

LABORATÓRIO DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL EM TÉCNICAS  
LABORATORIAIS EM SAÚDE (LATEC)  
ESCOLA POLITÉCNICA DE SAÚDE JOAQUIM VENÂNCIO  
FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ

Mariana Neiva Galição Reis

**PRODUÇÃO DE ENERGIA LIMPA ATRAVÉS DO GÁS METANO  
PROVENIENTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Rio de Janeiro

2011

Mariana Neiva Galição Reis

**PRODUÇÃO DE ENERGIA LIMPA ATRAVÉS DO GÁS METANO  
PROVENIENTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio como requisito parcial para Aprovação no Curso Técnico de Nível Médio em Saúde com habilitação em Análises Clínicas.

Orientadora: Virginia de Lourdes Mendes Finete

Rio de Janeiro

2011

Mariana Neiva Galição Reis

**PRODUÇÃO DE ENERGIA LIMPA ATRAVÉS DO GÁS METANO  
PROVENIENTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio como requisito parcial para Aprovação no Curso Técnico de Nível Médio em Saúde com habilitação em Análises Clínicas.

Aprovado em \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr<sup>a</sup> Cristina Lúcia Silveira Sisinnio- CETEM

---

Prof<sup>a</sup> Msc. Mônica Mendes Caminha Murito- EPSJV/ FIOCRUZ

---

Prof<sup>a</sup> Msc. Virginia de Lourdes Mendes Finete (orientadora) – EPSJV/ FIOCRUZ

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer primeiramente a Deus que sempre está ao meu lado, à minha querida orientadora, por ter toda a paciência do mundo comigo e por me oferecer uma troca tão maravilhosa de conhecimentos; quero agradecer também aos meus pais, por me apoiarem e a todos os meus amigos por terem passado por todos os momentos ao meu lado.

## RESUMO

Um dos desafios enfrentados pela sociedade é a procura de formas de manter a produção de resíduos, sem que essa produção continue a causar gigantescos danos ao meio ambiente. As mudanças climáticas já deixaram claro que algo está errado, e a presença de uma crise ambiental é mais perceptível.

Este trabalho busca apresentar uma forma sustentável de produção de energia limpa, usando como matéria – prima para este processo o gás metano que provém dos resíduos sólidos, sendo necessário para isso o investimento em centros adequados para o tratamento de todo o lixo coletado. A construção dos CTR's, Centros de Tratamento de Resíduos, tem como objetivo realizar a correta disposição dos resíduos, de forma que estes não causem nenhum dano a quaisquer seres vivos, incluindo nessa classificação o meio ambiente, e reutilizar qualquer subproduto que seja gerado de tal processo, como o chorume e o gás metano.

O gás metano possui grande capacidade energética, que é mostrada nesse trabalho, e seu uso além de aumentar a produção de energia no país, de forma completamente limpa, reduziria sua taxa de emissão para a atmosfera, ocasionando uma diminuição do efeito estufa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gás Metano, Biogás, Energia Limpa, Resíduos Sólidos.

*"Só quando a última árvore for derrubada, o último peixe for morto e o último rio for poluído é que o homem perceberá que não pode comer dinheiro."*

*(Provérbio Indígena)*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Coleta do gás nos pântanos.....	13
Figura 2: 2.1-Desenho original da pistola de Volta.....	14
Figura 2: 2.2- Pistola de Volta.....	14
Figura 3: Fórmula estrutural do Metano (CH <sub>4</sub> ).....	16
Figura 4: Perigos do Gás Metano.....	18
Figura 5: Despejo Inadequado de lixo. ....	21
Figura 6: Fontes de Energia Limpa. ....	24
Figura 7: Visão geral do CTR Nova Iguaçu. ....	25
Figura 8: Canalização de gases e outras características do CTR Nova Iguaçu.....	27
Figura 9: Chegada do lixo e compactação.....	28
Figura 10: Área Verde. ....	29
Figura 11: Processo de geração de energia atrás do biogás com motores a diesel .....	32
Figura 12: Processo de geração de energia através de turbinas a gás.....	33
Figura 13: Formas de geração de energia .....	34
Figura 14: Linha de processo com célula combustível .....	34
Figura 15: Esquema de funcionamento de célula combustível.....	35
Figura 16 : O lixo e o meio ambiente.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais propriedades físico-químicas do gás metano.....	17
Tabela 2: Classificação de resíduos sólidos de acordo com sua origem.....	23
Tabela 3: Composição do Biogás antes da purificação.....	30
Tabela 4: Composição do Biogás após o processo de purificação.....	31
Tabela 5: Disposição de resíduos no CTR.....	37

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Composição Química do Biogás.....	12
Gráfico 2: Emissão de Gás Metano por diferentes tipos de resíduos.....	22
Gráfico 3 : Gráfico dos créditos de carbono.....	29

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2. O GÁS METANO.....</b>	<b>12</b>
2.1 A DESCOBERTA DO GÁS METANO.....	12
2.2 OBTENÇÃO DO GÁS METANO.....	15
2.3 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO GÁS METANO.....	16
2.4 POTENCIAL ENERGÉTICO DO GÁS METANO.....	19
<b>3. O LIXO NA HISTÓRIA DA SOCIEDADE.....</b>	<b>20</b>
3.1 OS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	21
<b>4. A PRODUÇÃO DE ENERGIA LIMPA.....</b>	<b>24</b>
4.1 A TRANSFORMAÇÃO DO GÁS METANO EM ENERGIA.....	30
4.1.1 TURBINAS A GÁS.....	32
4.1.2 CÉLULA COMBUSTÍVEL.....	33
4.2 OS CUSTOS DE PRODUÇÃO E AS DEMANDAS ENERGÉTICAS..	36
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>40</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos temas mais discutidos atualmente é o meio ambiente, que tem sido ao longo da história mundial degradado pelo homem por diversos motivos, seja pela exploração de matéria-prima, ampliação do espaço urbano, entre outros fatores.

A obtenção de energia destaca-se nesse contexto, por ser um dos maiores desafios da humanidade, desde os tempos pré-históricos, e estar inevitavelmente ligada a essa degradação. A poluição de rios, desmatamentos, queimadas, poluição do solo e do ar tem se tornado um problema para a humanidade, que procura uma solução ou um retardar de todos os fatores que estão pondo a sociedade em risco. Após vários anos essa deterioração mostra-se altamente perigosa, não só para a fauna e para a flora, mas para o próprio ser humano.

O consumo de energia para manutenção da sociedade contemporânea, dado seu desenvolvimento tecnológico nos dias de hoje, é bastante elevado, e isso vem gerando um problema conhecido como “crise energética”. O grande desafio é encontrar formas de obter energia que assegurem a qualidade de vida da população mundial sem que isso implique na destruição dos recursos naturais. Os meios para obtenção desta energia evoluíram de maneira surpreendente ao longo da história e contribuíram significativamente para o progresso da humanidade (SARDELLA, 2000).

A produção de energia limpa, que não cause qualquer impacto ambiental é uma das soluções encontradas para a melhoria dessa destruição ambiental. As energias solar e eólica, são novas formas de energia adotadas atualmente, porém a maioria dessas fontes de energia alternativa mostra-se falha quando analisada: no caso da energia eólica, por exemplo, pois afinal não venta todos os dias; no caso da energia solar, um fator parecido, não faz sol todos os dias, mesmo com estoques de energia não é tão vantajoso. Em contrapartida, a geração de energia através de biomassas e biogás se mostra adequada a suprir a demanda energética.

Um dos meios possíveis para geração de energia através do biogás é pela recuperação do gás metano, produzido pela decomposição de resíduos orgânicos, encontrados em grande quantidade em aterros e lixões. Logo, o metano é um gás abundante, e como a produção de resíduos sólidos é necessária na sociedade, torna-se uma substância, a princípio, com um ciclo inesgotável.

Este trabalho visa o estudo dos processos químicos que ocorrem na transformação do gás metano em energia limpa, sem que neste processo ocorra a

degradação ambiental de qualquer tipo, mas sim a melhoria no tratamento de resíduos sólidos. Torna-se importante o estudo dos processos químicos, pois é mais do que necessário que se saiba como tratar esse tipo de energia desde sua origem, ou seja, a sua coleta, o seu processamento e sua transformação. No primeiro capítulo será apresentado o gás metano, sua história, descoberta, fontes de obtenção, suas propriedades químicas e físicas, seguindo no segundo capítulo para os resíduos sólidos na sociedade, sua produção, sua época de crise, as alternativas para melhorar sua destinação e seu tratamento, e como o lixo afeta a sociedade de diferentes maneiras, de acordo com a ordem social. Será então destacada, no terceiro capítulo, a produção de energia limpa, os processos químicos envolvidos nessa produção de energia e seus custos, concluindo no capítulo quatro, em como essa forma alternativa de produção poderá influenciar o meio ambiente.

## 2. O GÁS METANO

O gás metano é considerado um dos mais simples hidrocarbonetos. Os hidrocarbonetos são compostos onde só há ligação entre carbonos e hidrogênios, sem qualquer outro elemento fazendo parte de sua composição. O metano encontra-se na atmosfera na proporção aproximada de 1,7 ppm (partes por milhão) e também é um gás participante no efeito estufa, possuindo potencial de aquecimento global equivalente a vinte e uma vezes o do dióxido de carbono.

