando benefícios ambientais e econômicos.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Como recomendações para trabalhos futuros sugere-se:

- o procedimento desenvolvido utilizou como Banco de Dados estudos de pré- viabilidade realizados na América Latina. Os aterros sanitários em questão são de médio a grande porte, então sugere-se a aplicação do procedimento para aterros de menor capacidade proporcionando um universo maior de utilização deste trabalho;
- o uso do biogás de aterro sanitário para a geração de energia elétrica ainda é incipiente no Brasil, com apenas uma usina de 20 MW, no Aterro Bandeirantes, em São Paulo. Apesar dos vários contatos, não conseguiu-se obter os valores de operação e manutenção dos sistemas em aterros nacionais utilizando os valores praticados pelo Banco Mundial. Portanto, sugere-se o levantamento dos custos reais em um aterro nacional;
- a elaboração de um *software* para o procedimento desenvolvido, objetivando uma interface mais amigável com o usuário;
- analisar o impacto financeiro no setor público obtido com o incremento da receita proveniente da venda do biogás, créditos de carbono, geração de energia elétrica com o objetivo da diminuição da cobrança das taxas de limpeza urbana e iluminação pública;
- analisar os benefícios sócio-ambientais do empreendimento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADO. **Seminário discute o aproveitamento do biogás de aterros**. São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.ibps.com.br>>. Acesso em: 17 dez. 2004.

ALVES FILHO, M. **Tese mostra potencial energético do biogás**. Jornal da Unicamp. Disponível em <<http://www.unicamp.br>> . Acesso em: 12 dez. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.004: Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro: 2004.

_____. **NBR 8.419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: 1984.

BANCO MUNDIAL. **The World Bank handbook for the preparation of landfill gas to energy projects in Latin America and the Caribbean**. Waterloo, Ontario, 2004.

BANCO MUNDIAL. **Estudos de pré-viabilidade**. 2005. Landfill Gas. Disponível em: <http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas_estudios_prefac_po.htm> Acesso em: ago 2005.

BARROS, A. J. S.; LEHFELD, N.A.S. **Fundamentos de metodologia científica**. 2 ed. São Paulo: Makron Books, 2004.

COLOMBO, U. **Development and the global environment, in the energy-environment connection**. Island Press, USA: Jack M. Hollander, 1992.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Pesquisa sobre emissões de metano dos depósitos de lixo no Brasil**. São Paulo: 1999. Disponível em <<http://www.mct.gov.br>> Acesso em 23 jun. 2004.

D'ALMEIDA, M.L.O; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2º ed. São Paulo: IPT/CEMPRE. 2000.370 p.
Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU). **Informações técnicas**. Porto Alegre: DMLU,2005

ESCOSTEGUY, P.A.V. **Gerenciamento de resíduos sólidos e seus impactos ambientais: uma visão do contexto atual**. Passo Fundo, s.e.,s.d.

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FERRER, J. T. V. (Coord). **Aspectos gerais sobre a proteção da camada de ozônio – coletânea de informações**. Prozonesp/CETESB/SMA. São Paulo: abr. 2005.

FONSECA, Y. D. **Técnicas de avaliação de investimentos: uma breve revisão da literatura**. Caderno de Análise Regional – Desenhahia/UNIFACS. Artigo 5, ago 2003. Disponível em: <<http://www.desenhahia.ba.gov.br>>. Acesso em 27 dez 2004.

FURRIELA, R. B. **Mudanças Climáticas Globais: Desafios e Oportunidades**. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br.br>>. Acesso em 18 jan 2006.

FURTADO, C. **Promessas e incertezas**. In: Revista Desafios do Desenvolvimento. Ano 2. N. 11. IPEA: São Paulo, jun 2005.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 7ª ed. São Paulo: Harbra, 2002.

HAM, R. K.; MORTON, A. B. **Measurement and prediction of landfill gas quality and quantity**. In: Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. Ed. Thomas H Chistensen Raffaello Cosu, and Rainer Stegmann (Academic Press, New York, 1989) p. 155-158.

HELFERT, E. A. **Técnicas de análise financeira**. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.

HINRICHS, R.A., KLEINBACH M. K. **Energia e meio ambiente**. 3ª ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000**. Brasília: 2001. disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 12 ago. 2004.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for national greenhouse gas inventories: reference manual (Vol.3)**. 1996. Disponível em <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.htm>> Acesso em: 26 jun. 2005.

_____. **Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories**. s.d. Disponível em <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>> Acesso em: 26 jun. 2005.

