

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE ESTUDOS SOCIAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO  
REGIONAL**

***O GÁS METANO DO ATERRO SANITÁRIO DE MANAUS E AS  
POSSIBILIDADES DE USO SOCIAL***

**Luiz Francisco Belém Costa**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Desenvolvimento Regional. Área de  
concentração: Desenvolvimento Regional na  
Amazônia

**Manaus  
2011**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAM

C837g Costa, Luiz Francisco Belém

O gás metano do aterro sanitário de Manaus e as possibilidades de uso social / Luiz Francisco Belém Costa. - Manaus, AM : UFAM, 2012.  
51 f. : il. color. ; 30 cm

Inclui referências.

Dissertação (Mestre em Desenvolvimento regional. Área de concentração: Desenvolvimento regional na Amazônia). Universidade Federal do Amazonas. Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Coelho.

1. Desenvolvimento econômico 2. Metano – Aterro sanitário – Manaus  
3. Biogás 4. Biocombustíveis 5. Economia regional 6. Desenvolvimento sustentável I. Coelho, Luiz Roberto (Orient.) II. Título

CDU (2007): 338.1:662.767.1(811.3) (043.3)

CDU (19.ed.): 338.9

Luiz Francisco Belém Costa

**O gás metano do aterro sanitário de Manaus e as possibilidades  
de uso social**

Orientador:  
Prof. Dr. **Luiz Roberto Coelho Nascimento**

Dissertação apresentada para obtenção do título  
de Mestre em Desenvolvimento Regional. Área  
de concentração: Desenvolvimento Regional na  
Amazônia

**Manaus  
2011**

*Aos meus Pais Luiz Aurélio Castro Costa  
e Tereza Belém Costa (in memoriam)*

*DEDICO*

## AGRADECIMENTOS

Minha profunda gratidão a todos aqueles que contribuíram com este trabalho de modo direto ou indireto.

À minha família, meu pai Luiz Aurélio, minhas irmãs Samara, Andréa e Aurélia, meu muito obrigado pela força e apoio.

Ao mestre e amigo, o Prof. Dr. Luiz Roberto Coelho Nascimento, pela confiança, incentivo e motivação para que eu desenvolvesse este trabalho, o meu eterno agradecimento e amizade.

Muito obrigado!

*"Todo grande progresso da ciência  
resultou de uma nova audácia da  
imaginação."*

(John Dewey)

## SUMÁRIO

RESUMO	07
ABSTRACT	08
LISTA DE FIGURAS	09
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE ABREVIATURAS	11
<b>INTRODUÇÃO</b>	12
<b>1 MARCO CONCEITUAL</b>	16
1.1 O GÁS METANO	16
1.2 UMA BREVE RETROSPECTIVA DO METANO	20
1.3 A FORMAÇÃO DO BIOGÁS E AS EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS	24
1.4 TRÊS GERAÇÕES DE BIOCOMBUSTÍVEIS	26
<b>2 METODOLOGIA DE ANÁLISE</b>	30
2.1 SUPORTE BÁSICO DE PROCEDIMENTOS PARA DETECÇÃO DE GÁS METANO NO ATERRO SANITÁRIO	30
2.2 OS POTENCIAIS USUÁRIOS DO GÁS METANO	34
2.3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DA CIDADE DE MANAUS	36
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	41
3.1 A CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DE MANAUS	41
3.2 POSSIBILIDADE DE USO DO GÁS METANO EM MANAUS	44
<b>CONCLUSÃO</b>	47
<b>REFERÊNCIAS</b>	48
<b>ANEXOS</b>	51