### 2.1 A DESCOBERTA DO GÁS METANO

A origem do gás metano vem do chamado “Biogás”. O biogás é uma mistura gasosa (Gráfico 1) formada principalmente por metano e dióxido de carbono, em média, em partes iguais. Há ainda dezenas de substâncias presentes em sua composição, como o gás sulfídrico, causador do mau cheiro característico, traços de siloxinas e vapor de água (CAMPOS, 1999). O biogás é obtido pela degradação anaeróbia da matéria orgânica, processo que gera também energia.

Composição do Biogás

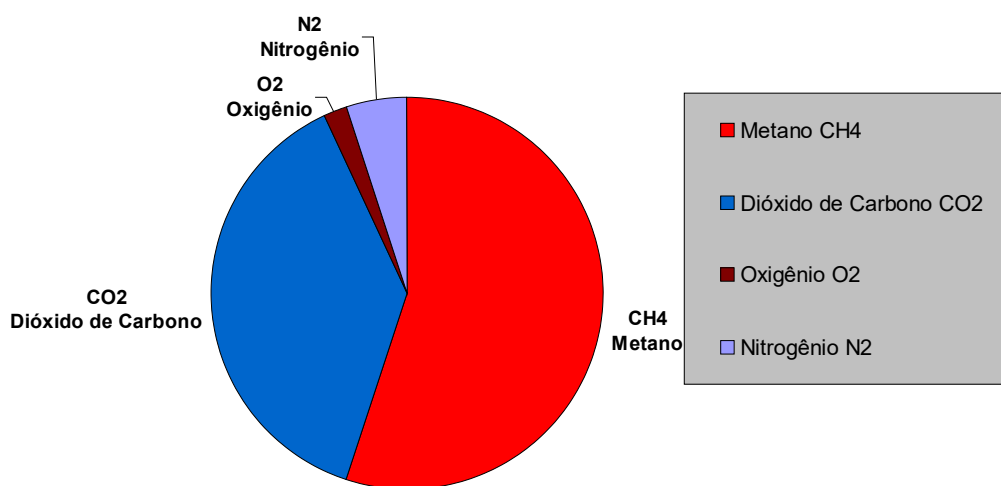


Gráfico 1: Composição Química do Biogás. Adaptado de:  
<http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/gasosos/biogas/captacao.htm>

Mas, antes de estudar mais profundamente como esse fenômeno bioquímico ocorre, e como é possível obter o gás metano e energia através deste, cabe destacar que

a digestão anaeróbia tem sido utilizada há vários séculos para tratamento de resíduos líquidos e sólidos, mesmo antes que houvesse um entendimento do que é o biogás, e consequentemente, que ele é constituído principalmente de gás metano.

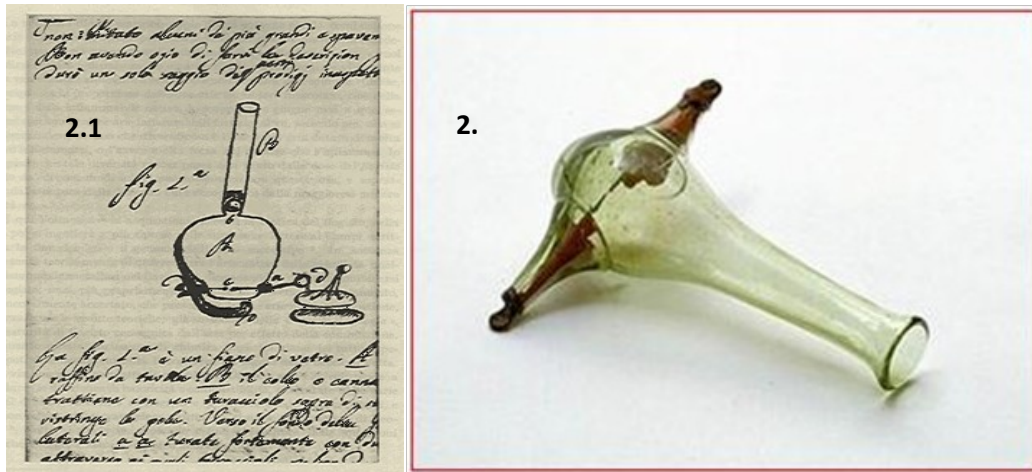
Os primeiros relatos do aproveitamento energético do metano remontam ao século X A.C. na Assíria, onde esse gás era utilizado para aquecimento das águas de banho; assim como na China e na Índia, os resíduos sólidos rurais eram utilizados para geração de energia (REICHERT, 2005).

Somente em 1776, o físico italiano Alessandro Volta, que há dois anos dedicava-se ao estudo da química e da eletricidade atmosférica, descobriu o gás metano ao passear de barco pelo lago Maggiore e perceber que ao revolver o fundo do lago com uma vara, desprendia-se um gás que se armazenado em frascos podia ser queimado depois (Figura 1).



Figura 1: Coleta do gás nos pântanos. Fonte: <http://ppp.unipv.it/volta/pages/eavus3.htm>

Este gás, que Volta chamou de “ar inflamável dos pântanos”, era o metano, com o qual ele ainda realizaria alguns estudos que resultaram na criação de um dispositivo que mede a força de uma explosão, a “pistola de Volta” (Figura 2).



**Figura 2: 2.1.-Desenho original da pistola de Volta** Fonte: <http://ppp.unipv.it/volta/pages/eavus3.htm>. 2.2.-Pistola de Volta (1780). Fonte: site da Puc-Rio.

Cerca de um século depois, em 1884, o cientista francês Louis Pasteur apresentou à Academia de Ciências o trabalho do seu aluno, Ulysse Gayon, que realizou uma fermentação anaeróbica de uma mistura de estrume com água conseguindo obter biogás. Pasteur acreditava que esta fermentação podia constituir uma fonte de energia para aquecimento e iluminação.

Pasteur tinha razão, e em 1895, ocorreu a primeira experiência europeia, com a utilização do biogás para iluminação de algumas ruas da cidade de Exeter, na Inglaterra. Apesar disso, este combustível não conseguiu vingar como substituto dos tradicionais (Combustíveis fósseis, petróleo e alguns derivados).

Somente no início da década de 40, por consequência da crise energética causada pela II Guerra Mundial, o biogás tornou a ser uma alternativa para aquecimento e como combustível de motores de combustão interna. Porém essa alternativa só foi seguida pela maioria dos países menos desenvolvidos e com poucos recursos, já os países ricos e mais desenvolvidos foram novamente atraídos pelas fontes de energia tradicionais, como os combustíveis fósseis.

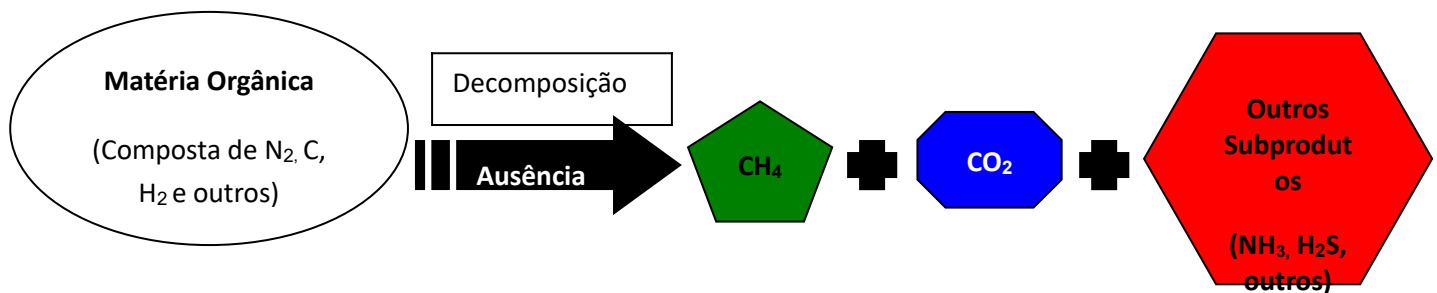
Na década de 70, com a ocorrência de mais uma crise energética, o biogás volta a chamar a atenção dos países desenvolvidos, gerando um aumento na produção do mesmo em países do hemisfério Sul. Junto da crise vieram os aumentos nos preços do fornecimento de energia, o que estimulou o desenvolvimento de formas alternativas de produção da mesma. No Brasil, vários programas de energias alternativas floresceram, entre eles o uso do biogás em veículos como substituto da gasolina. (Biogás, Pesquisas

e Projetos no Brasil, 2006). Essas formas alternativas, após o fim da crise, deram novamente substituídas pelo uso dos combustíveis minerais.

## 2.2 OBTENÇÃO DO GÁS METANO

Há várias formas de obtenção do gás metano, algumas delas são: a decomposição anaeróbia de lixo orgânico, a digestão de animais herbívoros e a extração de combustíveis minerais, principalmente o petróleo.

Denomina-se de decomposição anaeróbia qualquer processo de digestão que resulte na transformação da matéria orgânica biodegradável, na ausência de oxigênio, com produção de metano, dióxido de carbono, e outros subprodutos como amônia, sulfetos e fosfatos.



