



Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

LUCAS FERREIRA DE LIMA
LUIZ PAULO DOS SANTOS

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS, COM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE TAUBATÉ-SP.

Taubaté
2017

**LUCAS FERREIRA DE LIMA
LUIZ PAULO DOS SANTOS**

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS, COM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE TAUBATÉ-SP.**

Trabalho de Graduação apresentado ao Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Energia Elétrica, da Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Seide da Cunha Filho

Taubaté
2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

L732g Lima, Lucas Ferreira de
Geração de energia elétrica através de resíduos sólidos urbanos: com estudo de caso na cidade de Taubaté. / Lucas Ferreira de Lima, Luiz Paulo dos Santos. - 2017.

65f: il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2017
Orientador: Prof. Me. Seide da Cunha Filho,
Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica.

1. Aterro sanitário. 2. Geração de energia elétrica. 3. Meio ambiente. I. Título.



Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS, COM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE TAUBATÉ-SP.**

**LUCAS FERREIRA DE LIMA
LUIZ PAULO DOS SANTOS**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. _____
Orientador/UNITAU-DEE

Prof. _____
UNITAU-DEE

Eng. _____
UNITAU-DEE

Novembro de 2017

de modo especial, as nossas famílias, que com os seus incentivos, foram a força necessária para que nós conseguíssemos nossa almejada graduação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, o que seria de nós sem a fé que temos nele.

Ao orientador Seide da Cunha Filho pela atenção e colaboração dada na dissertação, assim como todos os professores e funcionários da Universidade que de alguma maneira nos ajudaram durante toda a graduação.

Agradeço aos meus colegas de graduação, os quais colaboraram para o nosso desenvolvimento profissional e pessoal durante os cinco anos de convivência.

Agradecemos as nossas mães Maria Hilda e Jurema dos Santos, pela confiança, incentivo e amor que depositaram em nós durante toda nossa vida.

Aos amigos de toda vida que nos mostraram o valor de uma grande amizade.

E por fim, a todos que acreditaram em nós nessa etapa de nossas vidas.

“Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém há os que lutam toda a vida
e estes são imprescindíveis”

Bertolt Brecht.

LIMA, L. F. e SANTOS, L. P. **Geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos, com estudo de caso na cidade de Taubaté-SP** 2017. 65 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Taubaté, Taubaté, 2017.

RESUMO

Neste trabalho aborda as principais etapas do processo de geração de energia elétrica através de resíduos sólidos urbanos. Cita um histórico dos resíduos mundial e brasileiro, identificando suas classes através da norma NBR 10.004 e mostrando o problema do grande volume de resíduos gerado no mundo atualmente, os métodos tradicionais de destinação final desses resíduos que são, muitas vezes, inadequados ou não aceitáveis do ponto de vista econômico e ambiental, as principais mudanças da sociedade a respeito do descarte inadequado dos resíduos com transcorrer dos anos e a mudança que teve quando foi sancionada e instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Desta forma, tornou-se necessário à busca de tecnologias seguras ao meio ambiente visto que o lixão e o aterro controlado não são alternativas seguras, visto que a tendência é aumentar o nível de exigência quanto ao destino final dos resíduos. Uma das alternativas do tratamento para esses resíduos são os aterros sanitários, onde é uma técnica mais econômica e segura para a saúde da população. Após dispostos em aterros sanitários ocorre a decomposição dos resíduos sólidos, gerando assim o Biogás, que por sua vez será utilizado na geração de energia elétrica.

O trabalho também aborda o estudo de caso no aterro sanitário de Tremembé, no qual comprova que aplicar a tecnologia de geração de energia elétrica em aterro é visivelmente rentável no ponto de vista econômico e social.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário. Geração de energia elétrica. Meio ambiente.

LIMA, L. F. e SANTOS, L. P. **Generation of electric energy from urban solid waste, with case study in the city of Taubaté-SP.** 2017. 65 f. Graduate Work in Electrical Engineering - Department of Electrical Engineering, Taubaté University, Taubaté, 2017.

ABSTRACT

In this work, the main steps of the electric power generation process through urban solid waste are discussed. It cites a history of the world and Brazilian waste, identifying their classes through the norm NBR 10.004 and showing the problem of the large volume of waste generated in the world today, the traditional methods of final disposal of these wastes that are often inadequate or unacceptable economic and environmental point of view, the main changes in society regarding the inadequate disposal of waste over the years and the change that took place when the National Solid Waste Policy was sanctioned and instituted.

In this way, it has become necessary to search for environmentally safe technologies since dumping ground and controlled landfill are not safe alternatives, since the tendency is to increase the level of demand as to their final destination. One of the treatment alternatives for these wastes is landfills, where it is a more economical and safe technique for the health of the population. After being disposed of in landfills, the solid waste is decomposed, thus generating Biogas, which in turn will be used to generate electricity.

The work also deals with the case study in the Tremembé-SP landfill, which proves that applying the technology of electric power generation in landfills is visibly economically and socially profitable.

KEYWORDS: Landfill. Generation of electric energy. Environment.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Esquema de um lixão | 27 |
| Figura 2 – Vista geral de um lixão..... | 27 |
| Figura 3 – Esquema de um Aterro Controlado | 29 |
| Figura 4 – Vista geral de um Aterro controlado | 29 |
| Figura 5 – Esquema de um Aterro Sanitário | 31 |
| Figura 6 – Vista geral de um Aterro sanitário..... | 32 |
| Figura 7 – Dreno e tanque de chorume | 32 |
| Figura 8 – Duração das fases variando com o tempo | 35 |
| Figura 9 – Relação poder calorífico do biogás e porcentagem de metano em volume | 38 |
| Figura 10 – Etapas de construção de aterro sanitário | 45 |
| Figura 11 – Sistema de captação de biogás, tubulações e poços..... | 46 |
| Figura 12 – Compressor..... | 47 |
| Figura 13 – Trocador de calor | 47 |
| Figura 14 – Flare - queimadores..... | 48 |
| Figura 15 – Filtro..... | 49 |
| Figura 16 – Números Estre..... | 51 |
| Figura 17 – Linha do tempo - Estre..... | 51 |
| Figura 18 – Vista aérea do aterro sanitário de Tremembé | 52 |
| Figura 19 – Vista das células do aterro sanitário de Tremembé | 52 |
| Figura 20 – Modelo teórico para o cálculo da produção de biogás..... | 53 |
| Figura 21 – Expectativa de produção de biogás no aterro Resicontrol através do software LandGEM | 57 |
| Figura 22 – Contêiner com motor gerador instalado de 1,407 MW | 59 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Propriedades físico-químicas do metano, dióxido de carbono e gás sulfídrico..... | 38 |
| Tabela 2 – Equivalência de 1 Nm ³ de biogás em relação a outros combustíveis | 39 |
| Tabela 3 – Deposição de resíduos..... | 55 |
| Tabela 4 – Características técnicas dos motogeradores..... | 58 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------------|--|
| NBR | Normas Brasileiras |
| PNRS | Política Nacional dos Resíduos Sólidos |
| DLU | Diretoria de Limpeza Urbana |
| Comlurb | Companhia de Limpeza Urbana |
| PET | Polietileno Tereftalado |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PVC | Policloreto de Vinilo |
| PEAD | Polietileno da Alta Densidade |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| GLP | Gás Liquefeito de Petróleo |
| RSU | Resíduos Sólidos Urbanos |
| GEE | Gases de Efeito Estufa |
| MDL | Mecanismo de Desenvolvimento Limpo |
| COP | Conferência do Clima |
| RCE | Redução Certificada de Emissão |
| CER | Certificado de Emissões Reduzidas |
| BM&F Bovespa | Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros |
| CGR | Centro de Gestão de Resíduos |
| LandGEM | Landfill Gas Emissions Model |
| EPA | Environmental Protection Agency |
| COD | Carbono Orgânico Degradável |
| CATC | Control Air Technology Center |
| NRMRL | National Risk Management Research Laboratory |
| EDP | Eletricidade de Portugal |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|------------------|---|
| CH ₄ | metano |
| CO ₂ | dióxido de carbono |
| H ₂ | hidrogênio |
| H ₂ S | sulfídrico |
| O ₂ | oxigênio |
| NH ₃ | amoníaco |
| N ₂ | nitrogênio |
| SO ₄ | sulfato |
| S | enxofre |
| Q _{ch4} | produção anual de metano no ano de cálculo |
| i | incremento |
| n | ano de cálculo |
| j | parte do incremento |
| k | taxa de produção de metano |
| Lo | capacidade potencial de produção de metano |
| M _i | massa de resíduos aceite no ano |
| T _{ij} | idade da secção j da massa de resíduos M _i aceite no ano |
| ton | toneladas |
| CH ₄ | metano |
| CO ₂ | dióxido de carbono |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | HISTÓRICO DO LIXO | 15 |
| 1.2 | O LIXO NO BRASIL | 16 |
| 2 | OBJETIVOS | 18 |
| 3 | RESÍDUOS SÓLIDOS | 18 |
| 3.1 | TIPOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS..... | 19 |
| 3.1.1 | Resíduos Orgânicos | 19 |
| 3.1.2 | Resíduos Inorgânicos | 20 |
| 3.1.3 | Classificação dos Resíduos Sólidos | 21 |
| 4 | POLÍTICA NACIONAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS | 22 |
| 4.1 | OBJETIVOS | 23 |
| 4.2 | INSTRUMENTOS E PRINCIPAIS DESTAQUES | 24 |
| 4.2.1 | Redução de resíduos e fim dos lixões | 24 |
| 4.2.2 | Responsabilidade compartilhada e logística reversa | 24 |
| 4.3 | PROBLEMAS NA EXECUÇÃO E POSSÍVEL PRORROGAÇÃO DO PRAZO..... | 25 |
| 5 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 25 |
| 5.1 | LIXÃO | 25 |
| 5.2 | ATERRO CONTROLADO | 28 |
| 5.3 | ATERRO SANITÁRIO | 30 |
| 5.3.1 | Como funciona um aterro sanitário | 31 |
| 5.4 | HISTÓRIA DO BIOGÁS | 33 |
| 5.5 | FORMAÇÃO DO BIOGÁS | 35 |
| 5.5.1 | Aspectos Físico-Químicos | 38 |
| 5.5.2 | Fatores que Afetam a Formação de Gás | 40 |

| | | |
|-----------------|---|-----------|
| 5.6 | CRÉDITO DE CARBONO | 43 |
| 5.6.1 | O Mercado de Carbono | 44 |
| 5.7 | ENERGIA ELÉTRICA GERADA ATRAVÉS DE ATERROS SANITÁRIOS..... | 45 |
| 6 | ESTUDO DE CASO | 50 |
| 6.1 | RESICONTROL SOLIÇÕES AMBIENTAIS S/A – UNIDADE DE TREMEMBÉ | 50 |
| 6.1.1 | Estre - Histórico | 50 |
| 6.1.2 | Organização | 51 |
| 6.2 | CÁLCULO DA GERAÇÃO DE BIOGÁS | 53 |
| 6.2.1 | Modelo teórico..... | 53 |
| 6.2.2 | Produção de Biogás no CGR TREMEMBÉ..... | 55 |
| 6.2.2.1 | Produção estimada do biogás..... | 56 |
| 6.2.2.2 | Geração de energia elétrica..... | 57 |
| 6.3 | CÁLCULO DA VIABILIDADE ECONÔMICA..... | 59 |
| 7 | CONCLUSÃO | 61 |
| 8 | BIBLIOGRAFIA | 62 |
| Anexo I | Fluxograma do Processo da RESICONTROL..... | 65 |
| Anexo II | Identificação e localização da RESICONTROL | 66 |

1. INTRODUÇÃO

Toda atividade humana gera resíduos de consistência sólida, líquida ou gasosa. A disposição destes resíduos na natureza, de forma inadequada e em concentrações superiores à capacidade de assimilação do ambiente que os recebe, passou a ser denominada “poluição” (Carvalho, 2003). Com o crescimento nesse século das comunidades urbanas e principalmente da atividade industrial, os efeitos da poluição passaram a serem logo sentidos, notadamente nos países mais industrializados. Um grande volume de resíduos industriais é gerado no mundo atualmente, os métodos tradicionais de destinação final desses resíduos são, muitas vezes, inadequados ou não aceitáveis do ponto de vista econômico e ambiental. Em função do exposto, tornou-se necessário à busca de tecnologias seguras ao meio ambiente e para destinação final de resíduos, visto que a tendência é aumentar o nível de exigência quanto ao destino final dos mesmos.

Uma das alternativas do tratamento para esses resíduos são os aterros sanitários, onde é uma técnica mais econômica e segura para a saúde da população. Nele, são utilizados métodos de engenharia para armazenar os dejetos na menor área possível, o solo é impermeabilizado evitando assim a contaminação e os resíduos são condensados para obter um menor volume, sendo cobertos frequentemente com camadas de terra.

Após dispostos em aterros sanitários ocorre a decomposição dos resíduos sólidos, ocorrendo por meio de dois processos. O primeiro, aeróbio, acontece no período de decomposição do lixo no solo, ocorrendo à redução de oxigênio e assim formando a fase anaeróbia, onde a ação dos microrganismos transforma a matéria orgânica no gás Metano (CH_4), sendo este denominado como Biogás. Vale ressaltar, que em aterros sanitários devido às condições propícias como a temperatura e ausência de ar, auxilia ao desenvolvimento destas bactérias, causas do surgimento do biogás.

O biogás é composto por grande parcela de gás metano, que quando lançado na atmosfera apresenta potencial de poluição 21 vezes superior ao dióxido de carbono (CO_2) no que se refere ao efeito estufa, sendo que sua utilização na geração de energia leva a uma redução no potencial de poluição ambiental. A intensificação do efeito estufa é um dos mais graves problemas enfrentados pela humanidade na atualidade, sendo provocado pela alta concentração atmosférica de gases como o dióxido de carbono e o metano.

A queima do metano gera menos poluentes atmosféricos por unidade de energia gerada, por isso é caracterizado como um combustível limpo e o seu uso em equipamentos, veículos, aplicações industriais e geração de energia tende a aumentar.

Para que seja possível a coleta do biogás produzido pelo aterro, é necessário que seja constituído por etapas e medidas para a retirada do produto, sendo esta realizada por três fases: a preparação, a execução e a conclusão. Enquanto que o chorume é captado e transportado para as estações de tratamento de efluente, o biogás é extraído, sendo usado para fins energéticos.

As reduções de emissões, principalmente de gás metano, atingidas com o projeto de tratamento de efluentes orgânicos e posterior queima do gás para geração de energia elétrica podem ser comercializadas como créditos de carbono. A comercialização destes créditos pode ser utilizada para pagamento parcial do investimento inicial da instalação da usina termelétrica, garantindo assim um abatimento do investimento mais rápido e um retorno em menor tempo.

O estudo efetuado neste trabalho dirige-se as vantagens e ganhos de inserir o método de geração de energia elétrica aplicando biogás como combustível.

1.1 HISTÓRICO DO LIXO

No início dos tempos, os primeiros homens eram nômades. Moravam em cavernas, sobreviviam da caça e pesca, vestiam-se de peles e formavam uma população minoritária sobre a terra. Quando a comida começava a ficar escassa, eles se mudavam para outra região e os seus "lixos", deixados sobre o meio ambiente, eram logo decompostos pela ação do tempo.