## RESUMO

O aterro sanitário de Manaus possui um acúmulo de gás metano passível de ser dimensionado para ser reaproveitado na geração de energia. Levando-se em conta essa possibilidade, este estudo teve o objetivo de prospectar a capacidade de produção de metano no aterro sanitário de Manaus e refletir sobre o seu uso social. No plano específico visa: (a) quantificar a produção per capita de lixo gerado em Manaus e o custo social para o erário público de sua coleta; (b) quantificar a capacidade de produção de gás metano diariamente pelo aterro sanitário; (c) identificar o melhor uso alternativo do gás metano na geração de energia elétrica. De forma didática, o marco conceitual limitou-se em realizar o histórico das origens do gás metano, a sua composição química, a formação do biogás, dado que é um gás da primeira geração, posto que resulta da decomposição de resíduos orgânicos e as evidências empíricas de seu uso em escala industrial. A metodologia de análise baseou-se em uma entrevista com o engenheiro da empresa responsável pela administração do aterro sanitário, uma vez que os dados essenciais para responder o objeto da pesquisa já tinham sido compilados pela empresa a partir de estudos técnicos contratados. Sendo assim, não haveria necessidade de percorrer todo um caminho demorado e custoso. Os resultados mostraram que são recolhidos da cidade de Manaus, em média, cem mil toneladas mês de resíduos. O lixo é levado ao aterro sanitário pela empresa Tumpex que possui contrato com a Prefeitura Municipal de Manaus e administrado em conjunto com a empresa Emterpa. O acúmulo de resíduos é responsável pela produção de 15 mil metros cúbicos de gás metano por hora. Como não se tem um uso definido para o seu aproveitamento econômico, o gás é queimado para poder ser lançado a atmosfera, reduzindo desse modo o nível de poluição. O aproveitamento racional do gás metano requer alto investimento em equipamentos, de modo que o governo ou a iniciativa privada poderiam criar condições para o aproveitamento. Concluiu-se que é perfeitamente viável o aproveitamento do biogás produzido no aterro sanitário de Manaus para a produção de energia, desde que se façam os investimentos e se tomem os cuidados necessários.

Palavras-chave: gás metano, aterro sanitário de Manaus, biogás, energia

## ABSTRACT

The landfill of Manaus has an accumulation of methane gas that can be scaled to be repurposed in power generation. Taking into account this possibility, this study was aimed at exploring the capability of producing methane in the landfill of Manaus and reflect on their social use. In terms of specific aims: (a) quantify the production of waste generated per capita in Manaus and social cost to the exchequer of his collection, (b) to quantify the capacity of methane gas daily by the landfill, (c) identify the best alternative use of methane gas to generate electricity. In a didactic manner, the conceptual framework was limited in Historic origins of methane gas, its chemical composition, the formation of biogas, since it is a gas from the first generation, since that results from decomposition of organic waste and the empirical evidence its use on an industrial scale. The analysis methodology was based on an interview with the engineer of the company responsible for managing the landfill, since the essential data to answer the object of research had been compiled by the company from technical studies contract. Thus, there would be no need to go all the way long and costly. The results showed that is collected from the city of Manaus, on average, one hundred thousand tons of waste months. The garbage is taken to landfill by Tumpex company that has a contract with the Municipality of Manaus and administered in conjunction with the company Emterpa. The accumulation of waste is responsible for producing 15 thousand cubic meters of methane per hour. As we do not have a definite use for its economic use, the gas is burned to be released in the atmosphere, thereby reducing the level of pollution. The rational use of methane gas requires high investment in equipment, so that the government or the private sector could create conditions for use. It was concluded that it is perfectly feasible for use of biogas in the landfill from Manaus to energy production, provided they make investments and take the necessary precautions.

Keywords: methane, landfill Manaus, biogás, energy

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fórmula estrutural do metano.	16
Figura 2 - Aterro Sanitário da cidade de Manaus	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - As três gerações de biocombustíveis.	27
Tabela 2 - Gases e alarmes.	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>COPEL</b>	Companhia Paranaense de Energia
<b>CPRM</b>	Serviço Geológico do Brasil
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>ETEs</b>	Estações de tratamento de esgoto
<b>FINEP</b>	Financiadora de Estudos e Projetos
<b>gás/m<sup>3</sup></b>	Gás por metro cúbico
<b>GEE</b>	Gases do efeito estufa
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
<b>Km</b>	Quilômetro
<b>kWh</b>	Kilo watt por hora
<b>LEL</b>	Lower Explosive Limit – Limite Mínimo de Explosão
<b>MDL</b>	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
<b>mL</b>	Mililitro
<b>mm</b>	Milímetros
<b>mWh</b>	Mega watt por hora
<b>pH</b>	Potencial hidrogeniônico
<b>PIM</b>	Pólo Industrial de Manaus
<b>ppm</b>	Parte por milhão
<b>PPP</b>	Parceria Público-Privada
<b>SANEPAR</b>	Companhia de Saneamento do Paraná
<b>SEMMAS</b>	Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade
<b>SEMULSP</b>	Secretaria Municipal de Limpeza Pública
<b>STV</b>	Sólidos Totais Voláteis
<b>UFRJ</b>	Universidade Federal do Rio de Janeiro
<b>vol</b>	Volume