O processo de digestão é desenvolvido por uma sequência de ações realizadas por uma gama muito grande e variável de bactérias, no qual se pode distinguir quatro fases subsequentes: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). Tem-se, então, uma cadeia sucessiva de reações bioquímicas, onde inicialmente acontece a hidrólise ou quebra das moléculas de proteínas, lipídios e carboidratos até a formação dos produtos finais, essencialmente gás metano e dióxido de carbono.

### 2.3 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO GÁS METANO

O metano é um gás inodoro e incolor, sua molécula é tetraédrica e apolar (Figura 3), e sua fórmula molecular é  $\text{CH}_4$ . Classifica-se como um hidrocarboneto simples (composto apenas por um átomo de carbono e quatro átomos de hidrogênios), e está contido em quase todos os gases naturais. Como vimos no item 1.2., esse gás pode ser obtido através da decomposição de resíduos orgânicos, formando um radical metila ( $\text{CH}_3$ ), que reage com o oxigênio, daí a facilidade de entrar em combustão. (ALVES, Equipe Brasil Escola, 2006).

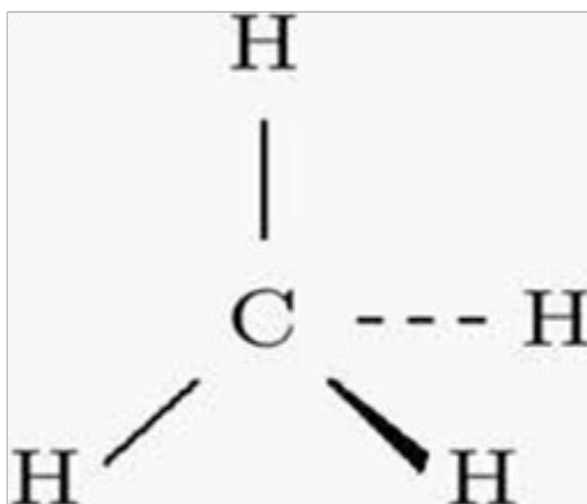


Figura 3: Fórmula estrutural do Metano ( $\text{CH}_4$ ).Fonte: [http://www.achetudoeregiao.com.br/animais/gif\\_animal/mamiferos/formula\\_metano.jg](http://www.achetudoeregiao.com.br/animais/gif_animal/mamiferos/formula_metano.jg)

Algumas das principais propriedades físico-químicas do gás metano encontram-se na **Tabela 1**. Observa-se que o metano possui pouca solubilidade em água, possui alto grau de inflamabilidade, um ponto de ebulição não tão alto em relação ao da água, uma temperatura crítica relativamente alta. É um bom condutor e seu calor de combustão à temperatura e pressão constantes é diferenciado dependendo do que se quer obter em relação ao  $\text{H}_2\text{O}$ , sendo a obtenção deste em forma líquida o meio de maior calor de combustão.

**Tabela 1:** Principais propriedades físico-químicas do gás metano.

<b>Propriedades Físico-Químicas</b>	
Calor de combustão, gás a 25°C e pressão constante para formar H <sub>2</sub> O (líquido) + CO <sub>2</sub> (gás).	890,36 KJ/mol.
Calor de combustão, gás a 25°C e pressão constante para formar H <sub>2</sub> O (gás) + CO <sub>2</sub> (gás).	802,32 KJ/mol.
Calor molar específico, gás a 101,325 kPa e 26,8°C - pressão constante.	35,941 J/ (mol x K);
Calor molar específico, gás a 101,325 kPa e 26,8°C - volume constante.	27,531 J/ (mol x K);
Calor molar específico, líquido a -175,6°C.	53,72 J/(mol x K).
Condutividade térmica, gás a 101,325 kPa a 26,7°C.	0,034238 W/(m x K); 81,83 x 10 <sup>-6</sup> cal/(s x cm x °C).
Densidade absoluta, gás a 101,325 kPa a 0°C.	0,7174 kg/m <sup>3</sup>
Densidade relativa, gás a 101,325 kPa a 0 °C (ar=1).	0,555.
Fórmula.	CH <sub>4</sub>
Limite de inflamabilidade no ar.	5,0 a 15,4% (por volume).
Massa Molecular	16,0425
Ponto de ebulição a 101,325 kPa.	111,66 K; -161,5°C; -258,7°F
Pressão crítica.	4640 kPa; 46,4 bar; 673,1 psia; 45,8 atm
Solubilidade em água a 101,325 kPa (pressão parcial do metano) a 20°C.	0,03308 cm <sup>3</sup> /1 cm <sup>3</sup> de água
Temperatura crítica.	191,05 K; -82,1 °C; -115,8°F

Fonte: Adaptado de: [http://www.gamagases.com.br/propriedades\\_metano.htm](http://www.gamagases.com.br/propriedades_metano.htm)

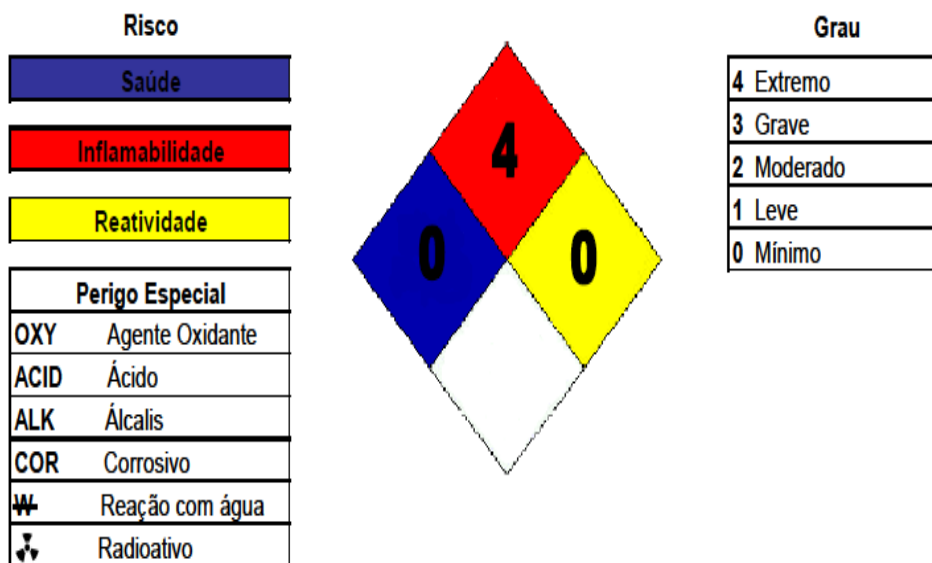


Figura 4: Perigos do Gás Metano. Fonte: Linde Gás, Ficha de Segurança.

O Gás Metano pode ser utilizado para gerar vários produtos, como o dióxido de carbono, o etanol, a amônia etc. Por seu alto grau de inflamabilidade é muito usado em testes de resistência ao fogo em laboratórios.

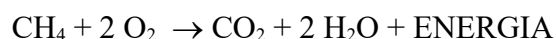
Recentemente, o gás natural, que tem como principal componente o Metano (Cerca de 90%), vem sendo utilizado no Brasil como combustível alternativo em ônibus, caminhões e outros veículos de transporte. (Gama Gases, 2007)

Assim como se pode ver na Figura 4, o Gás Metano não apresenta toxicidade, e é considerado pela Norma Regulamentadora como substância asfixiante simples, porém, em seu manejo, seja em pesquisas ou em ambiente de trabalho, recomenda-se que a concentração de oxigênio seja de no mínimo 18% em volume. (Gama Gases, 2007).

O seu alto grau de inflamabilidade é um dos pontos que o torna um excelente recurso energético, pois sua reação de combustão libera uma grande quantidade em energia.

## 2.4 POTENCIAL ENERGÉTICO DO GÁS METANO

O metano, quando reage com o oxigênio presente no ar, entra em combustão, liberando gás carbônico, um dos principais responsáveis pelo efeito estufa, e energia, segundo a equação abaixo:



Alguns cálculos indicam que aproximadamente 10% das emissões de metano liberadas na atmosfera provêm dos aterros sanitários. Para reduzir este efeito, esse gás pode ser capturado e utilizado para produzir energia, minimizando as emissões atmosféricas e funcionando como fonte de energia não convencional que substitui o uso de combustível fóssil (WORLD BANK, 2001).

É importante destacar que a redução de emissões ou a remoção de carbono atmosférico por si só não significa uma promoção de desenvolvimento sustentável. Os projetos de créditos de carbono devem ser acrescidos de promoção da sustentabilidade social, ambiental, econômica, étnica, cultural e tecnológica, ou seja, devem contribuir para a construção de uma sociedade sustentável em todas as suas dimensões (MONZONI, 2004).

A conversão do gás metano e seus produtos de combustão em motores ou outro conversor de energia, ocasiona uma redução no potencial de aquecimento global do aterro. Isso possibilita que o uso energético ou mesmo uma queima controlada do biogás no aterro seja um projeto que pode se enquadrar a um financiamento externo do chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), previsto no Protocolo de Kyoto (ENSINAS, 2003). O uso do Protocolo de Kyoto e, especialmente, de projetos de MDL como instrumentos para enfrentar as mudanças climáticas, tem gerado polêmicas e impasses, dividindo posições entre países, governos, ONGs, sociedade civil, cientistas e o setor privado (PARENTE).