KIRCHHOFF, V. W. J. H. **Camada de ozônio: a guerra continua**. Folha de São Paulo, São Paulo, 2 fev. 2000.

LAPPONI, J. C. **Avaliação de projetos de investimento**. São Paulo: Laponi, 1996.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: tratamento e biorremediação**. 3^a ed. São Paulo: Hemus Editora Ltda, 1995.

LOPES, I. V. **O mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL): guia de orientação**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002.

LORA, E. E. S.; TEIXEIRA, S. N. **Conservação de energia: eficiência energética de instalação de equipamento**. Itajubá, MG: FUPAI, 2001.

MIGUEL, K. G. **Proinfa incentiva fontes alternativas de energia**. Disponível em <<http://www.conciencia.br>> . Acesso em: 27 dez. 2005.

MELDONIAN, N. **Alguns aspectos do lixo urbano no estado de São Paulo e considerações sobre a reciclagem do alumínio e do papel**. 1998. 196p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - MCT. (Trad.) **Protocolo de Quioto**. Brasília:1998.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Balanço energético nacional 2003**. Disponível em <<http://www.agg.ufba.br>> . Acesso em: 27 dez. 2004.

_____. **Balço energético nacional. 2004.** Disponível em:
<<http://www.mme.gov.br/site/menu>>. Acesso em: 20 jun 2005.

_____. **Valor econômico da tecnologia específica da fonte (VETEF).** In: PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. (1ª etapa). Disponível em:
<<http://www.bancor.com.br/Legisla%E7%E3o/Proinfa-ConsultaPublica.pdf>> . Acesso em:
out 2005.

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

MOREIRA, A. R. B.; DAVID, P. A. M-S.; ROCHA, K. **Regulação do preço da energia elétrica e viabilidade do investimento em geração no Brasil.** Rio de Janeiro: IPEA, ago 2003.

MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais.** São Paulo: Atlas, 2002.

MOURA, L. A. A. **Economia ambiental: gestão de custos e investimentos.** São Paulo: Ed. Juarez de Oliveira Ltda., 2000.

PHILIPPI Jr. *et al.* **Curso de gestão ambiental.** Barueri: Manole, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU).** Relatórios internos do departamento. Porto Alegre, 2005.

REIS, M. F. P. *et al.* **Caracterização dos resíduos sólidos domiciliares do município de Porto Alegre/RS** in: Anais do Congresso de Agroecologia, 1, 2003 , Porto Alegre.

ROSS, S. A. *et al.* **Administração financeira.** Trad. de A. Z. Sanvincente. São Paulo: Atlas, 1995.

SERPA, A. C. A. E LIMA, L. M. Q. **Processo de metanização de resíduos orgânicos.** Cap. III, Projeto Phoenix – Pesquisa de resíduos sólidos em Campinas, Prefeitura Municipal de Campinas, SP, 1984.

SILVA, E. P.; CAVALIERO, C.K.N. **Perspectivas para as fontes renováveis de energia no Brasil.** Disponível em <<http://www.universiabrasil.net>> Acesso em: 15 dez. 2004.

SOUZA, A. e CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações**. São Paulo: Atlas, 1995.

TECSYS ENGENHARIA. **Sisreg: Sistema de regressão**. Belo Horizonte: TECSYS engenharia, 1998.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H. & VINIL, S. **Integrated solid waste management. Engineering principles and management issues**. Irwin MacGraw-Hill. 1993.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Air emissions from municipal solid waste landfills – background information for proposed standards and guidelines**. Emission Standards Division. 1991.

_____. **Recommended changes to the proposed municipal solid waste landfill new source performance standards and emissions guidelines**, presented at SWANA Landfill Gas Symposium. March, 1994.

_____. **Landfill gas emissions model**. Version 2.0. Washington, February, 1998.

_____. **Sources and emissions**. 2004. Disponível em: <<http://www.epa.gov/methane/sources.html>>. Acesso em: 27 de jun 2005.

VICHI, F. M.; MELLO, L. F. **A questão energética no Brasil**. In: HINRICHS, R.A., KLEINBACH M. K. Energia e Meio Ambiente. 3^a ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

ZULAUF, M. **Geração com biogás de aterros de lixo**. In: Dossiê: Energia Positiva para o Brasil 2004. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org.br>>. Acesso em: 12 dez. 2004.