## INTRODUÇÃO

A demanda sempre crescente por energias para mover as estruturas produtivas das economias modernas e a busca por fontes alternativas de energia limpa são temas prioritários na agenda global. Conforme Goldemberg (2005), com a explosão populacional ocorrido nos últimos dois séculos e o aumento do consumo de energia *per capita*, resultou que o consumo energético total no mundo aumentou cerca de 100 vezes no referido período.

Parcela substancial do consumo de energia pelas economias de todo o mundo é baseada em combustíveis fósseis que tem contribuído muito na emissão de dióxido de carbono na atmosfera. Por conta disso tem havido um clamor internacional contra o uso excessivo de energia derivada de petróleo e gás, posto que sua queima de alguma forma contribui para o aquecimento global. De fato, nos últimos anos tem-se intensificado os estudos sobre o aquecimento global e a geração e a emissão de gases de efeito estufa (GEE). (EIA, 2009). Apesar de ser questionável, mas o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) conferiu algumas evidências da influência da produção humana na mudança climática global por meio da emissão de gases de efeito estufa.

Sem dúvida, como ressaltou o então Ministro Reinhold Stephanes (Revista BiodieselBR, 2008), a cada dia aumenta o esforço em prol da geração de energia limpa como substituta do petróleo. Conforme as observações do autor, as organizações multilaterais, os centros de pesquisas em agronomias em muitos países, e por sua vez os seus governos têm se empenhado na implantação de culturas agroenergéticas que possam substituir os fósseis,

causadores de grande concentração de gases, sem contar com emissão de gás produzido pelas queimadas de florestas que transformaram a questão ambiental em um debate vital para o desenvolvimento das economias.

Reinhold Stephanes, à frente da pasta do Ministério da Agricultura do Governo Lula, advogava que estavam em curso algumas iniciativas para efetivar uma transição estratégica em direção a uma matriz energética com reduzido poder poluidor. Para a consecução desse propósito exemplifica o aproveitamento da biomassa vegetal que concorre na produção do etanol, a partir da cana-de-açúcar.

Atualmente com as teses do aquecimento global e crescimento econômico sustentável, o uso de energia sustentável volta com muita força nos círculos acadêmicos, como também nos planos de ação de distintos governos. Isto tem motivado a pesquisa básica e também empírica a desenvolver fontes de energias alternativas, além do tratamento de poluentes e resíduos sólidos.

As entidades ambientais têm pressionado os governos de países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento em promover o uso de energia sustentável ou também chamada de energia limpa. No entanto, produzir energia de um modo geral não é simples nem tão pouco menos onerosa. O desenvolvimento de tecnologias intituladas como “limpas”, principalmente nos países em vias de desenvolvimento, é uma realidade. Esta proposta se insere nos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), criado pelo Protocolo de Quioto - 1997, em resposta às ações de redução de emissões. Ao mesmo tempo, a problemática da geração de resíduos sólidos e o seu gerenciamento inadequado é uma constante no mundo e não seria diferente no Brasil, visto que a quantidade produzida de “lixo” tanto absoluta quanto *per capita*

umenta a cada dia. Isso se explica tanto pelo crescimento populacional, quanto pelas mudanças nos hábitos de consumo e produção (padrão cultural). No Estado de São Paulo são produzidos cerca de 28 mil toneladas diárias de resíduos sólidos domiciliares (LIMA, 2001), sendo o aterro sanitário o método adequado do ponto de vista sanitário para disposição final desses resíduos.