### 3. O LIXO NA HISTÓRIA DA SOCIEDADE

Em toda a história nunca se teve uma produção tão grande de lixo, influenciado pelo grande consumismo popular. Cada vez mais se observa o caráter descartável aplicado a tantos produtos, hoje em dia é melhor descartar do que consertar e manter, o que também é influenciado pela produção em grande escala de bens não duráveis. A grande quantidade de produtos também gera uma grande variedade de composições, que podem incluir uma grande variabilidade de substâncias químicas tóxicas e de microorganismos patogênicos. (SISINNO, C.L.S., 2003)

Toda essa produção ainda é agregada ao preconceito e ao desleixo dos governos para com a sociedade, fazendo com que não haja coleta adequada, rede de esgoto e local adequado para depósito, sendo estes problemas mais frequentes nas periferias, onde o descaso do governo é ainda maior. Quanto ao depósito, poucos são os brasileiros que fazem a coleta de seu lixo para separar os materiais recicláveis e muito menos sabe para onde é levado o lixo que é recolhido nos centros urbanos.

A grande parte do lixo urbano é depositada em lixões a céu aberto, ou os chamados sumidouros, que não possuem nenhuma infraestrutura para agregar corretamente o lixo, além da localização comumente próxima a comunidades ou áreas de periferia, o que ocasiona a proliferação de vetores e a contaminação de áreas próximas, resultando em um crescimento de doenças causadas por microorganismos parasitários. Além desse crescimento de doenças na população, a falta de estrutura faz com que o lixo e seus componentes tóxicos contaminem o solo e penetrem nos lençóis freáticos. Esse depósito inadequado (Figura 5) gera consequências não só para a população próxima, como o mau cheiro etc., como também para a população que não possui “contato” com esses lixões, em áreas urbanas.

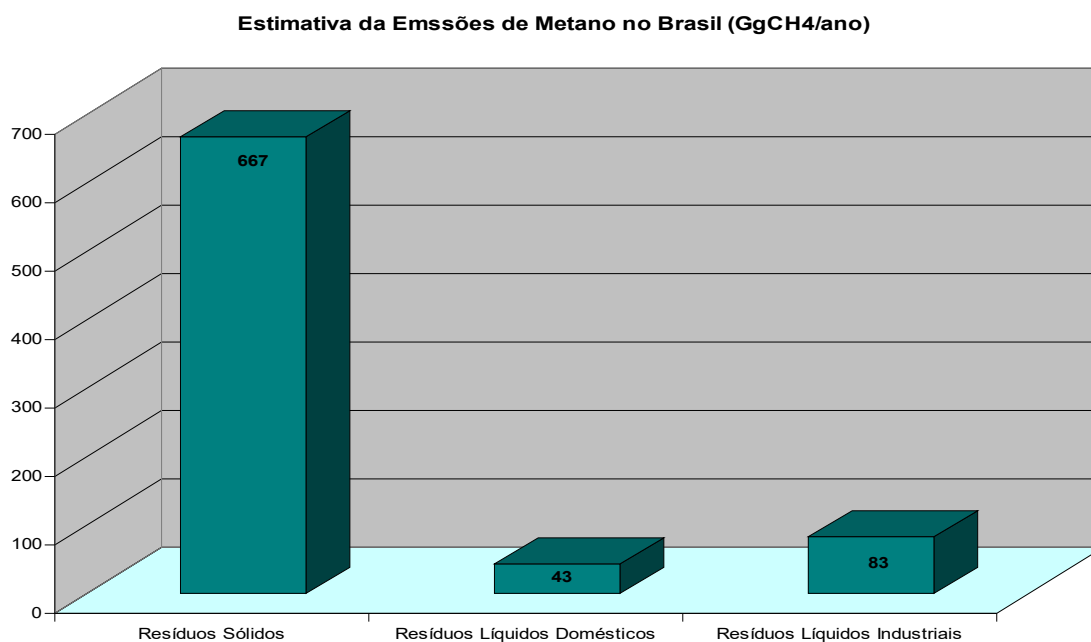


**Figura 5: despejo Inadequado de lixo. Fonte:**  
<http://www.cnews.com.br/wp-content/uploads/2011/09/lixo-e1316773374135.jpg>

### 3.1 OS RESÍDUOS SÓLIDOS

Define-se por resíduos sólidos, resíduos no estado sólido que apresentem risco a saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices, provocando também riscos ao meio ambiente, quando for gerenciado de forma inadequada. (ABNT, 2004)

Com o aumento dos resíduos sólidos urbanos necessita-se que haja ampliação mútua de alguns setores e atividades, como por exemplo, a coleta seletiva, para que se separe dos resíduos que serão despojados os materiais que podem ser reutilizáveis, além da melhoria de disposição de lixo, com aterros e não lixões, que sejam bem equipados, bem estruturados, com uma localização distante dos centros urbanos e das periferias, de modo que não haja com esse despejo, contaminação do solo, ou de qualquer meio físico do ambiente. Uma alternativa de tornar esses resíduos uma fonte renovável de energia, é a extração do chorume, que se forma quando a água dissolve componentes orgânicos e inorgânicos e produtos em decomposição, formando um líquido altamente poluente e de complexa composição (Sisinno, 1995), que pode ser tratado de forma a ser despejado junto a água para tratamento logo após uso. Outra extração positiva é a captação do biogás gerado dessas decomposições que possui como já visto um grande potencial energético. Os resíduos sólidos são um dos principais geradores de gás metano, pois, após serem depositados nos lixões passam por uma degradação por bactérias anaeróbias gerando este gás.



**Gráfico 2:** Emissão de Gás Metano por diferentes tipos de resíduos. **Fonte:** Adaptado de Biogás, 1994.

Os tipos de resíduos sólidos serão classificados de acordo com a sua procedência, o risco que este apresenta ao meio e as pessoas, e sua composição, podendo ser também recicláveis, como papel, vidro, plástico e metal ou os chamados não-recicláveis, que não podem ser reciclados ou estão de alguma forma contaminados, impossibilitando o processo.

De acordo com sua origem podemos classificar os resíduos sólidos como: resíduo hospitalar, domiciliar, agrícola, comercial, industrial, entulho, resíduo público, resíduo de portos, aeroportos, ferrovias, e resíduos de mineração. Pode-se também classificá-los de acordo com sua composição química, podendo ser: orgânicos, poluentes orgânicos resistentes, poluentes orgânicos não resistentes e inorgânicos. Sendo classificados de resíduos sólidos urbanos, todos os materiais que sejam gerados e recolhidos nas áreas urbanas.

**Tabela 2:** Classificação de resíduos sólidos de acordo com sua origem.

<b>Origem</b>	<b>Características</b>
Resíduo Hospitalar	Proveniente de qualquer rede de saúde, como hospitais, laboratórios etc. Normalmente composto por seringas, luvas, etc.
Resíduo Domiciliar	Proveniente das residências podendo ter sua composição muito variada, com presença de resíduos orgânicos até materiais perigosos como pilhas e baterias.
Resíduo Agrícola	Provenientes de atividades agropecuárias, podendo ser composto de materiais orgânicos como adubo, até resíduos veterinários.
Resíduo Comercial	Proveniente das atividades comerciais, normalmente compostos de papelão e outros materiais recicláveis.
Resíduo Industrial	Proveniente de processos industriais, comumente compostos por materiais de composição variada e que podem ser prejudiciais, como óleos, cinzas e derivados de metais pesados.
Entulho	Proveniente das construções civis, compostos normalmente por madeira, tijolos e por outros materiais que o tornam reciclável.
Resíduo público	Proveniente da limpeza de vias públicas sejam galerias, feiras entre outras, sendo assim sua composição depende do local que é recolhido.
Resíduos de Aeroportos e Terminais Ferroviários e Rodoviários	Proveniente de locais de embarque e desembarque nacionais ou internacionais, onde podem ser achados materiais contaminados de outros países, os materiais considerados na contaminados podem ser tratados como lixo domiciliar.
Resíduo de Mineração	Proveniente das áreas de mineração pode ser composto de metais pedras e solo.

Fonte: Adaptado de <http://www.infoescola.com/ecologia/residuos-solidos/>

#### 4. A PRODUÇÃO DE ENERGIA LIMPA

Entende-se por energia limpa, toda e qualquer energia gerada de modo que não cause nenhum dano ao meio ambiente e aos seres que nele vivem. Ao longo do tempo vários tipos de processo de geração de energia limpa foram descobertos e implantados, como a energia eólica, a energia solar, a energia a partir do biogás, entre outras (figura 7).



Figura 6: Fontes de Energia Limpa. Fonte: <http://formasfontesdeenergia.blogspot.com/>

Porém algumas dessas energias alternativas se mostram não completamente funcionais, já que dependem de condições climáticas, técnicas que não poderiam ser viabilizadas a todos os países devido a seu desenvolvimento, além da energia nuclear, que requer um alto custo de infraestrutura para que não venham a ocorrer desastrosos vazamentos das substâncias. Porém, a energia gerada através do metano proveniente dos resíduos sólidos pode ser completamente aproveitada, já que todos os países geram lixo, todos os dias, e o mundo inteiro passa por uma fase de crise ambiental. Os investimentos em infraestruturas que pudessem suprir tanto as demandas energéticas quanto as questões ambientais, como a disposição do lixo, contenção de substâncias tóxicas nele presentes, etc. seriam uma solução viável.