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabelas referentes aos Dados de Entrada do Procedimento

APÊNDICE B – Tabela referente ao fluxo de caixa do cenário I

APÊNDICE C – Tabela referente ao fluxo de caixa do cenário II

APÊNDICE D – Tabela referente ao fluxo de caixa do cenário III

APÊNDICE E – Tabela referente ao fluxo de caixa do cenário IV

APÊNDICE F – Tabela referente ao fluxo de caixa do cenário V

APÊNDICE G – Tabela referente ao fluxo de caixa do cenário VI

APÊNDICE H – Tabela referente ao fluxo de caixa do cenário VII

APÊNDICE I – Tabela referente ao fluxo de caixa do cenário VIII

APÊNDICE A**TABELAS REFERENTES AOS DADOS DE ENTRADA DO PROCEDIMENTO**

Tabela A.1 – Cotação do dólar e financiamento

Cotação R\$/ US \$	2,28
Tabela de Financiamento SAC	
Investimento	4.008.481,74
Juros a. a.	8,00%
Tempo financiamento anos	10

Tabela A.2 – Investimento, depreciação e valor residual

Investimento do Empreendimento	US \$
Captação do biogás	2.004.240,87
Usina de Geração de Energia Elétrica	2.004.240,87
Depreciação anos	10
Valor Residual do equipamento	400.848,17

Tabela A.3 – Geração de energia elétrica

Geração de Energia Elétrica	
Capacidade Bruta da Usina (MW)	2
Capacidade de rede da Usina (MW)	1,86
Fator de capacidade da usina	0,9
Produção de energia anual (MWh/ano)	26784
Venda de energia Fora do aterro (MWh/ano)	26784

Tabela A.4 – Valores de venda de créditos de carbono, redução de base e fator de ajuste de segurança

Créditos de Carbono	
Redução de Base %	13,5
Taxa de venda de CER (\$/toneladas de CO ₂ eq) Valor Máximo	6
Taxa de venda de CER (\$/toneladas de CO ₂ eq)	5
Taxa de venda de CER (\$/toneladas de CO ₂ eq) Valor Mínimo	4
Fator de ajuste de segurança %	10
% metano no biogás	50

Tabela A.5 – Valores de venda de energia elétrica

Venda de Energia Elétrica	US \$	R\$
Preço de comprar evitado (\$/KWh)		
Taxa de vendas do local em US \$/ KW/h Valor máximo	0,0746	0,17
Taxa de vendas do local em US \$/ KW/h Valor médio	0,0592	0,14
Taxa de vendas do local em US \$/ KW/h Valor mínimo	0,0439	0,1
Correção do preço da energia (%)		3

Tabela A.6 – Custos de manutenção e operação

Compra do Biogás e custos de Manutenção e Operação	
Taxa de compra do biogás (\$/MMBTU)	0,35
Correção do preço do combustível (%)	3
Custo de operação e manutenção da usina (US \$/KWh)	0,018
Custo de registro, monitoramento e verificação em 2006	25000
Custo em 2006 de operação e manutenção do sistema de coleta e controle do gás	100000
Correção de operação e manutenção dos sistemas de coleta de gás e geração	3

Tabela A.7 – Tributos

Tributos	
PIS	1,65
COFINS	3
CPMF	0,38
ICMS	0
IMPOSTO DE RENDA	15 %+10%
CSSL	9
Imposto sobre Importação	14