À medida que foi "civilizando-se" o homem passou a produzir peças para promover seu conforto: vasilhames de cerâmica, instrumentos para o plantio, roupas mais apropriadas. Começou também a desenvolver hábitos como construção de moradias, criação de animais, cultivo de alimentos, além de se fixar de forma permanente em um local. A produção de lixo conseqüentemente foi aumentando, mas ainda não havia se constituído em um problema mundial.

Naturalmente, esse desenvolvimento foi se acentuando com o passar dos anos. A população humana foi aumentando e, com o advento da revolução industrial - que possibilitou um salto na produção em série de bens de consumo - a problemática da geração e descarte de lixo teve um grande impulso. Porém, esse fato não causou nenhuma preocupação maior: o que estava em alta era o desenvolvimento e não suas conseqüências.

Entretanto, a partir da segunda metade do século XX iniciou-se uma reviravolta. A humanidade passou a preocupar-se com o planeta onde vive. Mas não foi por acaso: fatos como o buraco na camada de ozônio e o aquecimento global da Terra despertaram a população mundial sobre o que estava acontecendo com o meio ambiente. Nesse "despertar",

a questão da geração e destinação final do lixo foi percebida, mas, infelizmente, até hoje não vem sendo encarada com a urgência necessária.

"O lado trágico dessa história é que o lixo é um indicador curioso de desenvolvimento de uma nação. Quanto mais pujante for à economia, mais sujeira o país irá produzir. É o sinal de que o país está crescendo, de que as pessoas estão consumindo mais. O problema está ganhando uma dimensão perigosa por causa da mudança no perfil do lixo. Na metade do século, a composição do lixo era predominantemente de matéria orgânica, de restos de comida. Com o avanço da tecnologia, materiais como plásticos, isopores, pilhas, baterias de celular e lâmpadas são presença cada vez mais constante na coleta. Há cinquenta anos, os bebês utilizavam fraldas de pano, que não eram jogadas fora. Tomavam sopa feita em casa e bebiam leite mantido em garrafas reutilizáveis. Hoje, os bebês usam fralda descartáveis, tomam sopa em potinhos que são jogados fora e bebem leite embalado em tetrapak. Ao final de uma semana de vida, o lixo que eles produzem equivale, em volume, a quatro vezes o seu tamanho. Um dos maiores problemas do lixo é que grande parte das pessoas pensa que basta jogar o lixo na lata e o problema da sujeira vai estar resolvido. Nada disso. O problema só começa aí". (Revista Veja, 17 mar 1999)

1.2 O LIXO NO BRASIL

Um fator marcante na limpeza urbana do Rio de Janeiro foi à implantação de um sistema de esgoto na cidade, em 1864, através de uma companhia inglesa – a The Rio de Janeiro City Improvements Company Limited –, pelo menos em parte da cidade. Isto possibilitou uma especialização na limpeza urbana, voltada propriamente para o lixo.

A efetivação dos serviços de limpeza através ora da contratação de firmas particulares, ora com a organização de serviços públicos, esbarrava em inúmeros entraves técnicos, administrativos, financeiros e de costumes da população. Em 11/10/1876 contratou-se a firma de Aleixo Gary, que foi um marco importante para a limpeza urbana do Rio de Janeiro. Daí a designação até hoje de “gari” para alguns empregados da limpeza urbana.

Novidades foram introduzidas, como o uso de canos especiais para coleta de lixo e irrigação das ruas, e até mesmo a instalação de quiosques urinários e latrinas. Mas os problemas perduraram, já que muitos serviços foram compartilhados com outras firmas. A empresa de Gary fica até 1891. Depois dela, os serviços de limpeza ficaram a cargo da Inspetoria de Limpeza Pública, que iniciou em 1895 a construção de um forno para queima de lixo em Manguinhos. A experiência fracassou. Em 1907 foi retomado o tema da incineração, uma constante até a década de 60.

Os serviços têm altos e baixos, e as empresas particulares retornam em 1898. Novas dificuldades acabam por levar, em 1901, à criação da Superintendência de Limpeza Urbana, que estará plenamente organizada em 1904. Mas os serviços continuavam precários. Posteriormente, em 1940, foi criada a Diretoria de Limpeza Urbana (DLU), e, em 1975, a Companhia de Limpeza Urbana (Comlurb). Quanto ao destino do lixo do Rio de Janeiro, a Ilha de Sapucaia foi utilizada de 1865 até por volta de 1949. A partir de então, o lixo passa a ser levado para o aterro do Retiro Saudoso (Caju), do Amorim e de Cavalcanti (Marechal Hermes). Só no final da década de 70 a cidade passou a ter um aterro adequado (não sanitário) no município de Caxias, até hoje em operação. Este aterro está localizado em um manguezal, pois em 1970 não se tinha ainda atentado, na esfera pública, para a importância da preservação dessas áreas. Atualmente a cidade dispõe de uma área auxiliar de destinação final, em Bangu, considerada um aterro sanitário. Há dificuldades para se definir um novo aterro sanitário para a cidade, tendo-se em vista o fim da vida útil de Gramacho. No Brasil, assim como no Rio de Janeiro, procurou-se introduzir, ao longo do século XX, novidades técnicas no tratamento de lixo. Inicialmente se buscou a alternativa da incineração e, posteriormente, das usinas de triagem e compostagem. Estas procuram aproveitar a parte orgânica para compostagem, e outra para reciclagem. Entretanto, após serem misturadas na fonte e no processo de coleta, fica difícil obter-se materiais de boa qualidade. Além disso, é grande a quantidade do refugo.

Na década de 1970 foi implantada a Usina de Irajá, e, em 1992, a do Caju. Disseminadas pelo país, essas usinas não constituíram experiências bem sucedidas como em outros países. Outra opção é a incineração, que, porém, é cara, e da qual restam ainda 10% de cinzas. Nenhuma técnica de tratamento pode prescindir, em última instância, de um aterro sanitário.

A questão da destinação final continua precária em quase todo o país. Cerca de 50% do lixo gerado vai ainda para os vazadouros. A coleta seletiva foi implantada no Brasil a partir de 1985, inicialmente no bairro de São Francisco, Niterói. Foi uma iniciativa do Centro Comunitário de São Francisco (associação de moradores) e da Universidade Federal Fluminense. Em 1988, Curitiba se torna a primeira cidade a ter o sistema. Hoje, mais de 200 cidades têm a coleta seletiva implantada. Esta forma de coleta pressupõe a separação na fonte dos materiais que se deseja tratar.

Contudo, entre nós esta prática tem enfatizado mais a separação prévia de materiais destinados à reciclagem industrial (na tradição dos catadores), e menos a compostagem da fração orgânica do lixo. Felizmente, aos poucos, algumas cidades brasileiras vão entendendo

que um sistema adequado de limpeza urbana precisa dispor de um bom sistema de coleta de lixo, varrição adequada das ruas, separação prévia de materiais para compostagem, reciclagem e, finalmente, o aterro sanitário. A incineração (com geração de energia) é uma boa alternativa de tratamento em que se pode arcar com os custos. Porém, uma de nossas maiores dificuldades reside no fato de que o cidadão brasileiro não está acostumado a pagar por esses serviços, diferentemente do que ocorre em outros países. Tentativas feitas de cobrança de taxas e tarifas específicas pelos serviços provocaram forte reação da população e da mídia. Nem mesmo a padronização dos vasilhames, básica para a cobrança de taxas, foi conseguida. E sem um financiamento adequado, as cidades continuarão, certamente, com entraves em sua gestão da limpeza urbana.

2. OBJETIVOS

Realizar um estudo do Biogás gerado nos aterros sanitários e analisar sua viabilidade técnica, econômica e ambiental para geração de energia elétrica.

3. RESÍDUOS SÓLIDOS

A preocupação com os resíduos vem sendo discutida há algumas décadas nas esferas nacional e internacional, devido à expansão da consciência coletiva com relação ao meio ambiente. Assim, a complexidade das atuais demandas ambientais, sociais e econômicas induz a um novo posicionamento dos três níveis de governo, da sociedade civil e da iniciativa privada.

A aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, após vinte e um anos de discussões no Congresso Nacional, marcou o início de uma forte articulação institucional envolvendo os três entes federados – União, Estados e Municípios, o setor produtivo e a sociedade em geral - na busca de soluções para os problemas na gestão resíduos sólidos que comprometem a qualidade de vida dos brasileiros. A aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos qualificou e deu novos rumos à discussão sobre o tema. A partir de agosto de 2010, baseado no conceito de responsabilidade compartilhada, a sociedade como um todo – cidadãos, governos, setor privado e sociedade civil organizada – passou a ser responsável pela gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. Agora o cidadão é responsável não só pela disposição correta dos resíduos que gera, mas também é importante que repense e reveja o seu papel como consumidor; o setor privado, por sua vez, fica responsável pelo gerenciamento ambientalmente correto dos resíduos sólidos, pela sua reincorporação na cadeia produtiva e pelas inovações nos produtos que trazem benefícios

socioambientais, sempre que possível; os governos federal, estaduais e municipais são responsáveis pela elaboração e implementação dos planos de gestão de resíduos sólidos, assim como dos demais instrumentos previstos na PNRS. A busca por soluções na área de resíduos reflete a demanda da sociedade que pressiona por mudanças motivadas pelos elevados custos socioeconômicos e ambientais. Se manejados adequadamente, os resíduos sólidos adquirem valor comercial e podem ser utilizados em forma de novas matérias-primas ou novos insumos. A implantação de um Plano de Gestão trará reflexos positivos no âmbito social, ambiental e econômico, pois não só tende a diminuir o consumo dos recursos naturais, como proporciona a abertura de novos mercados, gera trabalho, emprego e renda, conduz à inclusão social e diminui os impactos ambientais provocados pela disposição inadequada dos resíduos.

3.1 TIPOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

3.1.1 Resíduos Orgânicos.

Os resíduos orgânicos são constituídos basicamente por restos de animais ou vegetais descartados de atividades humanas. Podem ter diversas origens, como doméstica ou urbana (restos de alimentos e podas), agrícola ou industrial (resíduos de agroindústria alimentícia, indústria madeireira, frigoríficos...), de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgotos), entre outras. São materiais que, em ambientes naturais equilibrados, se degradam espontaneamente e reciclam os nutrientes nos processos da natureza. Mas quando derivados de atividades humanas, especialmente em ambientes urbanos, podem se constituir em um sério problema ambiental, pelo grande volume gerado e pelos locais inadequados em que são armazenados ou dispostos. A disposição inadequada de resíduos orgânicos gera chorume, emissão de metano na atmosfera e favorece a proliferação de vetores de doenças. Assim, faz-se necessária a adoção de métodos adequados de gestão e tratamento destes grandes volumes de resíduos, para que a matéria orgânica presente seja estabilizada e possa cumprir seu papel natural de fertilizar os solos.

Segundo a caracterização nacional de resíduos publicada na versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos orgânicos correspondem a mais de 50% do total de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil. Somados aos resíduos orgânicos provenientes de atividades agrossilvopastoris e industriais, os dados do Plano Nacional de Resíduos

Sólidos indicam que há uma geração anual de 800 milhões de toneladas de resíduos orgânicos.

Quando separados na fonte (ou seja, quando os resíduos orgânicos não são misturados com outros tipos de resíduos) a reciclagem dos resíduos orgânicos e sua transformação em adubo ou fertilizante orgânico pode ser feita em várias escalas e modelos tecnológicos. Pequenas quantidades de resíduos orgânicos podem ser tratadas de forma doméstica ou comunitária, enquanto grandes quantidades podem ser tratadas em plantas industriais. Os processos mais comuns de reciclagem de resíduos orgânicos são a compostagem (degradação dos resíduos com presença de oxigênio) e a biodigestão (degradação dos resíduos com ausência de oxigênio).

Tanto a compostagem quanto a biodigestão buscam criar as condições ideais para que os diversos organismos decompositores presentes na natureza possam degradar e estabilizar os resíduos orgânicos em condições controladas e seguras para a saúde humana. A adoção destes tipos de tratamento resulta na produção de fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo, promovendo a reciclagem de nutrientes, a proteção do solo contra erosão e perda de nutrientes e diminuindo a necessidade de fertilizantes minerais (dependentes do processo de mineração, com todos os impactos ambientais e sociais inerentes a esta atividade, e cuja maior parte da matéria-prima é importada).

Apesar disso, atualmente, menos de 2% dos resíduos sólidos urbanos são destinados para compostagem. Aproveitar este enorme potencial de nutrientes para devolver fertilidade para os solos brasileiros está entre os maiores desafios para a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

3.1.2 Resíduos Inorgânicos.

É definido como lixo inorgânico todo material ou dejetos que não tem origem biológica e foi produzido por meios não naturais, ou seja: pela ação humana. Nesta categoria se enquadram materiais como papel, plástico, alumínio, vidro e metais ferrosos ou não ferrosos.

Todos os dias, as residências produzem uma grande quantidade de lixo inorgânico, composto por latas de alumínio, sacolas plásticas, garrafas PET, papelão, entre outros muitos materiais. Esses resíduos devem ser reunidos em sacolas plásticas e deixados para serem recolhidos pelo serviço de transporte e reciclagem do município.

Vale destacar que o correto descarte deste tipo de lixo é fundamental para evitar o acúmulo de lixo, o que atrai bactérias, fungos e outros animais que transmitem doenças, como ratos. Além disso, os elementos inorgânicos não são biodegradáveis, permanecendo na

natureza por várias dezenas de anos, contaminando animais e terras. Integram a este grupo de resíduos, aqueles materiais sanitários de descarte. Assim, todos os elementos empregados nos hospitais ou centros de saúde, tais como: algodões, ataduras, gazes, agulhas, entre os mais recorrentes, são considerados como lixo inorgânico. E então, como o resto destes resíduos deverá ser cuidadosamente retirado, em sacos fechados, separados do lixo orgânico, e se possível, com uma legenda de identificação pra evitar sua futura manipulação, e, portanto, sua disseminação indiscriminada, que em muitos casos resulta ser altamente perigosa pela contaminação e os riscos de saúde envolvidos. A característica essencial e o que a torna num tipo de lixo cuidadoso, é que o lixo inorgânico não se degrada a partir de meios naturais e leva muito mais tempo para degradar.

O resíduo inorgânico também pode ser classificado como resíduo tóxico ou perigoso: é o material descartado, geralmente na forma química, que pode causar a morte ou danos a seres vivos.

Normalmente são resíduos vindos da indústria ou comércio, porém também pode ter resíduos residenciais, da agricultura, militar, hospitais, fontes radioativas bem como lavanderias e tinturarias. Como muitos outros problemas de poluição, os resíduos tóxicos começam a ser um problema significativo durante a revolução industrial.

O termo Resíduo Tóxico é escrito também como "Lixo Tóxico" ou material de descarte que pode causar riscos a saúde ou ao meio ambiente em longo prazo com as toxinas que são liberadas no ar, água ou terra.

3.1.3 Classificação dos Resíduos Sólidos.

A norma da ABNT NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação foi revisada no ano de 2004 e citamos a seguir as principais alterações da mesma.

Esta Norma classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.

Cabe salientar que resíduos sólidos aqui considerados devem estar nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, agrícola, de serviços e de varrição, ficando incluídos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, esgotos, 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 esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviável em face à melhor tecnologia disponível.

As premissas estabelecidas para revisão foram à correção, complementação e a atualização da norma em vigor e a desvinculação do processo de classificação em relação apenas à disposição final dos resíduos sólidos.