Logo, associando-se aos avanços tecnológicos, nas áreas de engenharia, química e biologia, criou-se um sistema com infraestrutura capaz de armazenar o gás metano

oriundo dos resíduos e manejá-los de forma que não possam prejudicar o meio ambiente: os aterros controlados ou CTR's (Centro de Tratamento de Resíduos).

Foi usado como referência nesse trabalho o CTR – Nova Iguaçu, que funciona em uma área de 1.800.000 m<sup>2</sup>, no mesmo local em que existia o Lixão de Marambaia. Para construção do aterro, a vegetação e solo da montanha foram retirados, e o lixo depositado no lugar. Mesmo com essa ação, que pode ser considerada por muitos ambientalistas “contra-preservativa”, o CTR em sua estrutura possui um viveiro aonde é realizado o cultivo de mudas de plantas nativas da região, para que após o depósito de lixo de forma apropriada, haja o reflorestamento da área. Todo o resíduo que chega é primeiramente pesado, e depois seguem para a fase de depósito. São recebidos resíduos domésticos e industriais (estes últimos passam pelo laboratório para detecção de possíveis substâncias radioativas presentes). Os resíduos hospitalares são incinerados anteriormente ao depósito no aterro, e recebem esse tratamento em local separado.

A visão neste ponto do aterro (Figura 8) é de montanhas de terra, cortadas por calhas de concreto e tubulações de gases chamados PDR (Poços de Captação de Gás). As valas servem para escoamento da água da chuva.



Figura 7: Visão geral do CTR Nova Iguaçu. Fonte: página eletrônica da HAZTEC novagerar , disponível em: <http://www.haztec.com.br>

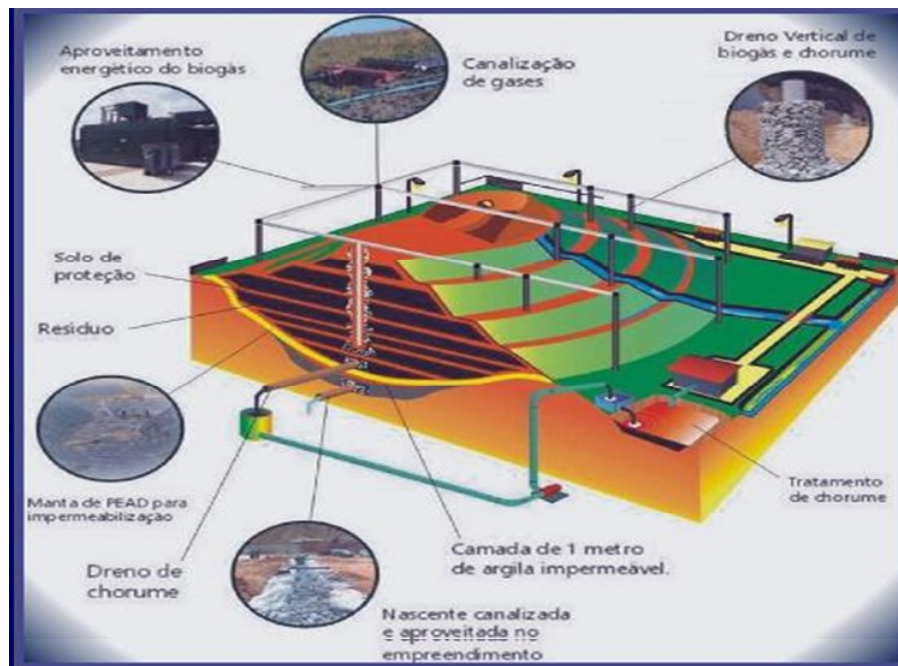
Existem caixas de madeira abertas, parecidas com “caixas de feira”, distribuídas em vários pontos ao longo do aterro, onde é realizada a verificação periódica de qualquer movimentação do solo. É possível observar mantas de polietileno de alta densidade cobrindo o solo do aterro. Essa cobertura confere proteção para que não haja contaminação do solo nem do lençol freático.

Na Central chamada de “flare”, ocorre a queima do gás (recebe todo o gás que vem dos dutos do aterro), sem emissão de gases tóxicos para a atmosfera. Os dutos para canalização dos gases aumentam em altura, conforme a camada de lixo e argila sobe. Além disso, existem drenos verticais de biogás e chorume, construídos em concreto, para aliviar a pressão. Ainda não se faz a geração de energia elétrica, pois ainda não há licenciamento (liberação) para isso.

O CTR pode ser dividido em diversas áreas (Figura 9):

- Aterros sanitários, onde os resíduos são depositados no solo sob uma camada de terra que se encontra sob uma camada de polietileno, evitando que substâncias tóxicas possam contaminar os solos;
- Estação de tratamento de Biogás, onde ocorre a reutilização do biogás proveniente dos depósitos de resíduos;
- Geração de energia limpa, através da reutilização do biogás, apesar de ainda não estar em vigor;
- Centro de tratamento de chorume, aonde o chorume passa por diversas etapas de purificação, dentre elas a retirada de amônia, passagem por reatores orgânicos, ultra filtração e osmose reversa.
- Existem pontos numerados distribuídos ao longo do aterro para monitoramento da água, chamados PM (poço de monitoramento). Parte da água é reutilizada na própria empresa e outra parte é devolvida à natureza.
- Centro de tratamento de resíduos de saúde, já que os resíduos laboratoriais devem receber um tratamento diferenciado do lixo comum, pela possibilidade de existência de agentes patogênicos nesses resíduos;
- Centro de reciclagem de resíduos, o CTR não pode fazer a separação do lixo que chegar ao aterro, porém este possui um centro de reciclagem voltado para a recepção e reutilização de tais materiais;
- Laboratório de análise de lixo industrial;
- Incineração de resíduos;

- Centro de educação ambiental, aonde os funcionários recebem instruções de como tratar o meio ambiente e onde ocorrem palestras para escolas e pesquisadores a respeito do meio ambiente;
- Viveiro de mudas, onde são criadas mudas de plantas nativas da região para que após o depósito dos resíduos sólidos a área possa ser reflorestada;



**Figura 8: Canalização de gases e outras características do CTR Nova Iguaçu. Fonte: CTR Nova Iguaçu, disponível em: [recicloteca.org.br](http://recicloteca.org.br).**

Na fábrica de reaproveitamento de material de obra, há transformação dos materiais em tijolos, pedras de construção, britas, que serão fornecidas para a comunidade local.

Os solos nos diversos pontos do aterro têm características geológicas diferentes; os que não são apropriados para o aterro, são mudados de lugar com outros mais adequados (mistura).

Há tubulações de concreto pintadas nas cores amarela e preta, que servem apenas para orientação dos caminhões que circulam pelo aterro.

Assim que o lixo chega, é descarregado pelo caminhão e rapidamente compactado pela “patrol” (Figura 10). Após, uma camada de argila é depositada sobre o lixo. Por esse motivo, quase não se vê lixo exposto, não há cheiro, nem se observam vetores comuns de se encontrar no lixo, como moscas, por exemplo.



**Figura 9: Chegada do lixo e compactação. Fonte: Beatriz Camargo, disponível em [sescsp.org.br](http://sescsp.org.br).**

Os CTR's distribuídos no Brasil são responsáveis pelo tratamento de apenas 40% do lixo. O restante é depositado em lixões. Nos CTR's, o lixo funciona como matéria-prima, e é tratado desde a sua origem, passando pelo gerenciamento, tratamento, e disposição final. O modelo institucional do CTR divide o lixo recebido das cidades (em que contratos de longo prazo são firmados com as prefeituras) e o lixo industrial, em que as empresas geradoras são as responsáveis. O CTR de Nova Iguaçu foi o primeiro projeto de MDL do mundo, e como este funciona: Redução de emissões pela compra de créditos de carbono (tratado de Kioto, 2005-2012). O monitoramento da emissão de CO<sub>2</sub> é feito por sistema computadorizado e os créditos de carbono são calculados pela diferença entre o gás gerado e emitido sem tratamento e com tratamento (Gráfico 3).