Os resíduos sólidos domiciliares quando acomodados em aterros sanitários sofrem um processo de degradação predominantemente anaeróbico, de tal maneira que gera o gás sulfídrico ( $H_2S$ ), amônia ( $NH_4$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ) e outros gases, além dos líquidos percolados (chorume). O aproveitamento do gás metano já é uma realidade em algumas regiões do Brasil. As experiências podem ser observadas no aterro Bandeirantes no município de São Paulo (PARENTI, 2005), que chegou ao seu limite de capacidade, fechando as portas em 2007, mas ainda assim, produzindo e comercializando energia.

Vale ressaltar, ainda, que os aterros sanitários são responsáveis por grande parte das emissões de gás metano na atmosfera; o que é um grande problema visto que o metano é 21 vezes mais prejudicial se comparado ao dióxido de carbono. Além disso, tem-se a formação do chorume, líquido proveniente de resíduos sólidos; resultado principalmente da água de chuva que se infiltra no lixo e da decomposição biológica da parte orgânica dos resíduos sólidos; altamente poluidor que acarreta a poluição dos recursos hídricos.

Apesar das características nocivas do gás metano, a sua utilização como biogás pode incrementar muitas atividades econômicas. A cidade de Manaus produz quantidade expressiva de resíduos sólidos. Este material é levado para o aterro sanitário e acomodado no terreno de acordo com as orientações da Engenharia Sanitária. Assim, conjectura-se que o aterro sanitário

de Manaus possui um acúmulo de gás metano passível de ser dimensionado para ser reaproveitado na geração de energia. Levando-se em conta essa possibilidade, este estudo tem o objetivo de prospectar a capacidade de produção de metano no aterro sanitário de Manaus e refletir sobre o seu uso social. No plano específico visa:

- a) quantificar a produção per capita de lixo gerado em Manaus e o custo social para o erário público de sua coleta;
- b) quantificar a capacidade de produção de gás metano diariamente pelo aterro sanitário;
- c) identificar o melhor uso alternativo do gás metano na geração de energia elétrica.

Justifica realizar este estudo por dois motivos: 1) na busca por fontes alternativas de energia, deve-se, necessariamente adotar um pluralismo tecnológico em matéria energética que permita responder de modo adequado cada problema específico; 2) o uso de metano em geradores de energia em comunidades isoladas no Estado do Amazonas pode trazer possibilidade de melhoria de vida às pessoas ou setores produtivos marginalizados da economia.

Este projeto está estruturado em três capítulos. O Capítulo 1 se importa com o marco conceitual. A essência da discussão é o uso do biogás no processo produtivo, bem como em ações sociais. No Capítulo 2 detém-se na metodologia da análise. Neste particular, o objetivo maior é externar o modo racional de prospectar o gás metano em aterro sanitário, extrair amostras e submeter aos procedimentos laboratoriais. Por fim, no Capítulo 3 tratamos dos resultados da pesquisa e sua discussão. Por fim a conclusão.

# 1 MARCO CONCEITUAL

## 1.1 O gás metano

O metano é um gás da primeira série dos alcanos ou das parafinas, que são compostos orgânicos de composição simples, mas que podem ser representados por moléculas extremamente grandes. O gás surge da fermentação anaeróbica, por conta da ausência de oxigênio. Nos esterco de animais, nos lixões, nos aterros sanitários, nas jazidas de petróleo, de xisto betuminoso, entre outros, pode ser encontrado o metano. É um gás incolor com uma estrutura molecular tetraédrica, de pouca solubilidade na água e, quando em contato com o ar se torna inflamável.

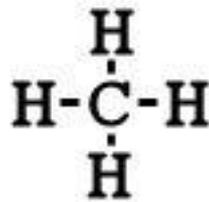


Figura 1 - Fórmula estrutural do metano.

No caso dos esterco, os bovinos possuem um sistema digestivo que tem a capacidade aproveitar e converter material fibroso com altos conteúdos de carboidratos estruturais, em alimentos de alta qualidade nutritiva, por exemplo, a carne e o leite. Todavia, o sistema digestivo desses ruminantes também produz metano.

Levando-se em conta este fato, pode-se dizer que a agricultura e a pecuária contribuem nas emissões antropogênicas de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) na atmosfera. Dentro da gama de gases que lhes atribuem um efeito nocivo está o CO<sub>2</sub>, o mais abundante.