Quanto à classificação (item 4.2 da Norma) os resíduos podem ser:

Resíduos classe I – Perigosos – aqueles que apresentam periculosidade, ou seja, oferecem risco à saúde pública e ao meio ambiente, ou uma das características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Os resíduos perigosos são gerados de muitas fontes, que vão desde processos industriais de produção, como nossas gráficas, as baterias e lâmpadas fluorescentes, incluindo líquidos, sólidos, gases e lodos.

Resíduos classe II – Não Perigosos – Esta classe foi dividida em duas subclasses:

Resíduos Classe II A – Não inertes – Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes. Podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Exemplo de resíduos: materiais orgânicos da indústria alimentícia, lamas de sistemas de tratamento de águas, limalha de ferro, poliuretano, fibras de vidro e etc.

Resíduos Classe II B – Inertes – Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Podem ser dispostos em aterros sanitários ou reciclados, pois não sofrem qualquer tipo de alteração em sua composição com o passar do tempo. Exemplo de resíduos: entulhos, sucata de ferro e aço.

4. POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é uma lei (Lei nº 12.305/10) que procura organizar a forma com que o país lida com o lixo e exigir dos setores públicos e privados transparência no gerenciamento de seus resíduos.

O constante aumento populacional nas cidades proporciona grande geração de resíduos sólidos urbanos. Esse crescimento não é acompanhado pelo descarte adequado de embalagens e dos próprios itens, que se degradam e acabam sendo descartado de forma incorreta, o que pode prejudicar o meio ambiente e a saúde humana com contaminação do solo, dos corpos d'águas, e disposição em áreas de preservação, por exemplo. Um grande potencial é desperdiçado, já que muitos objetos poderiam ser reciclados ou reaproveitados, poupando recursos naturais, financeiros e emissões de CO₂, que desequilibram o efeito estufa.

A PNRS foi um marco no setor por tratar de todos os resíduos sólidos (materiais que podem ser reciclados ou reaproveitados), sejam eles domésticos, industriais, eletroeletrônicos, entre outros, e também por tratar a respeito de rejeitos (itens que não podem ser reaproveitados), incentivando o descarte correto de forma compartilhada ao integrar poder público, iniciativa privada e cidadão.

Em 2010, a lei nº 12.305 foi sancionada e a PNRS foi instituída, regulamentada pelo decreto 7.404/10.

4.1 OBJETIVOS

Existem 15 objetivos na PNRS:

1. Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
2. Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
3. Estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
4. Adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
5. Redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
6. Incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
7. Gestão integrada de resíduos sólidos;
8. Articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;
9. Capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;
10. Regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços

prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007;

11. Prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para: a) produtos reciclados e recicláveis; b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;
12. Integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
13. Estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;
14. Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;
15. Estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

4.2 INSTRUMENTOS E PRINCIPAIS DESTAQUES

E como todos eles podem ser cumpridos? Há instrumentos que a PNRS prevê, como incentivo à coleta seletiva e à reciclagem, práticas de educação sanitária e ambiental, incentivos fiscais e à logística reversa. Dentre tudo o que foi aprovado, dois pontos recebem grande destaque:

4.2.1 Redução de resíduos e fim dos lixões

A lei propõe a redução dos resíduos gerados, de modo a incentivar reciclagem e reaproveitamento, como veremos no ponto seguinte.

Já os rejeitos devem ser destinados a locais adequados para minimizar os danos ambientais e à saúde humana. Isso se efetivaria com uma das metas, que é a "eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis". Assim, os rejeitos não seriam dispostos a céu aberto, e sim levados a locais próprios que poderiam reaproveitá-los para produção de biogás, por exemplo.

4.2.2 Responsabilidade compartilhada e logística reversa

Antes da lei, quando um consumidor descartava um produto em um local inadequado, ninguém sabia de quem era a culpa. Com a PNRS, essa responsabilidade é dividida entre os diversos participantes da cadeia, já que é determinada a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. A análise do ciclo de vida de um item compreende todo o processo

do produto, desde a extração da matéria-prima, produção, consumo e descarte final. A responsabilidade sobre o produto que cabe a comerciantes, fabricantes, importadores, distribuidores, cidadãos e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na logística reversa.

Um dos mecanismos dessa responsabilidade conjunta cabe principalmente ao setor privado, que deve viabilizar a logística reversa, especialmente de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes e produtos eletroeletrônicos. Apesar da ênfase nesses itens mais problemáticos em termos ambientais, a lei determina que as medidas de logística reversa devam se estender a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, e aos demais produtos e embalagens, considerando, prioritariamente, o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados. Ou seja, as empresas devem se preocupar em saber qual será a destinação que o usuário final deu ao seu produto após ser consumido e oferecer opções para reaproveitá-lo em suas cadeias produtivas ou destiná-lo corretamente. Já o usuário deve devolver embalagens e produtos às empresas, que podem fazer acordos setoriais e termos de compromisso com o poder público para viabilizar medidas.

4.3 PROBLEMAS NA EXECUÇÃO E POSSÍVEL PRORROGAÇÃO DO PRAZO

A PNRS criou metas importantes para a extinção dos lixões e propôs instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, intermunicipal, microrregional, intermunicipal metropolitano e municipal, estabelecendo, também, que particulares se preocupem com seus planos de gerenciamento de resíduos sólidos. Entretanto, ainda há poucas adequações, os lixões ainda existem, nem todos possuem um plano de gerenciamento, entre outros. Um projeto de lei está sendo analisado para uma prorrogação no prazo para substituir os lixões por aterros sanitários até 2024.

A PNRS é extensa e versa sobre muitas outras coisas, como ordens de prioridade para evitar geração de resíduos, determina que algumas tecnologias podem ser utilizadas para gerar energia a partir do "lixo", mostra as especificidades dos planos de gerenciamento em cada nível, etc.

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 LIXÃO

Área a céu aberto onde os resíduos são despejados sem nenhum tipo de impermeabilização do solo. Não existe nenhum controle quanto aos tipos de resíduos depositados e quanto ao local de disposição dos mesmos, ou seja, resíduos domiciliares e comerciais de baixa periculosidade são depositados juntamente com os industriais e hospitalares, de alto poder poluidor.

Não apresenta nenhum sistema de tratamento de efluentes líquidos - o chorume (líquido preto que escorre do lixo). Este penetra pela terra levando substâncias contaminantes para o solo e para o lençol freático.

Nos lixões pode haver outros problemas associados: moscas, pássaros e ratos convivem com o lixo livremente no lixão a céu aberto. Esses animais são transmissores de inúmeras doenças, tais como raiva, meningite, leptospirose e peste bubônica. Em busca de materiais que possam ser reaproveitados e comercializados, inúmeras pessoas se encaminham a esses lixões e tiram de lá o seu sustento e de sua família (crianças, adolescentes e adultos) catam comida e materiais recicláveis para vender; além de riscos de incêndios causados pelos gases gerados pela decomposição dos resíduos e de escorregamentos, quando da formação de pilhas muito íngremes, sem critérios técnicos. No lixão o lixo fica exposto sem nenhum procedimento que evite as consequências ambientais e sociais negativas.

O Lixão à céu aberto foi a solução encontrada por gestores públicos que não sabiam a melhor forma de fazer a correta destinação final aos resíduos sólidos urbanos.

O único critério adotado na escolha do local ideal para esta disposição final era a distancia dos centros urbanos para não causar impactos negativos na opinião publica.

Os lixões constituem um grave problema para a humanidade e devem ser combatidos.

Seguindo as tendências de países desenvolvidos e determinações da ONU (Organização das Nações Unidas) o governo brasileiro sancionou a lei 12.305 em 2010, também conhecida como a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Entre outras coisas, essa política estabelecia prazo para o fim dos lixões no Brasil para agosto de 2014. Os municípios que não cumpriram este prazo sofreriam as consequências da lei citada que entre outras coisas, corta toda e qualquer verba do governo federal destinada ao setor de resíduos sólidos para tais municípios.

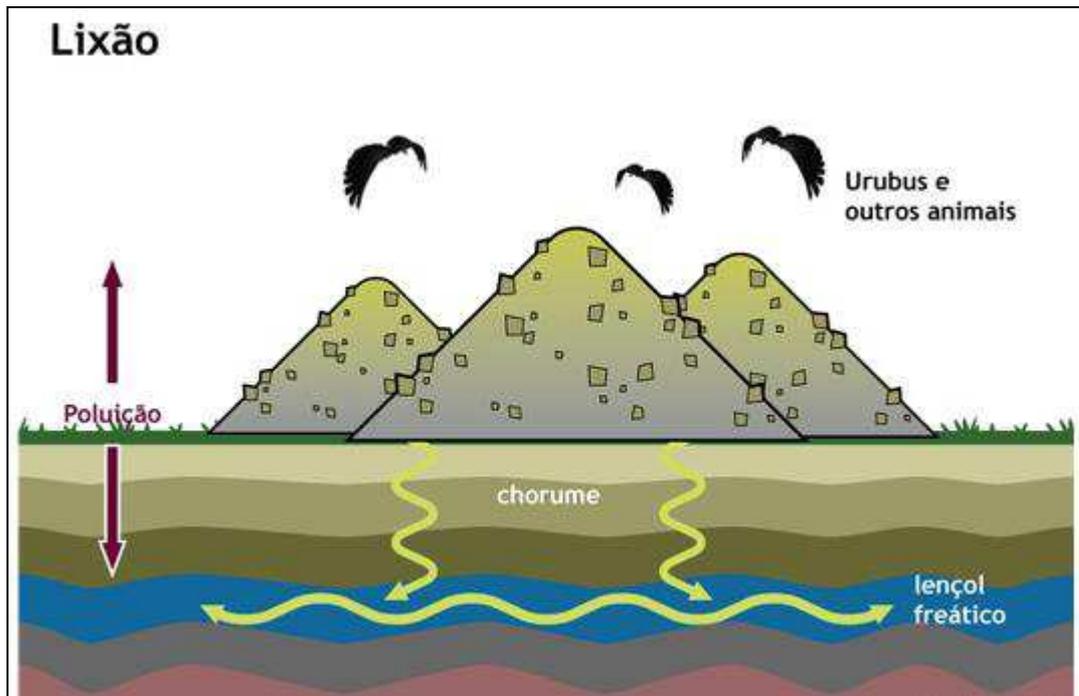


Figura 1: Esquema de um lixão



Figura 2: Vista geral de um lixão.

5.2 ATERRO CONTROLADO

É uma célula adjacente ao lixão que foi remediado, ou seja, que recebeu cobertura de argila e grama (idealmente selado com manta impermeável para proteger a pilha da água de chuva) e captação de chorume e gás. Esta célula adjacente é preparada para receber resíduos com uma impermeabilização com manta e tem uma operação que procura dar conta dos impactos negativos tais como a cobertura diária da pilha de lixo com terra ou outro material disponível como forração ou saibro.

Tem também recirculação do chorume que é coletado e levado para cima da pilha de lixo, diminuindo a sua absorção pela terra ou eventualmente outro tipo de tratamento para o chorume como uma estação de tratamento para este efluente.

O Aterro controlado foi uma solução rápida encontrada para dar resposta à imensa quantidade de resíduos gerada e que os municípios não conseguiam tratar. Essa solução representa uma espécie de “jeitinho brasileiro” para a disposição final dos resíduos. O grande problema começa quando o chorume desse “jeitinho” chegar aos lençóis freáticos e causarem epidemias nas cidades onde essa solução foi implantada.

Segundo a NBR 8849/1985 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), o aterro controlado é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais. Esse método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho.

Com essa técnica de disposição produz-se, em geral, poluição localizada, não havendo impermeabilização de base (comprometendo a qualidade do solo e das águas subterrâneas), nem sistema de tratamento de percolado (chorume mais água de infiltração) ou de extração e queima controlada dos gases gerados. O aterro controlado é preferível ao lixão, mas apresenta qualidade bastante inferior ao aterro sanitário.

O termo aterro controlado, começou a ser utilizado durante os últimos anos para denominar os aterros “não sanitários”, os quais apresentam algumas falhas ou faltas, tais como impermeabilização do fundo, não recolhimento e tratamento do percolado, não coleta dos gases produzidos e conseqüente queima ou aproveitamento, não recobrimento com camada de terra ao final da jornada diária de trabalho, entre outros aspectos. Alguns especialistas concordam em que o importante é melhorar paulatinamente o existente até chegar, a médio ou curto prazo a um aterro sanitário verdadeiro.

Com a Lei 12.305/2010 os aterros controlados ficam proibidos. A Lei, determina que todas as administrações públicas municipais, indistintamente do seu porte e localização, devem construir aterros sanitários e encerrarem as atividades dos lixões e aterros controlados, no prazo máximo de 4 anos a partir da data de sanção da Lei.

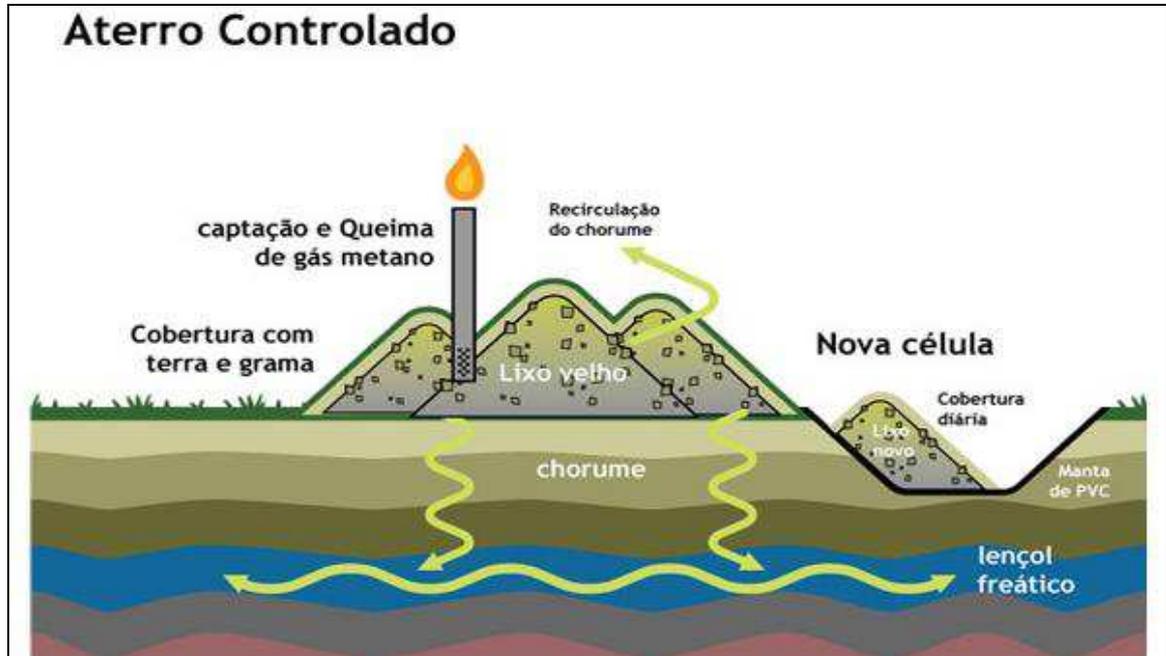


Figura 3: Esquema de um Aterro Controlado.