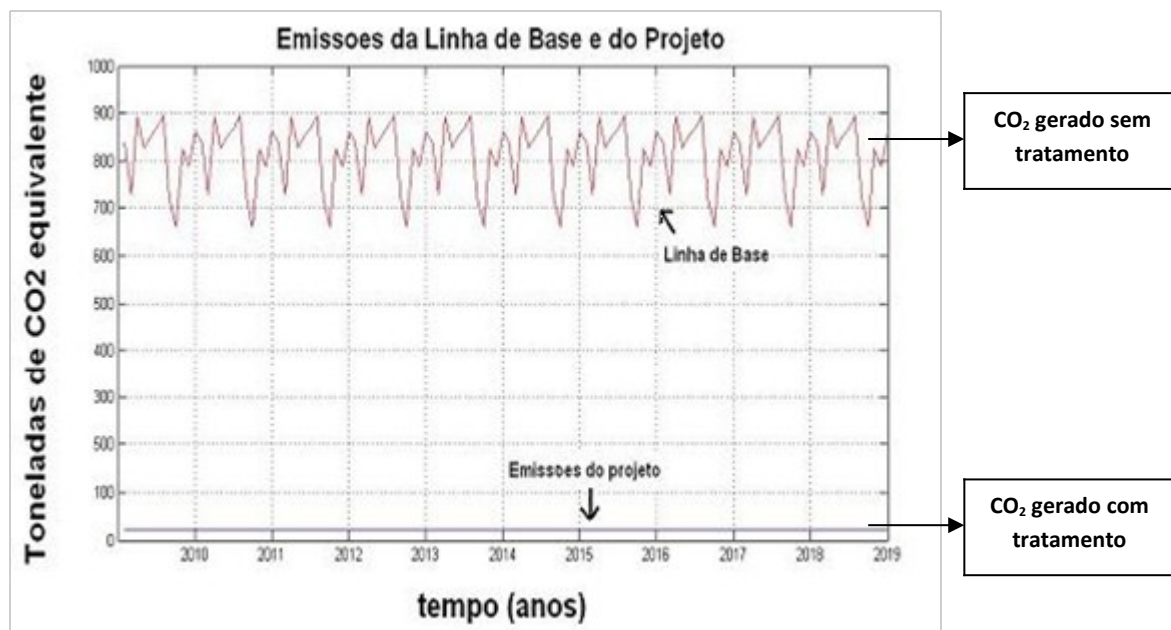


Gráfico 3: cálculo gráfico dos créditos de carbono. Fonte: Trabalho apresentado no 49<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Química, disponível em [abq.org.Br](http://abq.org.Br).

A concessão da Haztec (empresa que opera o CTR) para operação do local é de vinte anos, dos quais nove já foram cumpridos. Os aterros são desativados ao atingirem a sua capacidade máxima. Toda a área, ao final, é devolvida para a comunidade, reflorestada.



Figura 10: Área Verde. Fonte: Foto disponível em [www.ciflorestas.com.br](http://www.ciflorestas.com.br)

#### 4.1 A TRANSFORMAÇÃO DO GÁS METANO EM ENERGIA

A partir dos resíduos sólidos, vários processos de produção de energia limpa podem ser utilizados, como a incineração, que se baseia na queima dos resíduos para a geração de energia elétrica, e a utilização do gás metano captado da decomposição desses resíduos. Porém, a incineração possui um cartel grande de desvantagens, uma delas é que este processo gera uma quantidade de gases contribuintes para o efeito estufa tanto quanto a degradação anaeróbia do lixo, com isso ela já não atende mais ao objetivo de geração de energia limpa. O uso do gás metano, principal componente do biogás, proporciona um melhor encaixe em produção de energia limpa, pois desde sua captação até sua transformação ele influencia na melhoria ambiental, como por exemplo, a redução de gases do efeito estufa.

O processo de extração e utilização do gás metano é feito em passos: primeiramente, após os resíduos serem corretamente depositados nos aterros, começa a decomposição dos mesmos, que irá gerar o biogás. Após a coleta do biogás por dutos em contato com os resíduos, ele irá sofrer uma purificação, para a retirada de  $H_2$  e  $CO_2$  que compõe o biogás.

**Tabela 3:** Composição do Biogás antes da purificação.

Compostos Químicos	%Vol ou ppm
$O_2$ (Oxigênio)	1,23%
$N_2$ (Nitrogênio)	15,5%
$CO_2$ (Dióxido de Carbono)	4,75%
$CH_4$ (Metano)	75,8%
$H_2S$ (Sulfeto de Hidrog.)	649 ppm
$H_2O$ (água)	2,62%

Fonte: YAMASHITA,2004

O biogás é captado e armazenado em filtros, onde fica retida toda a água que é condensada, passando assim por dois recipientes que contém peneiras, cada peneira é responsável pela retirada de algo, sendo a primeira responsável por retirar a umidade e a

segunda pela retirada de  $H_2S$ , já no segundo recipiente contendo cavaco de ferro que irá garantir a retirada de  $H_2S$ .

**Tabela 4** ; Composição do Biogás após o processo de purificação

Compostos Químicos	%Vol ou ppm
$O_2$ (Oxigênio)	0,89%
$N_2$ (Nitrogênio)	13,2%
$CO_2$ (Dióxido de Carbono)	4,07%
$CH_4$ (Metano)	80,8%
$H_2S$ (Sulfeto de Hidrog.)	< 1,0 ppm
$H_2O$ (água)	0,98%

Fonte: YAMASHITA, 2004

Ligada aos filtros se encontra uma válvula, que irá controlar a quantidade de gás que passa pelos dutos. Outro equipamento importante são os compressores, que têm além do papel de “puxar” o gás, a função de comprimi-lo antes que este passe para o sistema de recuperação energética. O gás segue então para os “flares” que são dispositivos que realizam a queima do gás, e são muito utilizados no início do processo, para queima do excesso de gás, ou para quando há manutenção do equipamento, potencializando a demanda energética. Os “flares” possuem filtros, assim após a queima do excesso de gás há uma omissão dos gases resultantes dessa queima.

Após esse processo há várias formas de reutilizar o gás visando obter a geração de energia elétrica, como os motores de combustão interna, turbinas de combustão, turbinas com utilização de gás, o ciclo diesel, o ciclo Otto e o modelo de células combustíveis, que não necessitam passar pelo processo completo de purificação. As que usam motores como o Ciclo Diesel (Figura 14) e o Ciclo Otto, por exemplo, são bem utilizadas, mas não se encaixam totalmente neste estudo por serem as que possuem a maior taxa de emissão de gases poluidores contribuintes para o efeito estufa. Sendo assim, serão tratados aqui neste trabalho dois modelos: o modelo de utilização de turbinas a vapor e o modelo de inovação com o uso de célula combustível.

## Do lixo ao gás que gera eletricidade

Um sistema de extração e tratamento do biogás produzido pela decomposição do lixo permite aproveitar o biogás como combustível e matéria-prima para produção de energia elétrica limpa e renovável

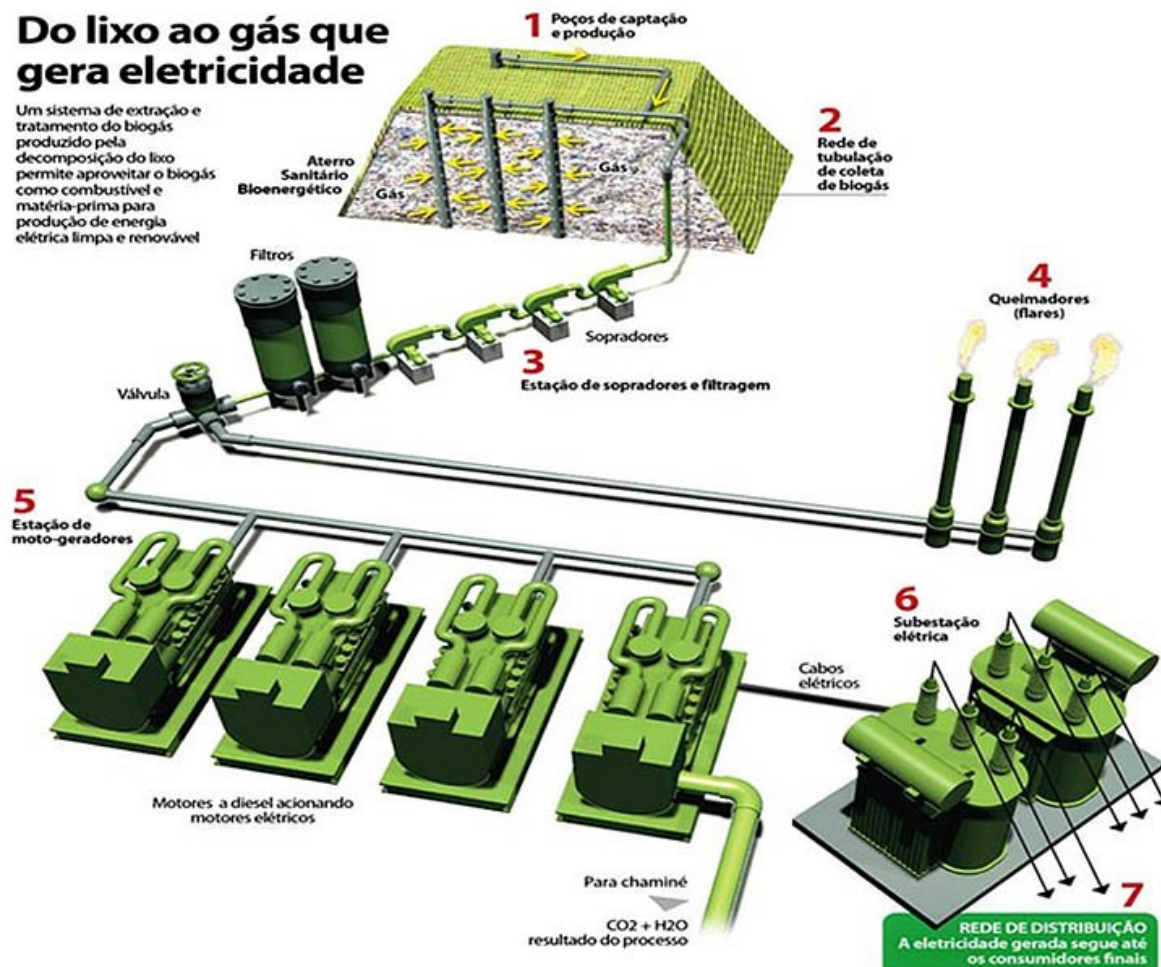


Figura 11: Processo de geração de energia através do biogás com motores a diesel Fonte: [http://www.haztec.com.br/ambiental/images/stories/uge\\_sao\\_joao/do\\_lixo\\_ao\\_gas.jpg](http://www.haztec.com.br/ambiental/images/stories/uge_sao_joao/do_lixo_ao_gas.jpg)

### 4.1.1 TURBINAS A GÁS

No Processo de turbinas a gás (Figura 13), o biogás, após ter passado pelo processo de purificação segue para um tanque, onde este fica armazenado, ligado a esse tanque saem tubulações conectadas a compressores, que puxam o gás direcionando-o para as turbinas. O gás realiza o movimento das turbinas que estão ligadas a um gerador, a rotação das turbinas gera a energia e o gerador as transfere para um transformador e, de lá, a energia segue comumente para as linhas de transmissões.