APÊNDICE B**TABELA REFERENTA AO FLUXO DE CAIXA DO CENÁRIO I**

APÊNDICE C**TABELA REFERENTE AO FLUXO DE CAIXA DO CENÁRIO II**

APÊNDICE D**TABELA REFERENTE AO FLUXO DE CAIXA DO CENÁRIO III**

APÊNDICE E**TABELA REFERENTE AO FLUXO DE CAIXA DO CENÁRIO IV**

APÊNDICE F**TABELA REFERENTE AO FLUXO DE CAIXA DO CENÁRIO V**

APÊNDICE G**TABELA REFERENTE AO FLUXO DE CAIXA DO CENÁRIO VI**

APÊNDICE H**TABELA REFERENTE AO FLUXO DE CAIXA DO CENÁRIO VII**

APÊNDICE I**TABELA REFERENTE AO FLUXO DE CAIXA DO CENÁRIO VIII**

Tabela I.1 – Fluxo de caixa cenário VIII

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Valor de Venda da Energia	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Venda de Créditos de Carbono	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86
Capacidade Bruta da Usina (MW)	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Capacidade de Rede da Usina (MW)	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fator de Capacidade da Usina	26,784,00	26,784,00	26,784,00	26,784,00	26,784,00	26,784,00	26,784,00	26,784,00	26,784,00	26,784,00	26,784,00
Taxa de Venda de Energia fora do Aterro (\$/kWh)	1,174,736,84	1,209,978,95	1,246,278,32	1,283,696,67	1,322,176,67	1,361,841,97	1,402,697,22	1,444,778,14	1,488,121,49	1,532,765,13	1,578,748,08
Venda de Energia fora do Aterro (MM\$/ano)	1,371	1,304	1,241	1,180	1,123	1,068	1,016	966	919	874	832
Recitas de Energia fora do Aterro	185,13	176,10	167,51	159,34	151,57	144,18	137,14	130,46	124,09	118,04	112,28
Taxa de Recuperação do Biogás (m³/3h)	3,347,96	3,184,67	3,029,36	2,881,61	2,741,07	2,607,39	2,480,23	2,359,26	2,244,20	2,134,75	2,030,64
Redução de Base (m³/3h)	70,307,06	66,878,14	63,616,46	60,513,85	57,562,55	54,755,19	52,084,75	49,544,55	47,128,23	44,829,76	42,643,39
Redução de Emissões de Metano (toneladas/ano)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CERs das Reduções de Metano (ton. CO2eq/ano)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Taxa de Venda de CER (\$/tonelada CO2eq)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recita de CER das Reduções de Metano (\$/ano)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RECEITA TOTAL	1,174,736,84	1,209,978,95	1,246,278,32	1,283,696,67	1,322,176,67	1,361,841,97	1,402,697,22	1,444,778,14	1,488,121,49	1,532,765,13	1,578,748,08
Biogás Recuperado (MMBtu/ano)	214,894,93	204,414,38	194,444,98	184,961,78	175,941,09	167,360,34	159,198,08	151,433,90	144,048,38	137,023,06	130,340,37
Contribuição Equitativa para o Custo Capital	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Preço de Compra de Biogás (\$/MMBtu)	75,213,23	73,691,39	70,097,41	66,678,72	63,428,76	60,333,40	57,390,91	54,591,92	51,929,44	49,396,81	46,987,70
Custo Anual para a Compra de Biogás (\$)	0,018	0,019	0,019	0,020	0,020	0,021	0,021	0,022	0,023	0,023	0,024
Taxa de O&M para a Usina de Energia (\$/kWhr)	482,112,00	496,575,36	511,472,62	526,816,80	542,621,30	558,899,94	575,666,94	592,936,95	610,725,06	629,046,81	647,918,21
Custo Anual de O&M para a Usina de Energia	100,000,00	51,500,00	53,045,00	54,636,35	56,275,44	57,963,70	59,702,61	61,493,69	63,338,50	65,238,86	67,195,82
Custo de O&M Anual do Sistema de Coleta e de Controle de Gás e Custos de Ampliação	25,000,00	25,750,00	26,522,50	27,318,18	28,137,72	28,981,85	29,851,31	30,746,85	31,669,25	32,619,33	33,597,91
Registro, Monitorização e Verificação Anual	721,526,71	689,458,86	657,391,01	625,323,15	593,255,30	561,187,44	529,119,59	497,051,74	464,983,88	432,916,03	400,848,17
Serviço de Débito Anual (Financiamento)	59,089,26	60,861,94	62,687,80	64,568,43	66,505,49	68,500,65	70,555,67	72,672,34	74,852,51	77,098,09	79,411,03
Tributos (PIS, Cofins, CPMF)	1,403,851,94	1,338,975,60	1,318,528,54	1,300,773,20	1,283,716,53	1,267,366,35	1,251,731,36	1,236,821,15	1,222,646,14	1,209,217,64	795,699,64
TOTAL DOS CUSTOS	(229,115,10)	(126,996,66)	(72,250,22)	(17,106,53)	38,460,14	94,475,62	150,965,86	207,956,99	265,475,35	323,547,49	382,048,44
Lucro Bruto	400,848,17	412,873,62	425,259,83	438,017,62	451,158,15	464,692,90	478,633,68	492,992,69	507,782,47	523,015,95	538,706,43
Depreciação (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lucro antes imposto de Renda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Imposto de renda (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CSLL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lucro Líquido após IR	400,848,17	412,873,62	425,259,83	438,017,62	451,158,15	464,692,90	478,633,68	492,992,69	507,782,47	523,015,95	538,706,43
Depreciação (+)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valor Residual	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluxo de Dinheiro	(4,008,481,74)	(229,115,10)	(72,250,22)	(17,106,53)	38,460,14	94,475,62	150,965,86	207,956,99	265,475,35	323,547,49	382,048,17
TIR	-7,01%										
VPL	(\$3,098,835,01)										