Indiretamente, as atividades humanas, de um modo geral incrementam também a produção do metano. Após o depósito nos aterros sanitários, os resíduos sólidos urbanos, comumente conhecidos como “lixo”, possuem significativa parcela de matéria orgânica biodegradável que se transforma em substâncias gasosas, entre outras. É o processo de digestão anaeróbia dos que ocorre pela ação de microorganismos que transformam a matéria orgânica em um gás conhecido no Brasil como “biogás”. Esta fonte energética encontrada nos aterros sanitários é composta basicamente pelos seguintes gases: metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

No Brasil, a julgar pelas características dos resíduos sólidos, o biogás gerado na grande maioria dos aterros sanitários das metrópoles, apresenta elevada concentração de metano, acima de 55%, e de dióxido de carbono, acima de 30%.

Sendo o biogás gerado nos aterros sanitários, por conter em sua composição o metano e o dióxido de carbono, é um dos gases que originam o fenômeno conhecido como “efeito estufa” e que vem contribuindo para o aquecimento do planeta. Conforme alguns estudos, para cada período de 100 anos, 1 grama de metano, contribui 21 vezes mais para a formação do efeito estufa do que 1 grama de dióxido de carbono.

Sendo nocivo à saúde humana e animal, o biogás gerado nos aterros sanitários deve ser drenado e queimado para minorar os efeitos causados quando lançado na atmosfera, notadamente, no que se refere a potencialização do efeito estufa.

Portanto, quando ocorre a queima do biogás, este transforma o metano em dióxido de carbono e vapor d'água.

Projetos de intenção de reaproveitamento do metano dos aterros e lixões existem, no entanto, o processo exige investimentos vultosos, bem como demanda contínua nas proximidades destes aterros. As termelétricas a gás natural deverão injetar no sistema de distribuição uma grande quantidade de energia nos próximos anos. Portanto, para que o país siga o caminho de uma trajetória de crescimento sustentável, é muito importante que sejam valorizadas as fontes de energia renováveis e menos poluidoras, tais como o gás metano de aterros sanitários, co-geração a gás e biomassa, energia eólica e solar.

Segundo reportagem do Jornal Valor Econômico do dia 26/09/2008 intitulada "Metano vai virar energia no Paraná", se tudo der certo, em pouco tempo toda a energia usada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) para captar e processar esgoto, será produzida pela própria empresa.

Na Estação Ouro Verde, em Foz do Iguaçu, a empresa testa um sistema para transformar gás metano em energia e já provou que, com isso, evita o lançamento de 13 toneladas de gás metano por ano na atmosfera. Serão oito mil toneladas ao ano quando o projeto estiver concluído e todo o metano gerado nas estações de tratamento for convertido em energia elétrica.

Na Ouro Verde são produzidos 1,5 mil kWh por mês de energia, o suficiente para abastecer cinco residências durante um mês, segundo a diretora de meio ambiente e ação social da SANEPAR, Maria Arlete Rosa.

Quando o sistema for implantado nas 199 estações de tratamento de esgoto (ETEs) que a SANEPAR opera, terá capacidade para gerar 200 kW/mês

de energia, bem mais que os 80 kW/mês que a empresa consome. A energia excedente poderá ser vendida para a Companhia Paranaense de Energia (COPEL).

A transformação do gás metano em energia faz parte de um amplo programa da SANEPAR de busca por energias renováveis, o que torna a estatal pioneira no setor no país. O interesse na pesquisa é porque a energia responde por 11% do custo total do processo de funcionamento da empresa, que é a maior cliente da Copel.

O uso da energia elétrica gerada pelo processo de tratamento de esgoto poderá, no futuro, gerar economia de mais de R\$ 3 milhões por ano para a empresa.

Maria Arlete destaca que essa política energética traz benefícios de várias fontes. Ao incentivar a produção de energias renováveis, o trabalho anda na direção de diminuir a emissão de gases que provocam o efeito estufa, faz a reciclagem de passivo ambiental e reduz consideravelmente custos operacionais.