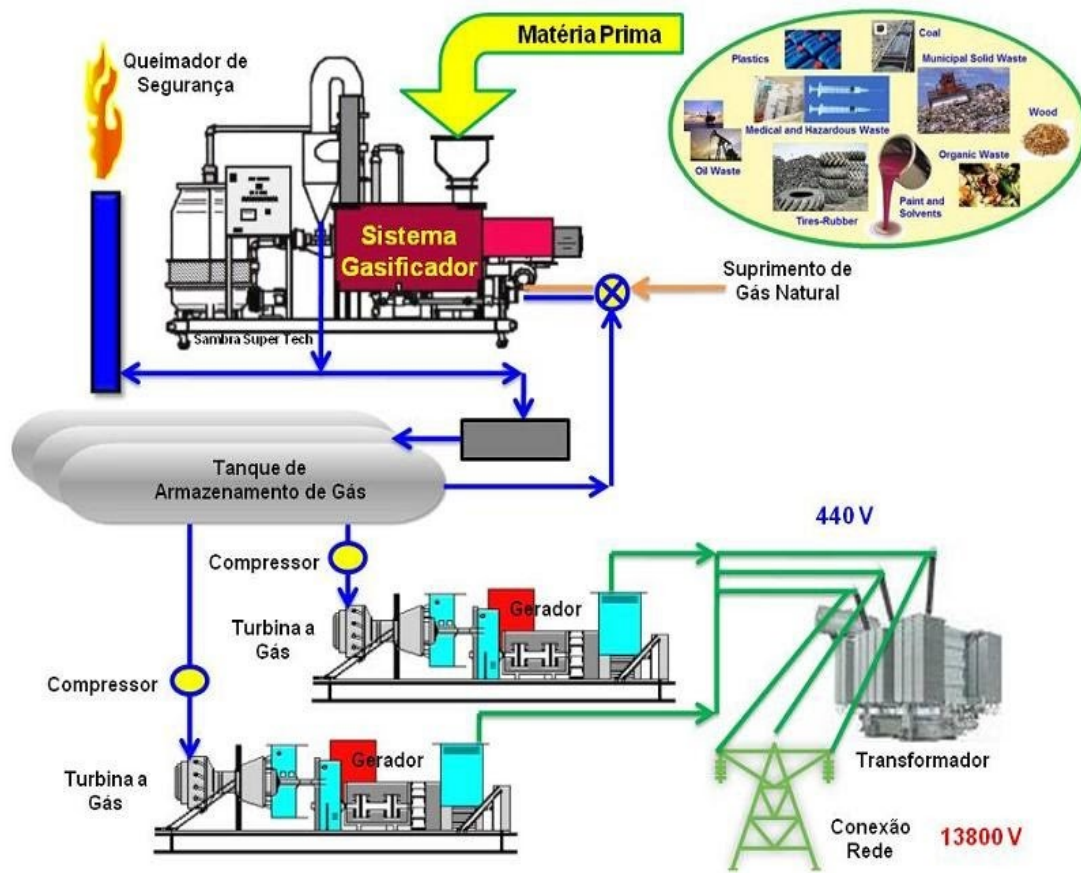


Figura 12: Processo de geração de energia através de turbinas a gás Fonte: [http://www.sambrasuper.org/\\_rsrc/1271374368560/aplicacoes/825Process%20FlowSST-pt.jpg](http://www.sambrasuper.org/_rsrc/1271374368560/aplicacoes/825Process%20FlowSST-pt.jpg)

#### 4.1.2 CÉLULA COMBUSTÍVEL

No processo de utilização do biogás associado a células combustíveis, o gás é corretamente condensado, sem que seja purificado como nos processos comuns. Já que a retirada de hidrogênio não é necessária nessa fase, sendo essa purificação necessária apenas para a retirada de substâncias tóxicas e pesadas, como o  $H_2S$  e, no estágio seguinte, passa por um processador que aquece o gás a uma temperatura de  $500^\circ$  a  $600^\circ C$ , fazendo com que haja, agora, a geração de hidrogênio, que compõe o gás.



Figura 13: Formas de geração de energia Fonte: Adaptado de <http://s3.amazonaws.com/magoo/ABAAAANZcAB-2.png>

Após o processo de aquecimento há a produção de hidrogênio, que é levado até um módulo de célula a combustível, que através de um processo eletroquímico irá gerar energia.

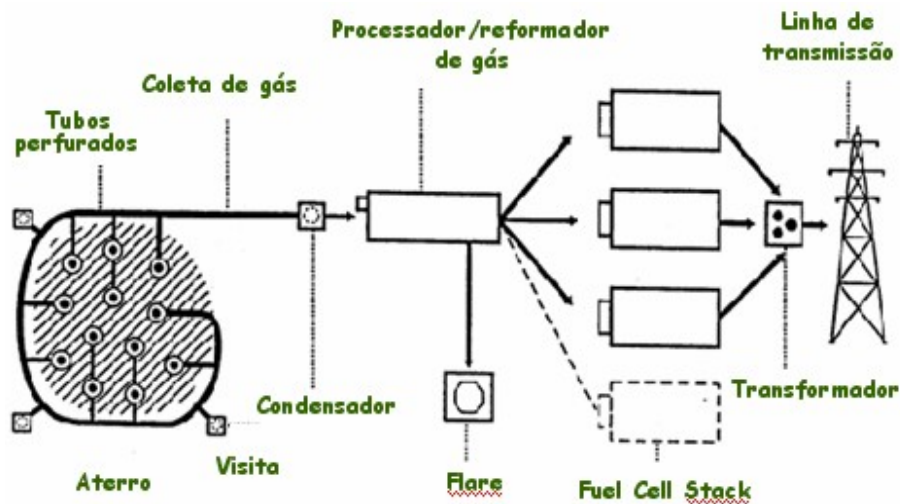


Figura 14: Linha de processo com célula combustível Fonte: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/iswa2005/energia.pdf>

As células combustíveis contêm dois eletrodos em sua estrutura que são separados por um eletrólito, e conectados através de um circuito externo (Figura 16).

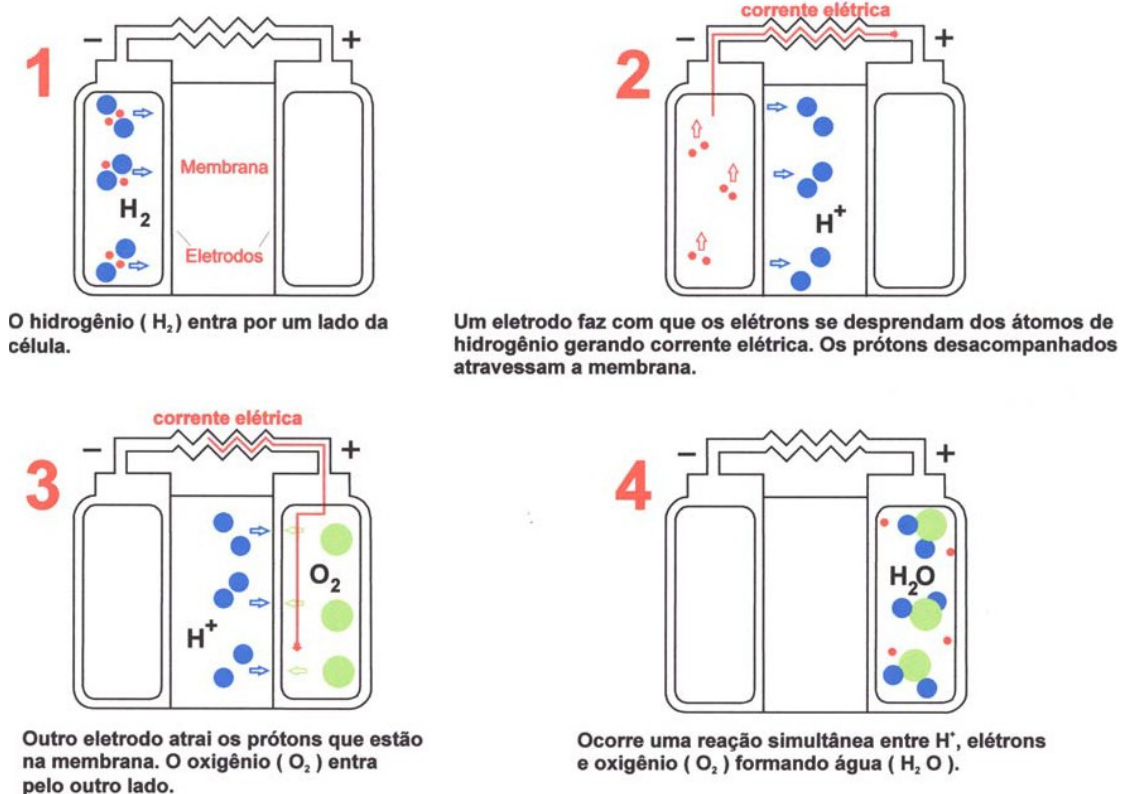
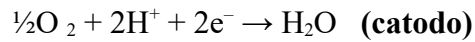
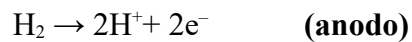