Figura 4: Vista geral de um Aterro controlado.

5.3 ATERRO SANITÁRIO

No aterro sanitário o depósito de lixo obedece a uma série de normas e procedimentos a fim de minimizar seu impacto sobre o meio ambiente. Entre eles, distância de no mínimo 100 metros de área construída e cursos d'água, impermeabilização do solo com uma camada de dois metros de manta sintética, pedra e areia, alternância de lixo compactado com terra e argila, sempre terminando em grama, construção em desnível, drenagem de gás metano e chorume e tratamento adequado de todos os dejetos. O terreno antes de receber os resíduos sólidos, foi preparado previamente com o nivelamento de terra e com o selamento da base com argila e mantas de PVC, esta extremamente resistente. Desta forma, com essa impermeabilização do solo, o lençol freático não será contaminado pelo chorume. O chorume é coletado através de drenos de PEAD, encaminhados para poços de acumulação de onde, nos seis primeiros meses de operação é recirculado sobre a massa de lixo aterrada. Depois desses seis meses, quando a vazão e os parâmetros já estão adequados para tratamento, o chorume acumulado será encaminhado para a estação de tratamento de efluentes.

A operação do aterro sanitário, assim como a do aterro controlado prevê a cobertura diária do lixo, não ocorrendo à proliferação de vetores, mau cheiro e poluição visual. Uma área de depósito de lixo jamais deveria receber construções de qualquer tipo, por pelo menos três décadas após seu fechamento. Isso porque o terreno, durante este período, apresenta-se como uma massa disforme, sem sustentação, com buracos onde se forma gás. Ou seja, um terreno semelhante a uma esponja. Essa falta de firmeza do solo é o principal motivo pelo qual não se deve construir nada em uma área de lixão ou mesmo de aterro sanitário. Apesar, de este último apresentar um terreno mais estável que o lixão, o aterro é construído para sustentar a si próprio, além disso, por causa da emissão de metano, que é inflamável, é arriscado construir sobre eles. Uma alternativa de uso para os aterros sanitários seria, após 30 anos de sua desativação, construir parques, campos de futebol ou de golfe sobre eles. A produção de resíduos é inerente à condição humana. Cada pessoa produz cerca de 300 quilos por ano e como um processo inexorável, tornou-se um problema de difícil resposta, que exige a reeducação e comprometimento do cidadão. Não há como não produzir lixo, mas diminuir essa produção reduzindo o desperdício, reutilizando sempre que possível e separando os materiais recicláveis para a coleta seletiva.

5.3.1 Como Funciona um aterro sanitário

Um aterro sanitário adequado aos padrões de mecanismo de desenvolvimento limpo obedece ao seguinte processo:

- 1 – O solo é compactado para dar firmeza ao aterro que receberá uma camada de polietileno de alta densidade, por baixo e pelos lados, que impede o contato entre os detritos e o subsolo e por cima quando ele estiver cheio.
- 2 – Na base, as camadas de geotêxtil (tela de tecido com betume, semipermeável), brita e areia, permitem a drenagem do chorume.
- 3 – O lixo é depositado em camadas no aterro sanitário, periodicamente intercaladas por camadas de terra.
- 4 – Os gases produzidos pela decomposição do lixo são captados e levados por dutos a uma usina geradora de energia
- 5 – Na usina, os gases entram em combustão e movem geradores, que produzem energia elétrica. Não há emissão de metano e pouca de dióxido de carbono.
- 6 – O chorume (líquido que escorre do lixo) vai para tratamento. Separada a água, os resíduos sólidos voltam para o aterro sanitário.

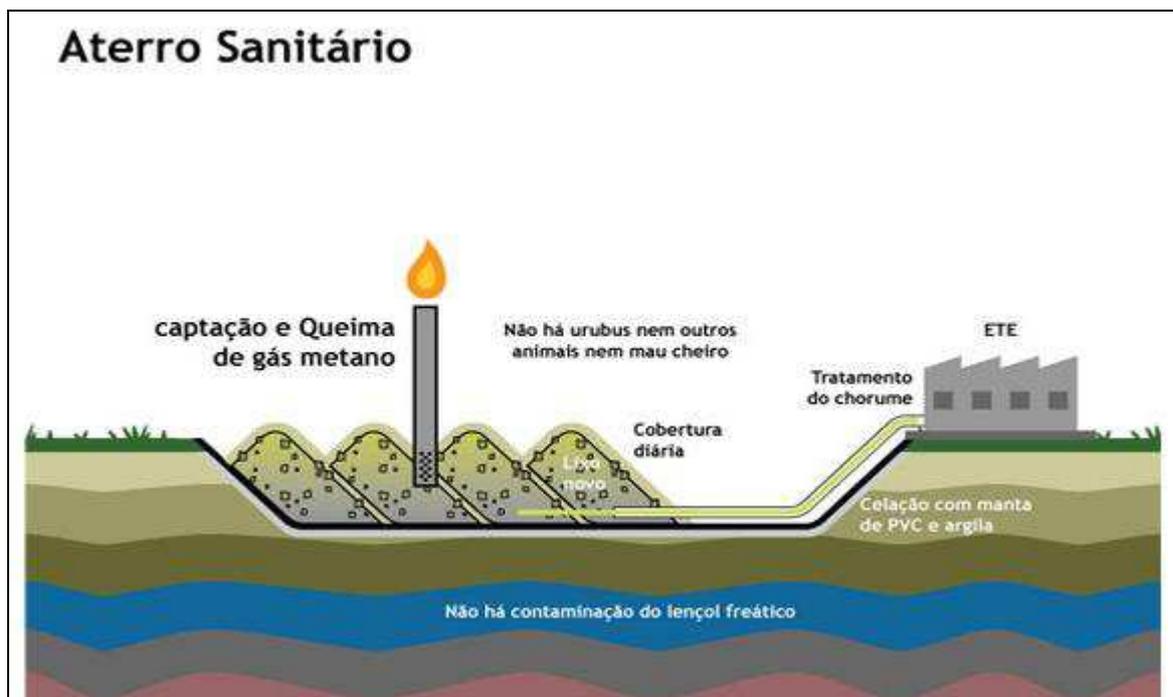


Figura 5: Esquema de um Aterro Sanitário.



Figura 6: Vista geral de um Aterro sanitário.



Figura 7: Dreno e tanque de chorume. (Fonte: SANTEC RESÍDUOS, 2005).

5.4 HISTÓRIA DO BIOGÁS

O biogás é um dos produtos da decomposição anaeróbia (ausência de oxigênio gasoso) da matéria orgânica, que se dá através da ação de determinadas espécies de bactérias.

O biogás é composto principalmente por metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂) e foi descoberto por Shirley, em 1667. No entanto, foi só um século mais tarde que Volta reconheceu a presença de metano no gás dos pântanos. Já no século XIX, Ulysse Gayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a fermentação anaeróbia de uma mistura de estrume e água, a 35°C, conseguindo obter 100 litros de gás por m³ de matéria. Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar à Academia das Ciências os trabalhos do seu aluno, considerou que esta fermentação podia constituir uma fonte de energia para aquecimento e iluminação, devido a presença de metano, o hidrocarboneto de menor cadeia (1 átomo de carbono), principal componente do gás natural e de elevado poder calorífico.

Atualmente, esse processo vem se difundindo como uma forma de tratamento de resíduos por vários países. A recuperação de energia gerada pelos processos anaeróbios teve grande impulso com a crise do petróleo onde diversos países buscaram alternativas para a sua substituição. Entretanto, como descreve NOGUEIRA (1986), as soluções para os problemas de desenvolvimento devem ser apropriadas às necessidades, às capacidades e recursos humanos, aos recursos financeiros e à cultura. Assim, o impulso recebido no período de crise não chegou a constituir um sólido movimento de substituição dos recursos não renováveis por outras fontes renováveis.

Inicialmente, o termo biogás estava associado aos diversos nomes atribuídos a ele, como: gás dos pântanos, gás de aterro, gás de digestor e gás da fermentação, entre outros. Atualmente, o termo refere-se, de forma geral, àquele gás formado a partir da degradação anaeróbia da matéria orgânica.

O primeiro documento relatando a coleta de biogás de um processo de digestão anaeróbia ocorreu em uma estação de tratamento de efluentes municipal da Inglaterra, em 1895, sendo que o primeiro estudo de aproveitamento em uma pequena planta, com uso de estrume e outros materiais remontam de 1941, na Índia. Desde então, o processo anaeróbio tem evoluído e se expandido ao tratamento de resíduos industriais, agrícolas e municipais. (ROSS et al, 1996).

VILLEN (2001), discorre sobre digestão anaeróbia, salientando que na natureza existem vários ambientes favoráveis ao desenvolvimento desse processo, sendo representados pelos pântanos, estuários, mares e lagos, usinas de carvão e jazidas petrolíferas.

Esses sistemas possuem concentrações baixas de oxigênio, facilitando a ocorrência desse fenômeno. Da observação casual desses ambientes, o ser humano tomou ciência da possibilidade de produzir gás combustível a partir de resíduos orgânicos ao observar a combustão natural desse gás na superfície de regiões pantanosas.

Posteriormente, passou-se a desenvolver e utilizar esse processo fermentativo para o tratamento de esgoto doméstico, objetivando, principalmente, a destruição da matéria orgânica. O gás produzido era destinado à iluminação.

No começo do século XX, ocorreu na Índia e na China, o início do desenvolvimento de digestores para a produção de gás metano a partir de esterco de animais, principalmente bovinos.

Somente a partir de 1960, a digestão anaeróbia passou a ser pesquisada com caráter mais científico, havendo então grandes progressos quanto à compreensão dos fundamentos do processo e também de projetos de digestores e equipamentos auxiliares.

Segundo CHAMBERS & POTTER (2002), a aplicação da digestão anaeróbia na América do Norte encontra-se, predominantemente, nos domínios da estabilização do lodo do esgoto urbano e no tratamento anaeróbio de efluentes industriais e agropecuários.

Durante a digestão anaeróbia, a energia química presente na composição orgânica é largamente conservada, principalmente, como metano.

A composição do biogás é difícil de ser definida, pois depende do material orgânico utilizado e do tipo de tratamento anaeróbio que sofre. Contudo, em linhas gerais, o biogás é uma mistura gasosa composta principalmente por:

- Metano (CH_4): 50% – 70% do volume de gás produzido.
- Dióxido de carbono (gás carbônico, CO_2): 25% – 50% do volume de gás produzido.
- e traços de outros gases:
 - Hidrogênio (H_2): 0% – 1% do volume.
 - Gás sulfídrico (H_2S): 0% – 3% do volume.
 - Oxigênio (O_2): 0% – 2% do volume.
 - Amoníaco (NH_3): 0% – 1% do volume.
 - Nitrogênio (N_2): 0% – 7% do volume.

5.5 FORMAÇÃO DO BIOGÁS

A transformação da massa de resíduos de um aterro sanitário em gases não é um processo simples, principalmente por conta da diversidade de materiais que a compõem e

pelas interações físico-químicas e biológicas que ocorrem com o passar do tempo. As atividades microbiológicas têm grande influência na produção de biogás em aterros sanitários. No entanto, outros mecanismos como a volatilização e as reações químicas também exercem um papel importante na formação de metano, agindo isoladamente ou associado à microbiologia (VAN ELK, 2007).

A produção de gás em aterro sanitário, na sua fase de decomposição dos resíduos sólidos, pode ser dividida em quatro ou cinco fases, dependendo do autor (EPA, 1997; BIDONE & POVINELLI, 1999; LIMA, 2004). Na Figura 8, é mostrado um exemplo da divisão em quatro fases.

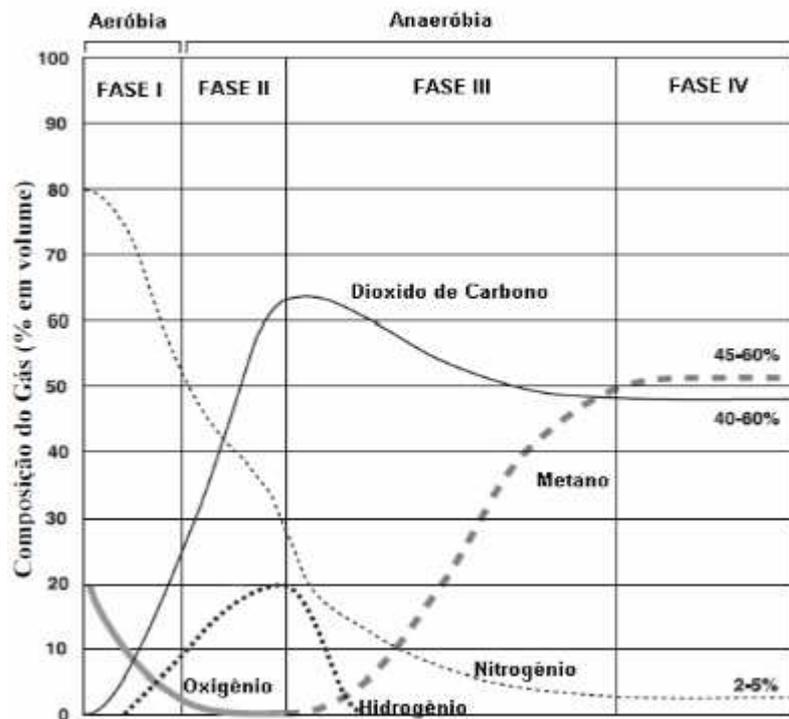


Figura 8: Duração das fases variando com o tempo. (Fonte: EPA, 1997)

1ª fase: A primeira etapa da decomposição é aeróbia, isto é, ocorre com presença de oxigênio. Nessa etapa, as bactérias aeróbias consomem oxigênio enquanto metabolizam as cadeias de carboidratos complexos, proteínas e lipídios que estão contidos nos resíduos orgânicos. O primeiro gás produzido é o dióxido de carbono (CO_2). No início dessa etapa, há uma grande quantidade de nitrogênio que declina rapidamente, à medida que o processo vai transcorrendo. Essa etapa pode durar dias ou meses, dependendo da quantidade de oxigênio presente no resíduo quando depositado no aterro. A quantidade de oxigênio dependerá da maneira como o resíduo foi depositado e, se houve ou não compactação. BIDONE & POVINELLI (1999)

descrevem como uma etapa de ajustamento inicial e LIMA (2004), como etapa aeróbia. Nessa etapa, segundo LIMA (2004) a temperatura do meio se eleva para o estágio mesofílico em função do comportamento exotérmico das bactérias aeróbias, podendo ainda, dependendo das condições de contorno, atingir o estágio termofílico, com valores variando entre 45°C e 68°C.

2ª fase: A segunda fase inicia-se após o oxigênio ter sido consumido. Nessa fase, as bactérias convertem os compostos criados pelas bactérias aeróbias em ácido acético, láctico, fórmico e álcoois, tais como metanol e etanol. Tornando o ambiente totalmente ácido. Esses ácidos misturam-se com a umidade presente nos aterros, causando a dissolução de nutrientes e liberando nitrogênio e fósforo, disponíveis para o crescimento de diversas bactérias no aterro. Os gases produzidos são o dióxido de carbono e o hidrogênio. Caso ocorra o revolvimento da massa de resíduos ou a introdução, de alguma maneira, de oxigênio no aterro, os processos microbiológicos retornam para a primeira fase. De acordo com BIDONE & POVINELLI (1999), essa fase é dividida em duas: a fase de transição, que ocorre o estabelecimento das condições de oxidação-redução, e a fase de formação de ácidos, com predominância de ácidos orgânicos voláteis. Segundo LIMA (2004), é denominada como fase ácida, na qual o pH varia de 5,2 a 6,8 e a temperatura diminui para 29 a 45 °C.

3ª fase: Esta fase também é caracterizada por um ambiente anaeróbio, inicia-se quando certas espécies de bactérias consomem os ácidos produzidos na segunda fase e forma-se o acetato, um ácido orgânico. Nesse processo o ambiente se torna neutro, possibilitando o estabelecimento das bactérias produtoras de metano. As bactérias metanogênicas e as bactérias acidogênicas são simbióticas ou apresentam mutualismo positivo. As acidogênicas criam compostos para as metanogênicas consumirem. As bactérias metanogênicas consomem carbono e acetato que são tóxicos para a maioria das bactérias acidogênicas. Nessa fase que então se inicia a produção do metano com a redução da quantidade de dióxido de carbono produzido. BIDONE & POVINELLI (1999) definem-na como fermentação metânica e LIMA (2004), como metânica instável. O pH sobe e estabiliza-se na faixa de 6,8 a 7,2, e a temperatura estabiliza-se próximo de 30°C.

4ª fase: Etapa final que se inicia quando a taxa de composição e de produção de gás no aterro se mantém relativamente constantes. Usualmente, nessa fase, o gás do aterro contém, em volume, 45% a 60% de metano, 40% a 60% de dióxido de carbono, e 2% a 9% de outros gases. Essa fase é denominada por BIDONE & POVINELLI (1999) como maturação final, caracterizada por estabilização da atividade biológica, escassez de nutrientes, paralisação da produção de gás, predominância de condições ambientais naturais, aumento do valor do potencial redox com aparecimento de O₂ e espécies oxidadas, conversão lenta dos materiais

orgânicos resistentes aos microorganismos em substâncias húmicas complexadas com metais. LIMA (2004) define como fase metânica estável. A temperatura é inferior a 30°C (próxima do ambiente), o pH estabiliza-se entre 7,0 e 7,2 e o potencial redox varia em torno de -330 a -600mV.

Pelo fato de os aterros serem heterogêneos e de todo o resíduo não ser depositado ao mesmo tempo, as fases descritas acima ocorrem simultaneamente em diferentes áreas e profundidades de um aterro ativo ou recentemente fechado. A separação entre fases torna-se difícil quando o aterro está ativo e resíduos novos são adicionados aos antigos. Após o encerramento do aterro e devido à presença de resíduos em diferentes fases de degradação, este tende a ser impulsionado para a quarta fase, mantendo-se nela por um longo período de tempo.

5.5.1 Aspectos Físico-Químicos

Visto que no biogás as concentrações de outros gases são muito pequenas se comparados ao metano e gás carbônico, pode-se restringir as propriedades físico-químicas apenas a esses dois componentes. Porém, esses gases presentes em menor quantidade, como por exemplo, o gás sulfídrico, influenciam na escolha da tecnologia de operação, limpeza e combustão (PECORA, 2006).

O principal componente do biogás é o metano, quando se trata de utilizá-lo como combustível. Segundo Alves (2000), a presença de substâncias não combustíveis no biogás (água, dióxido de carbono) prejudica o processo de queima tornando-o menos eficiente. Estas substâncias entram com o combustível no processo de combustão e absorvem parte da energia gerada. O poder calorífico do biogás se torna menor à medida que se eleva a concentração das impurezas.

Segundo Pecora (2006), outros aspectos importantes que devem ser considerados são a umidade, visto que afeta a temperatura da chama, diminuição do poder calorífico, limites de inflamabilidade e solubilização do gás sulfídrico. Outro parâmetro importante quando se deseja a manipulação do gás para armazenamento é o volume específico, representado pelo peso específico. Estudos realizados mostraram que, de acordo com a quantidade de metano no biogás seu poder calorífico aumenta, visto que o CO₂ é a forma mais oxidada do carbono não podendo ser queimado. Algumas propriedades físicas do metano, gás carbônico e gás sulfídrico podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades físico-químicas do metano, dióxido de carbono e gás sulfídrico.

(Fonte: PECORA, 2006)

| Propriedades | Metano | Dióxido de carbono | Gás Sulfídrico |
|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Peso Molecular | 16,04 | 44,01 | 34,08 |
| Peso Específico (Ar=1) | 0,555 (a) | 1,52 (a) | 1,189 (b) |
| Volume Específico | 1473,3 cm ³ /g (a) | 543,1 cm ³ /g (a) | 699,2 cm ³ /g (a) |
| Capacidade Calorífica | 0,775 Kcal/kg°C | 0,298 Kcal/kg°C | 0,372 Kcal/kg°C |
| Relação CP/CV | 1,307 | 1,303 | 1,32 |
| Poder Calorífico | 13,268 Kcal/kg | 0 Kcal/kg | 4,633 Kcal/kg |
| Limite de inflamabilidade | 5-15% por volume | nenhum | 4-46% por volume |

A Figura 9 mostra a relação entre o poder calorífico do biogás (kcal/m³) e a porcentagem de metano, em volume, presente no mesmo.

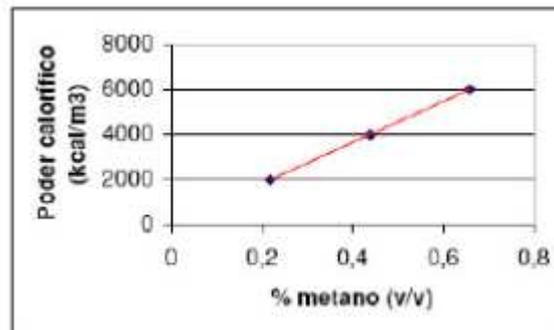


Figura 9: Relação poder calorífico do biogás e porcentagem de metano em volume. (Fonte: ALVES, 2000)

A equivalência energética do biogás em relação a outros combustíveis é determinada levando em conta o poder calorífico e a eficiência média de combustão. A Tabela 2 mostra a equivalência de 1 Nm³ (normal metro cúbico) de biogás.

Tabela 2: Equivalência de 1 Nm³ de biogás em relação a outros combustíveis. (Fonte: CARDOSO FILHO, 2006).

| Combustível | Quantidade equivalente a 1Nm³ de biogás |
|----------------------------------|---|
| Carvão Vegetal | 0,8 kg |
| Lenha | 1,5 kg |
| Óleo Diesel | 0,55 l |
| Querosene | 0,58 l |
| Gasolina Amarela | 0,61 l |
| GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) | 0,45 l |
| KWh | 1,43 |
| Álcool Carburante | 0,8 l |
| Carvão Mineral | 0,74 kg |

O biogás pode substituir outros combustíveis utilizados na indústria. Como pode ser verificado na Tabela 2, com 1 Nm³ de biogás obtêm-se a energia equivalente à de 1,5 kg de lenha ou 0,74 kg de carvão mineral, por exemplo.

Visto que é uma fonte primária de energia, o biogás pode ser utilizado para iluminação de residências, aquecimento de água, além de aquecimento de caldeiras e fornos em usos industriais. O biogás não é tóxico, porém atua sobre o organismo humano diluindo o oxigênio, o que pode provocar morte por asfixia. Não é solúvel em água e sua combustão não libera resíduos (LIMA, 2005).

5.5.2 Fatores que Afetam a Formação de Gás

A capacidade de produção de gás em aterro depende de muitas variáveis, incluindo composição e idade do resíduo, composição química, umidade, tamanho das partículas, pH, temperatura, projeto do aterro, operação, entre outros. Descrevem-se, na sequência, os fatores que afetam a geração de gás (ATSDR, 2006; BIDONE & POVINELLI, 1999; BORBA, 2006; LIMA, 2005; VAN ELK, 2007).

Composição do resíduo: A maior parte dos resíduos depositados em um aterro é constituída por material orgânico, facilmente degradável. O restante consiste em vários materiais inertes como plásticos, metais, entulho, entre outros materiais não degradáveis. O resíduo sólido de um município pode ter variações sazonais ao longo do ano, dependendo do clima e dos

hábitos de consumo da população. Quanto maior a fração orgânica biodegradável depositada no aterro, maior será a quantidade de gás produzido pelas bactérias durante a decomposição. Alguns resíduos degradáveis, tais como pedaços grandes de madeira, que não são inertes, mas se decompõem lentamente, na prática não contribuem significativamente com a geração de gás.

Idade do resíduo: A produção do gás metano apresenta duas variáveis dependentes do tempo: tempo de atraso e tempo de conversão. O tempo de atraso é o período da disposição dos resíduos até o início da geração do metano. O tempo de conversão é o período da disposição dos resíduos até o final da geração do metano. Geralmente, os resíduos recentemente depositados (menos de 10 anos) geram uma quantidade maior de gás do que os resíduos mais antigos (mais de 10 anos). O pico da produção de gás em um aterro ocorre depois de 5 a 7 anos em que os resíduos foram depositados.

Composição química: A análise química dos resíduos identifica a composição do substrato, possibilitando a avaliação do grau de resistência à atividade enzimática e da disponibilidade de nutrientes para os microrganismos. A relação de carbono/nitrogênio considerada ótima para a estabilização anaeróbia é de 30:1; no entanto, os resíduos sólidos urbanos (RSU), geralmente apresentam valores em torno de 50:1, sendo necessária a correção dessa relação, por meio da suplementação de nitrogênio. Os compostos de enxofre na forma de $(SO_4)^{2-}$ e S^{2-} são utilizados pelos microrganismos para a formação da biomassa. O íon $(SO_4)^{2-}$ também é utilizado como aceptor de elétrons; no entanto, ele inibe o processo metanogênico quando se reduz o sulfeto, que é tóxico, e pela competição por substratos comuns a outros microrganismos. Existem certos nutrientes que são essenciais tanto à metanogênese quanto a outros microrganismos para que o processo se desenvolva, como nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, cobalto, níquel, molibdênio, selênio, riboflavina e vitamina B12. Porém, para ocorrer a atividade microbiana é necessário que esses nutrientes estejam presentes em níveis adequados, principalmente o carbono, o nitrogênio e o enxofre (formas de sulfetos).

Umidade: A umidade é o fator mais significativo para a taxa de produção de gás, além de favorecer o meio aquoso que é essencial para o processo de produção de gás, também serve como transporte para os microrganismos dentro do aterro sanitário. As condições de umidade dentro do aterro dependem de muitos fatores, um deles é a umidade inicial do resíduo (umidade com que os resíduos chegam ao aterro). Outros fatores são a composição

gravimétrica, a impermeabilização de fundo, a pluviosidade da região, o tipo de cobertura e a prática ou não de recirculação. No Brasil, o teor de umidade dos resíduos varia de 40 a 60%. Quanto maior o teor de umidade, maior será a taxa de produção do gás e de CH₄. A produção máxima é atingida entre 60% e 80% de umidade. Por outro lado, JUCÁ & MACIEL BORBA (2006) verificaram altas taxas de decomposição dos resíduos no aterro de Muribeca situado na região metropolitana de Recife, para umidades variando entre 20 e 40%. O teor de umidade em um aterro muda ao longo do tempo. Alterações no teor de umidade do aterro podem resultar em mudanças na infiltração de águas superficiais e/ou influxo de águas subterrâneas, liberação de água como resultado da decomposição dos resíduos e variações sazonais do teor de umidade dos resíduos. Na teoria, a condição ideal para a produção de gás é a total saturação do resíduo. No entanto, segundo BIDONE & POVINELLI (1999) as infiltrações excessivas podem causar retardamento na produção, devido ao favorecimento da fermentação ácida da matéria orgânica, que liberam grandes quantidades de ácidos graxos voláteis e ocasionando a inibição do processo metanogênico. Na maior parte dos casos os resíduos sólidos quando são depositados nos aterros não estão saturados, porém dois fatores contribuem para saturar os resíduos: primeiramente a água proveniente das chuvas e depois a pressão das camadas superiores sobre as outras. Uma vez que a saturação é alcançada, a pressão da água livre acelera as reações químicas e biológicas (PEREIRA apud BORBA, 2006). Segundo JUNQUEIRA BORBA (2006), em períodos chuvosos é favorecida a entrada de uma carga extra de oxigênio dissolvido na água o que possibilita um incremento das atividades das bactérias aeróbias e facultativas, o que leva conseqüentemente a um aumento na temperatura na massa de resíduos em função das atividades exotérmicas dos microorganismos. O autor relata que verificou variações bruscas de temperatura na massa de resíduos em períodos chuvosos, e que estas variações favorecem a desestabilização dos microorganismos anaeróbios, provocando uma diminuição na velocidade de degradação da matéria orgânica.

Tamanho das partículas: Há uma relação inversamente proporcional entre a superfície exposta dos resíduos e o tamanho dos mesmos, expressa pela superfície específica (área da superfície/volume). Sendo assim, observa-se um aumento da velocidade de degradação quando a massa é composta por resíduos menores, o que tem motivado o uso de trituradores, por exemplo, na compostagem e nos processos mecânico-biológicos. Vale salientar que o tamanho das partículas tem influência na degradação dos resíduos tanto nos processos aeróbios quanto nos anaeróbios (VAN ELK, 2007).

pH: O potencial hidrogeniônico (pH) tem importância fundamental no processo da decomposição anaeróbia, pois suas variações podem acelerar ou inibir o processo. Em função do pH e da capacidade de crescimento no meios microrganismos podem ser classificados em acidofílicos (crescimento ótimo com pH baixo), neutrofílicos (melhor crescimento com pH próximo de 7) e alcalinofílicos (crescimento ótimo com pH alto). Inicialmente os aterros apresentam pH ácido, que aumenta e se aproxima da neutralidade a partir do começo da fase metanogênica. As bactérias metanogênicas são as mais sensíveis ao pH, a faixa de pH ótima para essas bactérias é de 6,5 a 7,6. Caso haja o desbalanceamento no processo, por exemplo, devido a um aumento repentino da carga orgânica, poderá haver um acúmulo de ácidos voláteis se a capacidade tampão determinada em sua maior parte pela alcalinidade a bicarbonato não for suficiente para a neutralização. Nesse caso, ocorrerá queda do pH, provocando um desbalanceamento maior. Segundo BIDONE & POVINELLI (1999) e LIMA (2005) a produção de CH₄ é máxima quando o pH situa-se na faixa de 7,0 a 7,2, sendo que para valores abaixo de 6,0 e superiores a 7,6, pode ser inibida a atividade microbiana no aterro sanitário.