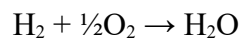
Figura 15: Esquema de funcionamento de célula combustível Fonte: Nogueira, 2000 disponível em <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/iswa2005/energia.pdf>

O hidrogênio armazenado entra na célula pelo lado do anodo, ele vai se dissolver no eletrólito e reagir nos sítios ativos da superfície do eletrodo, liberando elétrons e formando prótons ( $H^+$ ); esses elétrons, gerados a partir do processo de oxidação, vão chegar ao catodo através do circuito externo, e irão participar do processo de redução do oxigênio. Os prótons formados no anodo são transportados ao catodo, onde reagem formando o produto da reação global da célula a combustível: água (Atualidades em Química, 2002).

Reações químicas na célula combustível:



Sendo a reação global:



A voltagem da célula combustível será dada através da diferença de potencial dos eletrodos:

$$\Delta E^0 = E^0\text{C} - E^0\text{A}$$

A célula combustível converte o hidrogênio em energia elétrica, água e calor, e se diferencia dos motores de combustão e outros métodos pois não há emissão de nenhum tipo de gás tóxico ou que esteja relacionado a danos a atmosfera.

## 4.2 OS CUSTOS DE PRODUÇÃO E AS DEMANDAS ENERGÉTICAS

Os meios de produção analisados possuem, em comparação a outras fontes energéticas, um baixo custo de investimentos. Não há como parar o fornecimento de energia, como na energia eólica ou solar, já que nunca há a completa parada de produção de lixo urbano; Esse tipo de investimento viria a suprir demandas energéticas, além de colaborar com a diminuição de gases do efeito estufa e reutilizar os resíduos sólidos depositados no CTR.

**Tabela 5:** Disposição de resíduos no CTR.

Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011 a 2022
Disposição diária de resíduos	1.979	2.008	2.700	2.484	2.518	2.554	2.429
Disposição anual de resíduos	462.927	472.120	688.481	659.996	670.848	681.918	662.355

Fonte: <http://engema.up.edu.br/arquivos/engema/pdf/PAP0115.pdf>

Além da grande quantidade de energia gerada pelo depósito incessante de resíduos sólidos, ainda há a venda de créditos de carbono, que são como “bônus” para redução de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Logo é estabelecida uma meta para redução de emissões em uma empresa, e quanto mais essa empresa reduz suas emissões ganha vendendo seus créditos de carbono. O valor dos créditos de carbono está na base de 3,35 euros por tonelada de carbono (ENGEMA, 2007), ou seja, a cada tonelada de carbono que é reduzida das emissões a empresa pode vender esse crédito pelo valor estabelecido.

Todos esses fatores fazem do processo de geração de energia, um projeto de financiamento econômico avantajado e que, em torno de poucos anos de aplicação das infra-estruturas necessárias, virão a gerar lucros, além das melhorias ambientais.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos estudos de produção de energia e com base nas análises de demanda energética, conclui-se que o uso do gás metano proveniente de resíduos sólidos como fonte de produção de energia limpa e sustentável é viável. Decerto que os investimentos virão a gerar lucros brutos em longo prazo, porém em curto prazo o maior lucro seria em relação ao meio ambiente.

Um dos maiores desafios da nova geração é a elaboração de ideias que possam manter o padrão de vida consumista no qual se estabeleceu a sociedade sem que esse padrão continue a causar distúrbios ambientais, e isso pode ser alcançado, mesmo que com pequenos gestos, como a reciclagem ou a separação dos mesmos materiais do lixo comum; se for uma iniciativa conjunta, pode se tornar o início do caminho para a sustentabilidade.

Todos os países produzem resíduos, todos os dias, logo, todos os países possuem matéria-prima para geração de uma energia limpa e sustentável, por maior que seja o investimento na base para a construção de todo um projeto, basta analisar a situação do meio geofísico do planeta para que se conclua que não há mais possibilidade de se medir esforços quando se trata de melhorar esta situação.

Uma fonte de energia sustentável através dos resíduos sólidos pode trazer incontáveis benefícios, tais como qualidade na coleta e disposição dos resíduos, aproveitamento de resíduos tóxicos, como o chorume, a melhora no controle de vetores e com isso a redução de doenças transmitidas pelos mesmos, redução da demanda energética por meios como energia nuclear e energia a partir das hidroelétricas, que possuem um alto custo de manutenção e operação, sendo todos esses benefícios fatores importantes na redução da degradação ambiental, reduzindo a intoxicação do mesmo e a destruição desse ecossistema por depósitos irregulares de resíduos.

O homem não pode deixar para dar a devida importância à natureza quando esta estiver em seu limite, pois quando ela se aproximar de seu limite, o homem estará se aproximando do próprio limite, a perda da vida.



**Figura 16: O Lixo e o Meio Ambiente Fonte:**  
[http://4.bp.blogspot.com/\\_1yCUAEL4k\\_k/TAbm8Gt\\_U7I/AAAAAAAAAF0/Xuum9ya8x4c/s640/meioambiente.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_1yCUAEL4k_k/TAbm8Gt_U7I/AAAAAAAAAF0/Xuum9ya8x4c/s640/meioambiente.jpg)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANCO MUNDIAL. Disponível em:

[http://www.bancomundial.org.ar/lfg/default\\_po.htm](http://www.bancomundial.org.ar/lfg/default_po.htm). Data de acesso: 01/12/10.

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

Formas de extrair a energia da biomassa; disponível em: <http://www.energiasealternativas.com/extrair-energia-biomassa.htm>. Data de acesso: 26/10/10.

Hydrogen Source Technology. Hydrogen Sources. 2002. Disponível em: <http://www.hydrogensource.com/technology.html>. Data do acesso: 02/12/11

J. LARMINIE e A. DICKS. Fuel cell systems explained. Nova Iorque: Wiley,

KASTRUP, L. F. C. Geração de energia limpa através da reforma de gás metano de aterros sanitários. USP, 2005. Disponível em <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/iswa2005/energia.pdf>. Data de acesso: 26/10/10.

L. CARRETTE; K.A. FIEDRICH e U.STIMMING. Fuel cells - Fundamentals

MONZONI M. Critérios de sustentabilidade para projetos de MDL no Brasil. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Brasil, 2004.

MURITO, M.C.M.; FINETE, V.L.M. Conceitos e Métodos para formação de profissionais em laboratórios de saúde. Capítulo 5- Fundamentos em Química Experimental. Vol.1. EPSJV/IOC, 2009.

NOGUEIRA, S. O poder do Hidrogênio. Caderno Mais Ciência Folha de São Paulo, São Paulo, dez 2000.

PARENTE, V; PAVAN, O. M. de C. Projetos de MDL em aterros sanitários do Brasil: análise política, socioeconômica e ambiental.

PENA, D.S. Seminário internacional sobre aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo – pronunciamento de abertura. São Paulo, 2007.

REICHERT, G. A. Aplicação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos: uma revisão. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005, Campo Grande/MT. Anais... Campo Grande: ABES, 2005.

SARDELLA, A. Química. Vol. Único. Ed. Ática, 2000.

SISINNO, C.L.S. Disposição em aterros controlados de resíduos sólidos Industriais não-inertes: avaliação dos componentes tóxicos e implicações para o ambiente e para a saúde humana. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 19(2):369-374, mar-abr, 2003

SISINNO, C.L.S.; OLIVEIRA, R.M.. Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma visão multidisciplinar. Rio de Janeiro; FIOCRUZ; 2000.

UTC Fuel Cells. About Fuel Cells. Disponível em:

[URL: http://www.utcfuelcells.com/fuelcell/how\\_fl.shtml](http://www.utcfuelcells.com/fuelcell/how_fl.shtml). Data do acesso: 02/12/11

YAMASHITA, 2004, Disponível em

[http://cenbio.iee.usp.br/download/projetos/pure\\_cbe.pdf](http://cenbio.iee.usp.br/download/projetos/pure_cbe.pdf) . Data do acesso: 02/12/11

HAZTEC, 2011, Disponível em:

[http://www.haztec.com.br/ambiental/images/stories/uge\\_sao\\_joao/do\\_lixo\\_ao\\_gas.jpg](http://www.haztec.com.br/ambiental/images/stories/uge_sao_joao/do_lixo_ao_gas.jpg).

Data do acesso: 02/12/11