Temperatura: A temperatura de um aterro interfere nos tipos de bactérias predominantes e na taxa de produção de gás. A formação de metano pode ocorrer a uma extensa faixa de temperatura, entre 0° e 97 °C. Em ambientes anaeróbios, podem existir três faixas ótimas de temperatura: psicrófila (ainda não bem definida); mesófila (30 a 35°C) e termófila (50°C a 55°C). A temperatura é altamente importante no processo de formação de metano. Quanto mais elevada, maior será a atividade bacteriana e, conseqüentemente, a produção de metano. Dois aspectos devem ser considerados com relação à temperatura: a temperatura desenvolvida dentro da massa de resíduos e a influência da temperatura externa sobre os processos que ocorrem internamente. A faixa ótima de temperatura para a geração de metano é de 30°C a 40°C, sendo que temperaturas abaixo dos 15°C propiciam severas limitações para a atividade metanogênica. Flutuações de temperatura são comuns na parte mais elevada do aterro, como resultado das mudanças na temperatura local (VAN ELK, 2007). No aterro sanitário as máximas temperaturas frequentemente são alcançadas dentro de 45 dias após a disposição dos resíduos como um resultado da atividade aeróbia microbiológica, diminuindo nas condições anaeróbias. Geralmente a temperatura nos aterros não ultrapassa 45°C, sendo difícil um aterro ser operado na faixa termófila. A temperatura ambiente não exerce influência significativa na massa de aterro em função da mistura de resíduos e solo. JUCÁ & MACIEL* apud BORBA (2006) relatam que no Aterro de Muribeca, situado na região metropolitana de

Recife, que possui características climáticas tropicais, a temperatura ambiente só influencia até 2,5m de profundidade.

5.6 CRÉDITO DE CARBONO

A partir dos anos 2000, entrou em cena um mercado voltado para a criação de projetos de redução da emissão dos gases que aceleram o processo de aquecimento do planeta.

Trata-se do mercado de créditos de carbono, que surgiu a partir do Protocolo de Quioto, acordo internacional que estabeleceu que os países desenvolvidos devessem reduzir, entre 2008 e 2012, suas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) 5,2% em média, em relação aos níveis medidos em 1990.

O Protocolo de Quioto criou o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que prevê a redução certificada das emissões. Uma vez conquistada essa certificação, quem promove a redução da emissão de gases poluentes tem direito a créditos de carbono e pode comercializá-los com os países que têm metas a cumprir.

“O ecossistema não tem fronteira. Do ponto de vista ambiental, o que importa é que haja uma redução de emissões global”, ressalta o consultor de sustentabilidade e energia renovável, Antônio Carlos Porto Araújo.

Durante a Conferência do Clima (COP 17), realizada em 2011, na África do Sul, as metas de Quioto foram atualizadas e ampliadas para cortes de 25% a 40% nas emissões, em 2020, sobre os níveis de 1990 para os países desenvolvidos.

“Isso pode significar um fomento nas atividades de crédito de carbono que andava pouco atraentes”, disse Araújo, autor do livro “Como comercializar créditos de carbono”.

O Brasil ocupa a terceira posição mundial entre os países que participam desse mercado, com cerca de 5% do total mundial e 268 projetos. A expectativa inicial era absorver 20%. O mecanismo incentivou a criação de novas tecnologias para a redução das emissões de gases poluentes no Brasil.

A redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) é medida em toneladas de dióxido de carbono equivalente – t CO₂e (equivalente). Cada tonelada de CO₂e reduzida ou removida da atmosfera corresponde a uma unidade emitida pelo Conselho Executivo do MDL, denominada de Redução Certificada de Emissão (RCE).

Cada tonelada de CO₂e equivale a 1 crédito de carbono. A ideia do MDL é que cada tonelada de CO₂ e não emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento possa ser negociada no mercado mundial por meio de Certificados de Emissões Reduzidas (CER).

As nações que não conseguirem (ou não desejarem) reduzir suas emissões poderão comprar os CER em países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas obrigações (PORTAL BRASIL, 2014).

5.6.1 O Mercado de Carbono

Estes créditos geralmente são comprados por empresas que não conseguem reduzir a emissão dos gases poluentes, permitindo-lhes manter ou aumentar a emissão. As empresas que conseguem reduzir a emissão dos gases poluentes lucram com a venda destes créditos de carbono. Este sistema visa privilegiar as indústrias que reduzem a emissão destes gases, pois seus lucros com a venda dos créditos aumentam. Já os países mais desenvolvidos podem incentivar os países em desenvolvimento a reduzirem a emissão de gases poluentes, comprando os créditos no mercado de carbono.

No Brasil, devido às regras sobre valores mobiliários, a compra e a venda de créditos são por meio de leilões, promovidos pela BM&F Bovespa a pedido de entidades públicas ou privadas.

As transações são feitas em um ambiente eletrônico, via internet. Os leilões são modelados conforme as características específicas da oferta. As regras adotadas em cada leilão são divulgadas por meio de anúncios públicos ou editais.

Empresas que conseguem diminuir a emissão de gases poluentes obtêm estes créditos, podendo vendê-los nos mercados financeiros nacionais e internacionais. Estes créditos de carbono são considerados commodities (mercadorias negociadas com preços estabelecidos pelo mercado internacional).

5.7 ENERGIA ELÉTRICA GERADA ATRAVÉS DE ATERRO SANITÁRIO

A forma mais simples de coletar gases do aterro é através da extração do biogás por meio de tubos verticais perfurados. Podem ser colocados tubos de sucção horizontais quando o lixo ainda está sendo depositado no aterro e assim ele poderá ser extraído desde o início da sua produção (WILLUMSEN, 2001). Em aterros sanitários construídos conforme a norma nacional vigente, já está prevista a colocação desta tubulação para a coleta do gás.

Algumas vezes, uma membrana impermeável protetora é colocada sobre o aterro e assim, quase todo o biogás pode ser coletado e recuperado. Porém esta solução é muito cara, utilizada em países com demanda limitada. Essa membrana obstrui a entrada de água impedindo assim a formação do biogás. Para que haja continuidade na produção de biogás, se

faz necessária à injeção de água sob a membrana ou promover a recirculação do chorume injetando-o da mesma maneira.

Um sistema padrão de coleta do biogás de aterro é composto por poços de coleta e tubos condutores, sistema de compressão e sistema de purificação do biogás. O sistema de coleta possui tubos verticais perfurados ou canais e em alguns casos membrana protetora. Além disto, a maioria dos aterros sanitários com sistema de recuperação energética possui flare para queima do excesso do biogás ou para uso durante os períodos de manutenção dos equipamentos (MUYLAERT, 2000; WILLUMSEN, 2001).

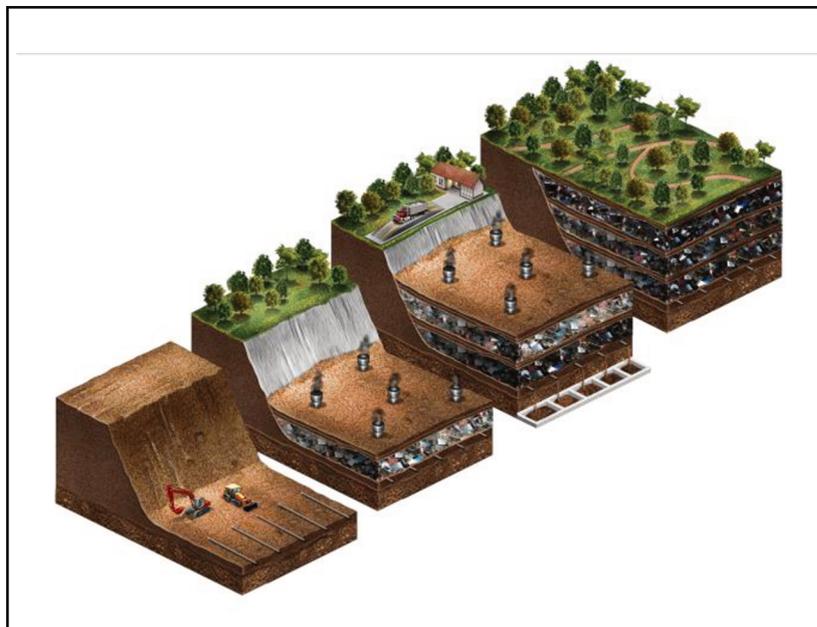


Figura 10: Etapas de construção de aterro sanitário.

A coleta de gás normalmente começa após uma porção do aterro ser fechada. Cada uma das pontas do tubo é conectada a uma tubulação lateral que transporta o gás para um coletor principal, como pode ser visto na Figura 11. O sistema de coleta deve ser planejado para que o operador possa monitorar e ajustar o fluxo de gás se necessário (MUYLAERT, 2000). O biogás é succionado do aterro por meio de pressão nos tubos de transmissão.



Figura 11: Sistema de captação de biogás, tubulações e poço. (Fonte: TERMOVERDE CAIEIRAS, 2017).

A conexão entre poço com a bomba e o sistema de utilização pode ser feita de diversas maneiras. Os poços são ligados a um tubo principal que percorre o aterro. O problema deste sistema é a dificuldade de regular a quantidade e qualidade do biogás, além de encontrar o local do vazamento quando todos os tubos estão ligados a um grande sistema. Para uma operação mais segura, econômica e com melhores condições para os trabalhadores, uma solução é ter um tubo para cada poço ligado a uma bomba e uma casa de regulação (WILLUMSEN, 2001).

A sucção do gás dos poços de coleta é realizada por um compressor, conforme visto na Figura 12. Os compressores também podem ser necessários para comprimir o gás antes de entrar no sistema de recuperação energética. O tamanho, tipo e número de compressores necessários dependerão da taxa do fluxo de gás e do nível de compressão desejado, que pode ser determinado pelo equipamento de conversão energética (TOLMASQUIM, 2003).



Figura 12: Compressor.

Quando o biogás produzido pelo aterro passa pela tubulação e é captado, o mesmo precisa passar pelo trocador de calor e resfriador, pois o gás captado é quente e úmido e por isso poderia danificar o motogerador, resfriado o gás forma um condensado. Caso não se remova esse condensado o sistema de coleta pode ser bloqueado interrompendo, então, o processo de recuperação de energia. O controle do condensado tem início no sistema de coleta onde são utilizados conectores e tubos inclinados para permitir a drenagem em tanques e após a coleta o condensado é removido. Os métodos para disposição do condensado são: descarga no sistema público de esgoto, sistema de tratamento local, e recirculação para o aterro sanitário.



Figura 13: Trocador de calor.

O flare (Figura 14) é um dispositivo utilizado na ignição e queima do biogás. É considerado um componente de cada opção de recuperação de energia, visto que pode ser necessário durante as etapas de início do processo e manutenção do sistema. Também pode ser utilizado para queima do biogás excedente entre os upgrades de sistemas, podendo ser abertos (ou vela) ou enclausurados. Estes últimos são mais caros, mas podem ser requeridos porque proporcionam testes de concentração e podem obter eficiências de combustão altas. Além do que, flares enclausurados podem reduzir o nível de ruído e iluminação (MUYLAERT, 2000).



Figura 14: Flare - queimadores.

Após a coleta e antes da sua utilização no processo de conversão de energia, o biogás é tratado para a remoção de algum condensado que não foi coletado, assim como particulados e impurezas em geral. No caso da geração de energia podem ser utilizados filtros para a remoção de impurezas, visto que estas podem danificar os componentes do motor, reduzindo a eficiência do sistema. (TOLMASQUIM, 2003).



Figura 15: Filtro.

A partir de então o gás estará pronto para ser transformado em energia elétrica, para isso utiliza-se motogeradores. Há vários tipos de motogeradores, porém o mais utilizado nesse

processo é o motor de combustão interna, é assim chamado por realizar trabalho queimando uma mistura de vapor e combustível dentro de um cilindro. O trabalho mecânico é gerado com a transformação do movimento retilíneo do pistão em circular por meio de um virabrequim. É um mecanismo amplamente utilizado, por ser um processo prático e apresenta grande durabilidade.

Este tipo de motogerador trabalha através de duas formas diferentes de ciclo, ciclo Otto e ciclo Diesel.

Os motores de ciclo Otto aspiram a mistura ar-combustível antes de ser comprimida no interior dos cilindros e a combustão da mistura é dada por centelha produzida numa vela de ignição (PEREIRA, 2006)

6. ESTUDO DE CASO

A cidade de Taubaté não dispõe de aterro sanitário, por conta disso todo o resíduo gerado na cidade de Taubaté é enviado para o aterro de Tremembé. Desta forma o estudo de caso será realizado na cidade de Tremembé, que dispõe de todas as condições necessárias para se realizar uma implantação de uma termelétrica a biogás.

6.1 RESICONTROL SOLUÇÕES AMBIENTAIS S/A – UNIDADE DE TREMEMBÉ

Tremembé abriga o maior aterro sanitário de resíduo comercial e industrial da América Latina.

“A empresa Estre estabelecida em Tremembé recebe diuturnamente lixo doméstico e outros resíduos industriais advindos de várias cidades do Estado de São Paulo. A área destinada para a captação destes resíduos tem dimensão aumentada ao logo dos tempos e a cada dia é ampliado o numero de empresas e entidades públicas que utilizam dos serviços. Em 01 de dezembro de 2014 pela lei 2.512 aprovada na Câmara de Tremembé foi concedida isenção por vinte anos de imposto para o aterro sanitário justificado pelo grande e relevante serviço que a empresa presta ao município, assim sendo esta é a primeira e única empresa de Tremembé beneficiada pela municipalidade em relação à isenção de imposto e que perdura até hoje.” (TREMEMBEONLINE, 2015).

O aterro sanitário teve inicio de seus trabalhos na cidade de Tremembé em 1986, quando recebia apenas resíduos industriais das indústrias da região. Com o tempo expandiu-se e hoje recebe resíduos, classe I e classe II, de 12 cidades do Vale do Paraíba, totalizando uma quantia de 2.000 toneladas de resíduo por dia.

No aterro é gerado cerca de 200m³ de chorume por dia, no qual é enviado para uma empresa especializada em seu tratamento.

A expectativa de funcionamento do aterro é de mais 20 anos, aproximadamente 2037, porém após o encerramento do aterro o gás ainda continua sendo gerado por cerca de 10 anos.

6.1.1 Estre – Histórico

A Resicontrol Soluções Ambientais SA empresa que atua na área de gerenciamento e disposição de resíduos industriais e urbanos, faz parte do grupo Estre, desde 2009.

A Estre foi fundada em 1999 em São Paulo, atualmente com mais de 14 mil funcionários presta serviços de gerenciamento, coleta, transporte, limpeza, valorização, análises laboratoriais, tratamento e disposição final de resíduos perigosos e não perigosos.

A Estre é a maior empresa de serviços ambientais do Brasil. Ela limpa a sua cidade, tira o lixo da sua casa, cuida dos resíduos industriais resultantes dos produtos que você consome dando o destino mais seguro ao lixo, seja em aterros sanitários ou transformando o lixo em matéria-prima e energia para a produção de novos bens.

São 15 aterros sanitários, 4 estações de transbordo, 3 unidades para tratamento e destinação final de resíduos hospitalares, 2 operações de coprocessamento, 2 unidades de reciclagem e outras 2 de geração de energia a partir da queima do biogás, além de uma estação de tratamento de efluentes.



Figura 16: Números Estre.

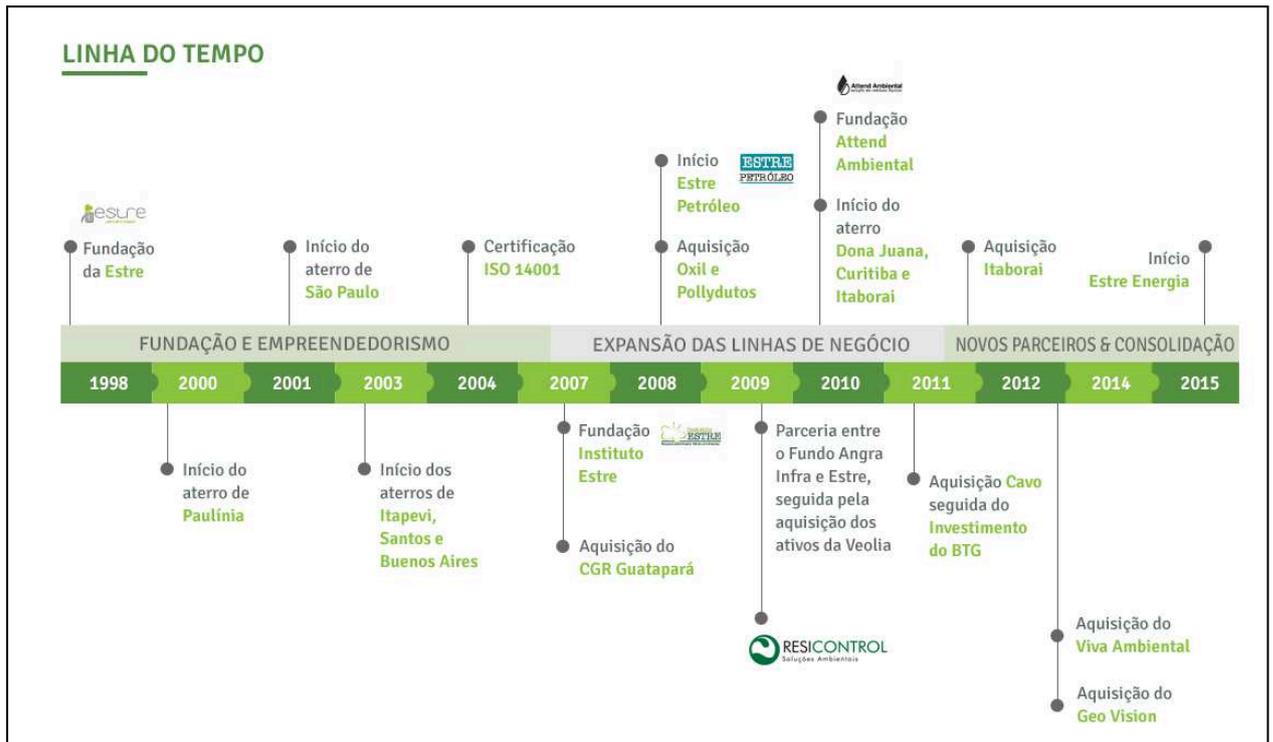


Figura 17: Linha do tempo – Estre

6.1.2 Organização

O mundo ainda trata o lixo como o final. Mas, para a Estre, lixo é só o começo. É o começo de uma série de oportunidades: ambientais, tecnológicas, econômicas, sociais e comportamentais.

A partir do lixo podem ser geradas novas formas de combustível, novos insumos produtivos e novos empregos.

A conscientização de que lixo é só o começo transforma a sociedade por inteiro, dos produtores aos consumidores, das famílias às empresas, do setor público ao setor privado. Transformam-se comportamentos, políticas e leis. Transforma-se a própria noção de cidadania.

Quando se discutem as consequências do progresso em termos de sustentabilidade e de responsabilidade ambiental, o lixo é um tema central, quase sempre tratado como vilão. Fazer do lixo um aliado do progresso – e não sua consequência indesejável – é a crença fundamental da Estre

A visão da organização é liderar e ser referência no mercado brasileiro de soluções ambientais, de forma inovadora, ética e sustentável.

A missão é prover soluções ambientais inovadoras, de forma segura, responsável e ética, para melhorar a qualidade de vida da sociedade, promovendo sua conscientização e engajamento, gerando valor aos clientes e acionistas. Tendo como valores:

- Reconhecemos e valorizamos Nossa Gente;
- Fazemos o certo, com segurança;
- Temos paixão pelo Negócio;
- Agimos como Donos;
- Atuamos com Humildade, Simplicidade e Ética;
- Estimulamos a Inovação.



Figura 18: Vista aérea do aterro sanitário de Tremembé-SP.



Figura 19: Vista das células do aterro sanitário de Tremembé-SP.

6.2 CÁLCULO DA GERAÇÃO DO BIOGÁS

6.2.1 Modelo teórico

O Modelo Teórico adotado para estimar o potencial de produção do biogás gerado no Aterro Sanitário do CGR TREMEMBÉ foi o LandGEM (Landfill Gas Emissions Model), versão 3.02 da EPA (Environmental Protection Agency), que foi criado, nomeadamente, pelo CATC (Control Air Technology Center) e pelo NRMRL (National Risk Management Research Laboratory).

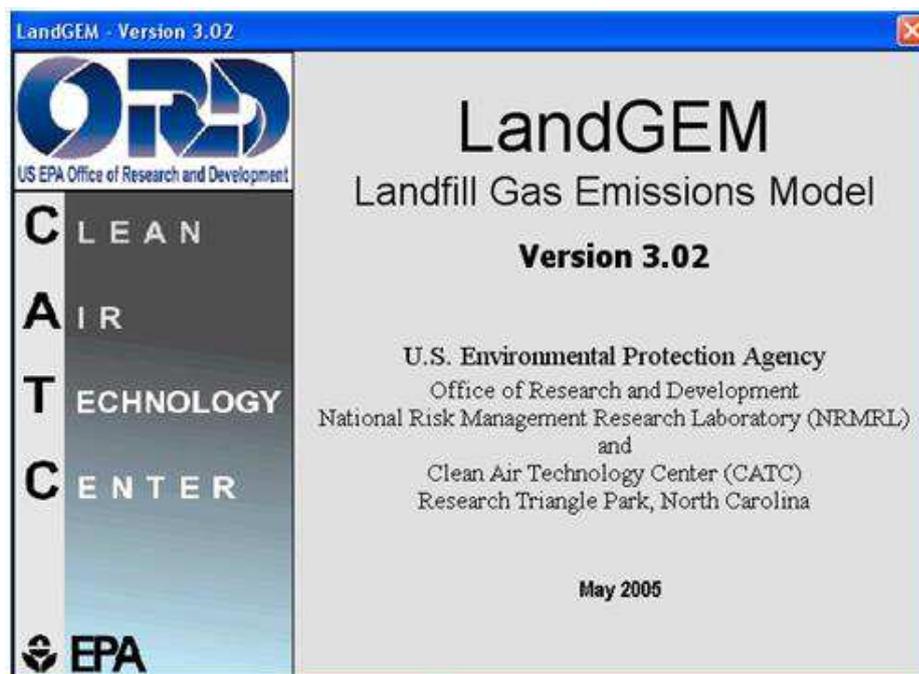


Figura 20: Modelo teórico para o cálculo da produção de biogás

Embora existam diversos modelos teóricos, que se baseiam na Função Exponencial de Primeira Ordem para quantificar as emissões da degradação dos resíduos depositados, o LandGEM é o modelo matemático mais utilizado a nível mundial para a estimativa do biogás dada a credibilidade da EPA.

Este método de cálculo define uma curva de produção em função de parâmetros referentes à capacidade potencial de produção de gás metano pelos resíduos depositados (L_0) e à taxa de produção de gás metano (k), agregados a uma função exponencial que tem em consideração as seguintes variáveis: a média de resíduos dispostos por ano na área do aterro sanitário; as datas nas quais estes resíduos foram depositados; a vida do aterro; idade de deposição dos resíduos (para que sejam alcançadas as condições anaeróbicas de modo a promover a produção de gás metano). As variáveis mais determinantes são a data de início de

funcionamento do aterro e a quantidade de resíduos depositada. É, portanto um modelo em que se adotam os parâmetros compatíveis com o clima da região e a composição física dos resíduos depositados.

Designa valores pré-estabelecidos aos parâmetros k e Lo , para uma avaliação preliminar conservadora do aterro. No entanto, esses parâmetros de entrada precisam ser selecionados com conhecimento das condições específicas do aterro e da localização geográfica. Sendo assim, para obter uma simulação mais precisa é necessário calcular Lo e k nas condições locais do aterro.

Segundo USEPA (1991) o fator Lo depende da composição do resíduo e das condições do aterro para o processo de metanização, estando os valores encontrados na literatura entre 6,2 e 270 m³ de CH₄/ t de resíduo para aterros americanos. O valor padrão utilizado é de $Lo=170$ m³ de metano por tonelada de resíduos (USEPA, 2005).

A constante de decaimento (k) está relacionada com o tempo necessário para a fração de carbono orgânico degradável (COD) do resíduo decair para metade de sua massa inicial, podendo ser obtida por processo iterativo quando são conhecidas a vazão de gás metano do aterro, o valor de Lo e a quantidade e o tempo de deposição do resíduos no local (Ensinas, 2003).

A constante de decaimento varia em função de vários parâmetros, tais como: umidade, composição do resíduo, potencial de oxi-redução, alcalinidade, pH e tamanho das partículas (Garg et al., 2006).

Segundo a USEPA (2005), os valores do parâmetro k variam de 0,02 a 0,07, sendo que esta usa 0,05 nos aterros onde a precipitação anual é superior a 635 mm.

É uma metodologia criada, aprovada e posta em prática por entidades credíveis no mercado das tecnologias e know-how ambientais.

O modelo proposto baseia-se, conforme referido anteriormente, na aplicação de uma Função Exponencial de Primeira Ordem de degradação dos resíduos depositados, a qual assume que a produção de biogás atinge o ponto máximo após um determinado intervalo de tempo, que representa o período antes da produção de metano. Desta forma, o modelo supõe um intervalo de tempo de um ano entre a deposição dos resíduos e a produção de biogás. Após um ano, prevê-se que a produção de biogás decresça exponencialmente à medida que é consumida a fracção orgânica dos resíduos.

Para a utilização correta deste modelo, é requerido o conhecimento, no mínimo, da quantidade de resíduos depositados e a data de abertura e fecho do aterro sanitário.

Para locais com índices de deposição conhecidos ou estimados, por se encontrarem numa área geográfica com características semelhantes, o modelo estima a razão de produção de biogás num dado ano usando a seguinte equação.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_o \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}}$$

Sendo:

Q_{CH_4} – produção anual de metano no ano de cálculo (m³/ano)

i – incremento de 1 ano

n – ano de cálculo – ano anual de aceitação de resíduos

j – 0,1 parte do incremento de 1 ano

k – taxa de produção de metano (ano⁻¹)

L_o – capacidade potencial de produção de metano (m³/ano)

M_i – massa de resíduos aceite no ano i (Mg)

T_{ij} – idade da secção j da massa de resíduos M_i aceite no ano

6.2.2 Produção de Biogás no CGR TREMEMBÉ

A Tabela 3 apresenta a quantidade de resíduo depositado e estimativa de deposição até o encerramento do aterro.

Tabela 3: Deposição de resíduos.

| Início da deposição | Resíduo Depositado | Recepção em 2016 | Resíduo depositado até 06/2017 | Capacidade para recepção | Estimativa de encerramento |
|---------------------|--------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Ano | Milhões de ton | Milhões de ton | Milhões de ton | Milhões de ton | Ano |
| 1996 | 1500 | 0,4 | 4,0 | 7,02 | 2030 |

Teor de Metano: Admite-se que o teor de metano presente no biogás do Aterro Sanitário entre 40% de 50%.

Taxa de Captação de Biogás: A taxa de captação de biogás traduz a porcentagem de biogás captado relativamente à quantidade total de biogás que é produzido no aterro sanitário. Esta constante está diretamente relacionada com a fração da massa de resíduos que está sujeita à drenagem de biogás do aterro sanitário. Este valor varia também em função de diversos fatores e poderá encontrar-se num intervalo que varia entre 0% (para um sistema de drenagem ausente) e 100% (valor teórico para um sistema de drenagem num aterro fechado sujeito a uma excelente construção e operação).

A taxa de recuperação do biogás é baseada em critérios técnicos de engenharia, e tem em consideração diversos aspectos, incluindo:

- Se o aterro é fechado ou ativo;
- Tipo de construção dos poços de drenagem e construção do sistema de biogás;
- Nível de operação;
- Rapidez com que as canalizações e os poços (e outros equipamentos) são reparados;
- Níveis de percolado nos poços.

Os trabalhos de exploração do aterro, com a adequada cobertura e compactação diária dos resíduos depositados, contribuem para a eficiência da captação do biogás. É igualmente muito importante que os poços de biogás e a respectiva rede de captação estejam operacionais e eficientes, devendo instalar-se novos poços quando se verificar o entupimento ou destruição de poços, de modo a manter a área do aterro adequadamente coberta.

Tendo em consideração os aspectos descritos anteriormente assumiram-se um valor para a Taxa de Captação do Biogás de 80 % em 2013 e 90% a partir de 2013, o que se considera exequível operacionalmente.

6.2.2.1 Produção estimada do biogás

O Gráfico 1 apresenta a estimativa de produção de biogás e respectiva produção de eletricidade em potencial.

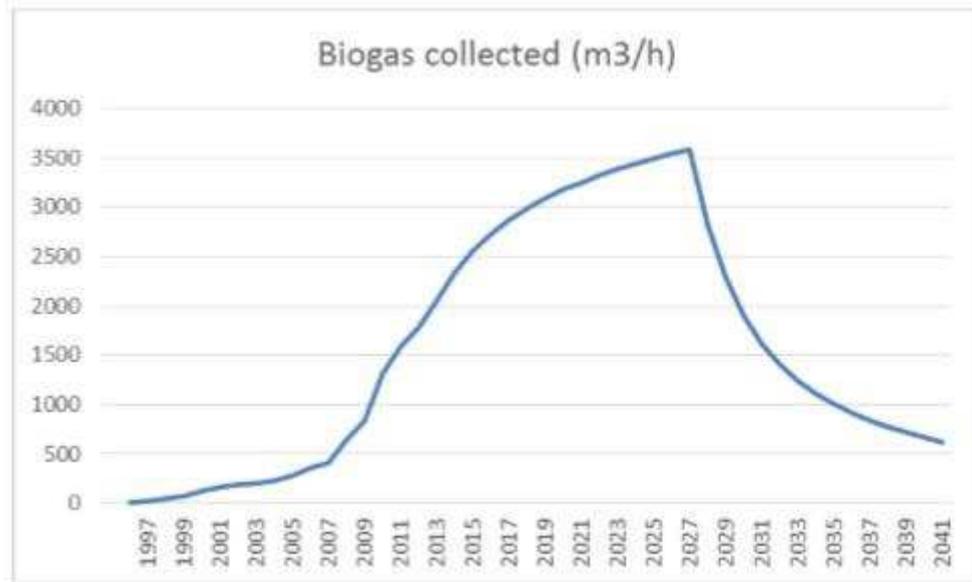


Figura 21: Expectativa de produção de biogás no aterro Resicontrol através do software LandGEM.

6.2.2.2 Geração de Energia Elétrica

Estão contemplados no presente projeto, 04 motogeradores de 1426 kW elétricos para produção de energia elétrica com as principais características técnicas descritas de seguida.

Produção de energia elétrica – Grupo Motogerador: O biogás é injetado nos grupos motogeradores de 1426 kW, cujas características técnicas são apresentadas na tabela 4 seguinte.

Tabela 4: Características Técnicas dos MotoGeradores.

| MOTOR | | |
|--|---------------------|------------------|
| Poder calorífico inferior do gás (PCI) | kWh/Nm ³ | 4 |
| Input Energético | kW | 3.619 |
| Caudal de gás | Nm ³ /h | 905 |
| Potência mecânica | kW | 1.466 |
| Potência elétrica (cos φ = 1,0) | kW | 1.426 |
| Consumo específico de combustível | kWh/kWh | 2,47 |
| Rendimento elétrico | % | 39,4 |
| Temperatura dos gases de escape | °C | 465 |
| Comprimento do contentor | mm | 12 200 |
| Largura do contentor | mm | 3.000 |
| Altura do contentor | mm | 2.600 |
| Peso (em vazio) | kg | 35.000 |
| Peso (pronto para funcionar) | kg | 36.900 |
| Tipo de motor | | JGC420 GS – L.L. |
| Número de cilindros | | 20 |
| Cilindrada | Litros | 61,10 |
| Velocidade Nominal | r.p.m. | 1.800 |
| GERADOR | | |
| Rendimento (cos φ = 1) | % | 97,3 |
| Potência nominal efetiva (cos φ = 1) | kW | 1.426 |
| Frequência | Hz | 60 |
| Tensão (em vazio) | V | 600 |
| Velocidade nominal | r.p.m | 1.800 |
| Índice de proteção | | IP 23 |
| Classe de isolamento | | H |

Vantagens do grupo motogerador AB Cogeneration world ECOMAX Biogás:

- Compatibilidade, versatilidade e modularidade;
- Isolamento térmico;
- Condicionamento do ar;
- Isolamento acústico;
- Fácil manutenção;
- Rápida instalação e partida;
- Facilidade de interconexão com sistemas existentes.



Figura 22: Contêiner com motor gerador instalado de 1,407 MW.

Instalações elétricas:

Cada motor está conectado diretamente a um gerador de eletricidade, na tensão da energia elétrica trifásica de 480V e na frequência de 60 Hz. A energia elétrica produzida será aproveitada para a interligação a rede da EDP BANDEIRANTES, pela subestação de Média Tensão.

Na planta de geração serão instalados, transformadores para a elevação da tensão de 0,48 kV para 13,8 kV (ou outra tensão indicada pela BANDEIRANTES), adjunto a cada grupo motogerador. A Interconexão com a rede será realizada numa Subestação Elevadora de 13,8 kV (ou outra tensão indicada pela BANDEIRANTES) para 138 kV; esta subestação será construída junto à área da Usina. Do barramento da Subestação a energia será fornecida a rede de distribuição de concessionária local – BANDEIRANTES, com as devidas proteções.

6.3 CÁLCULO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

O cálculo da viabilidade econômica do projeto – estudo de caso – foi realizado com base em informações recebidas de outras termelétricas a biogás e aterros sanitários visitados, com isto baseiam-se em informações verdadeiras e muito próximas a nossa realidade no aterro de Tremembé.

Podemos observar através dos cálculos que o projeto atinge uma viabilidade econômica muito grande, pois em apenas dois anos de implantação o projeto já terá pago todo o investimento feito, restando ainda aproximadamente vinte anos de geração de energia elétrica.

Custo para implantação = 9 MILHÕES

Geração = 4 MW

Valor de venda = R\$ 250/MWh

Tempo de funcionamento = 8.000 horas (8.760htotal)

Manutenção prevista = 760 horas

Total bruto de faturamento = 4 MW x 8.000 horas x R\$ 250/MWh

Total bruto de faturamento = 8 MILHÕES

Retorno do investimento → 2 anos

7. CONCLUSÃO

Com base no trabalho realizado, nota-se que as pesquisas sobre geração de energia através de resíduos sólidos têm se multiplicado, realizando significativos avanços nesta área, como alternativa, frente aos métodos tradicionais que ora estão em escassez.

Apesar disso, ainda são poucas as iniciativas, especialmente no Brasil, de utilização desta energia. Isso se deve ao fato, especialmente, dos elevados custos de implantação, operação e manutenção destas tecnologias. A questão ambiental exige a pesquisa e a aplicação do método apresentado como alternativa necessária, devido ao aumento da produção de resíduos sólidos e a escassez dos combustíveis fósseis no mundo.

Concluiu-se, então, que os aterros sanitários representam uma das alternativas mais interessantes para a disposição final do lixo, considerando, posteriormente, a geração de biogás, pois dispõem de técnicas de captação dos gases liberados através de dutos e queima em flares, onde o metano, principal constituinte do biogás, é transformado em dióxido de carbono, com potencial de aquecimento global cerca de 21 vezes menor. O aterro Resicontrol – CGR Tremembé, objeto do estudo de caso, conta também com dutos para captação do chorume que, se não for devidamente coletado, acarretará poluição dos recursos hídricos. O presente estudo mostrou que o aterro Resicontrol possui um potencial de geração de energia elétrica de aproximadamente 4,2 MW em 2017, podendo chegar a 5 MW no ano de seu maior potencial de geração, 2028.

A implantação de um sistema de geração de energia em um aterro tem alto custo, porém, é a solução eficaz para problemas provocados pela emissão de metano, reduzindo dessa forma a emissão de gases de efeito estufa. A energia gerada pelo sistema poderá ser consumida pelo próprio aterro e a excedente vendida para empresas privadas. Portanto, o retorno dos investimentos se dá em um curto intervalo de tempo, justificando a viabilidade econômica deste projeto.

8. BIBLIOGRAFIA

EIGENHEER, Emílio Maciel. **A limpeza urbana através dos tempos**. Porto Alegre, RS: CAMPUS, 2009. 144 p.

Ministério do Meio Ambiente. **Cidades sustentáveis: resíduos sólidos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos>. Acesso em 06/08/2017.

TOIMASQUIM, M. T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: Editora Interciência, 2003. 515p

Ministério do Meio Ambiente. **Cidades sustentáveis: resíduos sólidos, gestão de resíduos orgânicos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/item/10615#o-que-fazer>. Acesso em 06/08/2017.

Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/politica-de-residuos-solidos>. Acesso em 06/08/2017.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Resíduos sólidos: classificação NBR 10004**. São Paulo, 2004

Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO). **Projeto de instalações e testes de uma unidade de demonstração de geração de energia elétrica a partir de biogás de tratamento de esgoto**. Relatório técnico final. São Paulo, 2005.

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

Portal Resíduos Sólidos. **Aterro controlado**. Disponível em: <http://www.portalresiduossolidos.com/aterro-controlado/>. Alemanha, 2013 Acesso em 06/08/2017.

LIXO. **Lixão x Aterro**. Disponível em: <http://www.lixo.com.br/content/view/144/251/>. Acessado em 06/08/2017.

Companhia Ambiental do estado de São Paulo. **Biogás:** definição. Disponível em: <http://biogas.cetesb.sp.gov.br/biogas/definicao/>. Acesso em 06/08/2017.

Governo do Brasil. **Entenda como funciona o mercado de crédito de carbono.** Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/entenda-como-funciona-o-mercado-de-credito-de-carbono>. Acesso em 06/08/2017.

Filho, L. F. B. Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

Grupo AB cogeregation world. **Biogás:** soluções ECOMAX BIOGÁS. Disponível em: <http://www.gruppoab.it/pt-br/biogas/solucoes/a-gama/ecomax-biogas/>. Acesso em 06/08/2017.

Piñas, Jean Agustin Velásquez et al. **Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb).** Rio de Janeiro, RJ, 2016. 188 p.

TANAKA, Kayro Massayuki da Silva; LACERDA, Lucas Augusto. **Geração de energia elétrica através do aproveitamento de gases provenientes de resíduos sólidos urbanos oriundos de aterros sanitários.** 2015. 72 p. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Manual para aproveitamento de biogás. **Aterros Sanitários.** Disponível em: http://www.resol.com.br/cartilha12/manual_iclei_brazil.pdf. São Paulo, 2009 .80 p. Acesso em 06/08/2017.

Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM). **Classificação dos resíduos sólidos.** Disponível em: <http://www.ibam.org.br/>. Acesso em 06/08/2017.

EBC Agência Brasil. **Maior termelétrica com combustível renovável é inaugurada em São Paulo.** Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-09/maior->

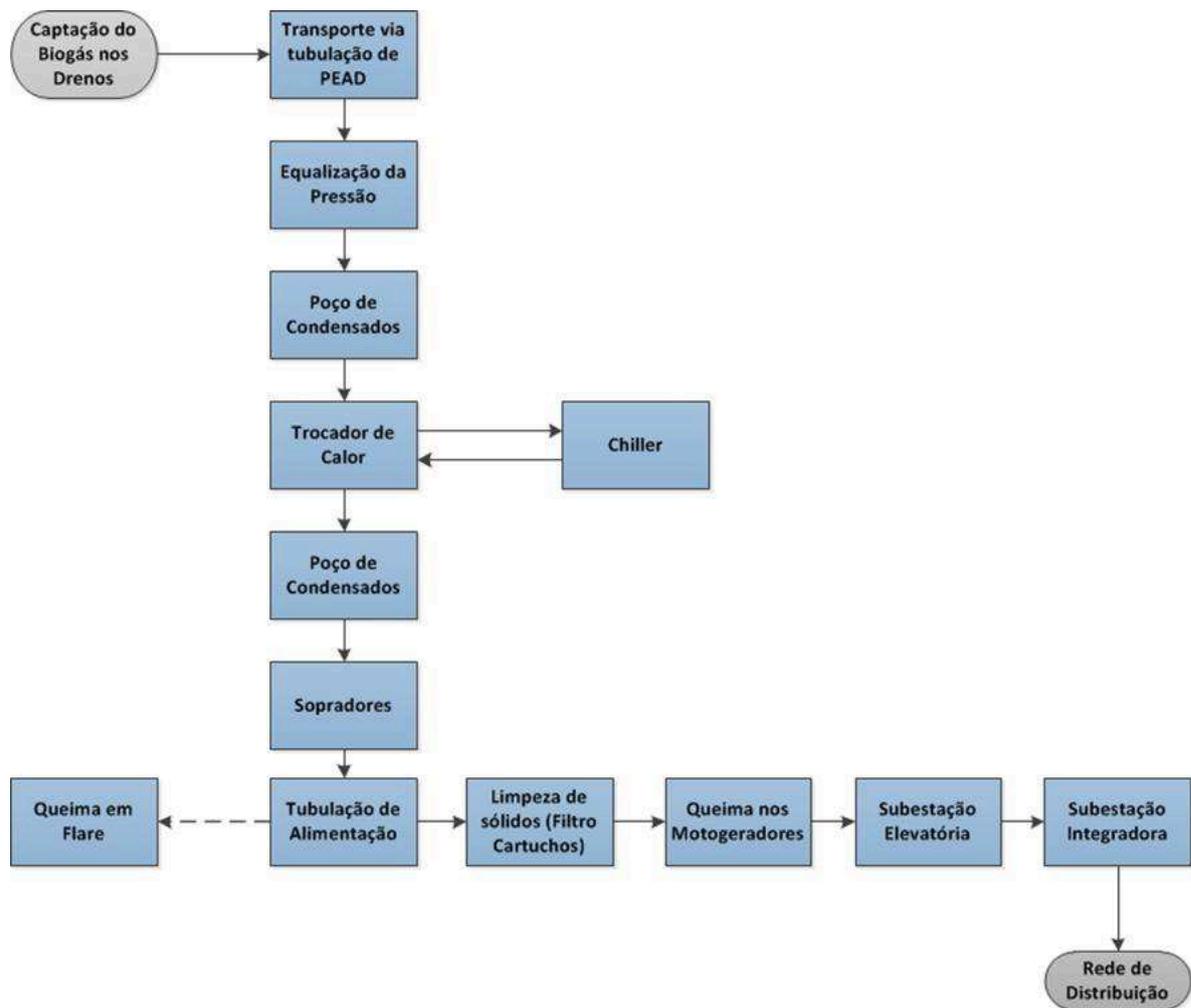
termeletrica-com-combustivel-renovavel-e-inaugurada-em-sao-paulo. São Paulo, 2016. Acesso em 06/08/2017.

Gestão e comercialização de energia. **Apresentação do projeto da Termoverde Caieiras S. A.** Disponível em: <http://www.migratio.com.br/leiloes/Informa%C3%A7%C3%B5es%20do%20Projeto%20-%20Termoverde%20Caieiras%20SA.pdf>. São Paulo, 2015. 5 p. Acesso em 06/08/2017.

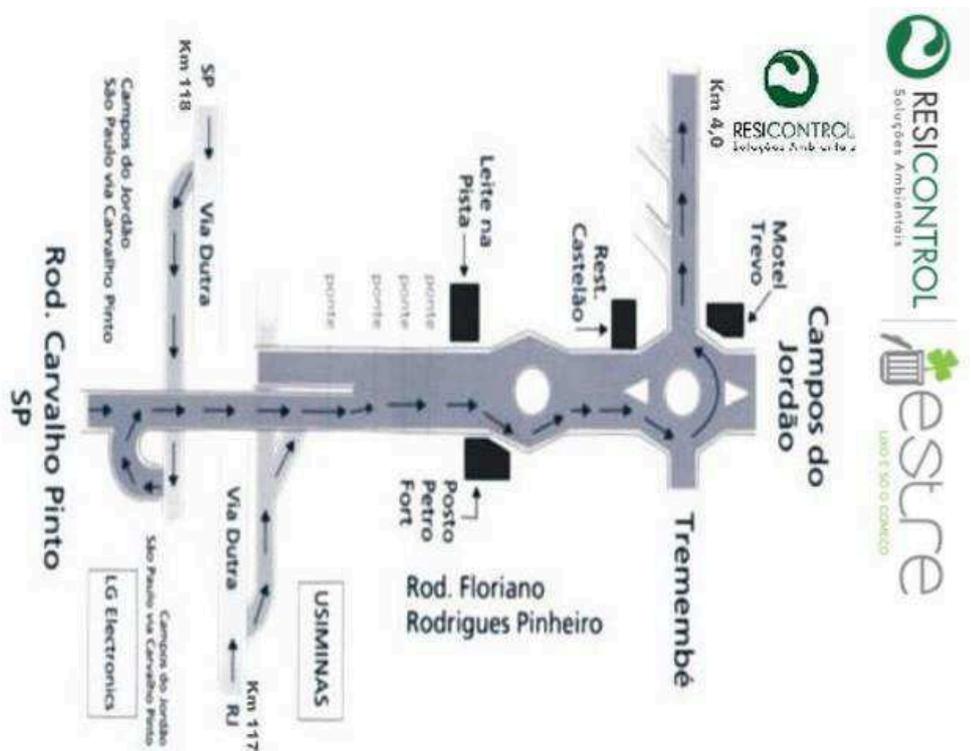
UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). LANDGEM (Landfill Gas Emission Model), Version 3.02 – User’s Guide, EPA – Environmental Research Group.

ANEXO I – Fluxograma do Processo da RESICONTROL

Este fluxograma tem como finalidade explicitar resumidamente a geração de energia desde a captação do biogás através das tubulações, passando pelo processo de tratamento do gás até a geração de energia através da queima nos motogeradores chegando enfim na subestação.



ANEXO II – Identificação e localização da RESICONTROL



Identificação e Localização

Nome: Resicontrol Soluções Ambientais S/A – Unidade de Tremembé.

Localização: A planta está localizada aproximadamente a 160 km de São Paulo margeando a principal estrada que liga São Paulo ao Rio de Janeiro.

Endereço: Estrada Municipal Luis Macedo Barroso, Km 2,2 – bairro Mato Dentro – Tremembé São Paulo - Brasil Caixa Postal 80 - CEP: 12120-000.
Tel.: (012)3607-2100 / Fax: (012)3607-2104