E tudo resulta num ganho concreto ainda maior. Funcionando a partir dos próprios resíduos para produzir energia, a SANEPAR faz planos para entrar no cobiçado mercado de créditos de carbono. Os estudos para isto, diz Maria Arlete, estão em fase final.

A busca por energias renováveis, na SANEPAR, começou, na verdade, em 1988, com o lançamento de um programa interdisciplinar de pesquisa, do qual participaram mais de cem pesquisadores de diversas instituições de pesquisa do Paraná.

Os estudos resultaram na produção de pelo menos duzentos artigos científicos e de livros técnicos, e foram decisivos para a definição dos critérios adotados pela legislação que orienta o uso agrícola de lodo de esgoto, programa ganhador dos prêmios FINEP de Inovação Tecnológica de 1988 e 2007.

A utilização do gás metano para a geração de energia enquadra-se nesta perspectiva da sustentabilidade das economias, tendo em vista a grande quantidade de emissões de metano que deixariam de ser lançadas na atmosfera. Essas possibilidades requerem, além do aporte tecnológico, regulamentações e metodologias eficientes de comercialização.

## **1.2 Uma breve retrospectiva do metano**

Desde os tempos remotos até a revolução industrial, as fontes de energia utilizada pelas empresas eram comumente as fontes renováveis, tais como: a força das águas dos rios para mover os barcos entre locais com pouca distância, a lenha para cozinhar e assar os alimentos, os ventos para mover os moinhos, bem como os barcos a vela que navegam pelos mares, enfim, também se usava da força animal para transporta pessoas e bens.

Na segunda metade do Século XVIII começa o uso intensivo do carvão para alimentar as máquinas a vapor que fomentaram a Revolução Industrial. A partir desse momento histórico o carvão foi consagrado a melhor fonte de energia, de tal monta que engendrou grandes mudanças social, organizacional e produtiva nas economias europeias. Todavia, no final do Século XIX começa o uso de uma fonte de energia não renovável, porém com características muito

mais vantajosas do que o carvão, posto que era fácil armazenar e transportar. Estamos falando do petróleo.

A descoberta de grandes jazidas de petróleo permitiu a sua penetração no mercado de energia, de maneira que se tornou popular nas economias que se moviam por meio da indústria de base e de transformação. Contudo, o grande impulsionador do consumo de petróleo foi o advento da indústria automobilística. O transporte rodoviário além de permitir o deslocamento de pessoas e bens com menor tempo, também dava autonomia a que dele fazia uso.

Antes, não se pode deixar de mencionar que nos fins do Século XIX, por volta de 1882, Thomas Edson lança o "Pearl Street", o primeiro sistema elétrico do mundo. Por conta dessa invenção uma vasta gama de tecnologias e desenvolvimentos científicos foi ocorrendo muito rapidamente em que a energia elétrica teve um papel muito importante. Ora, a lâmpada incandescente permitiu revolucionar o modo de fazer as coisas em uma sociedade. A iluminação artificial por horas contínuas permite alongar o trabalho nas empresas e outras muitas atividades humanas. A energia elétrica foi uma das grandes criações de grande impacto no mundo.

Enquanto distintas fontes de energia surgiam, atingiam o seu apogeu, e paulatinamente eram substituídas por outras mais seguras e vantajosas, o biogás também dava sinais que um dia viria ser útil. Conforme Coelho et al. (2001), a descoberta do biogás, também denominado de gás dos pântanos, foi atribuída a Shirley, em 1667. Por sua vez, em 1776, Alessandro Volta reconheceu a presença do metano no gás dos pântanos. No século XIX o aluno de Louis Pasteur, Ulysse Gayon, realizou a fermentação anaeróbica (decomposição sem presença de oxigênio) de uma mistura de estrume e água, a

35°C, obtendo então 100 litros de gás/m<sup>3</sup> de matéria. No ano de 1884 ao apresentar os trabalhos do seu aluno na Academia de Ciências, Louis Pasteur considerou que a fermentação podia construir uma fonte de aquecimento e iluminação (PECORA, 2006). Como se pôde observar nas entrelinhas, desde o Século XVII já se vem falando em biogás.

A geração de resíduos sólidos é uma consequência da atividade humana. Conforme os estudos de Tchobanoglous et. al. (1993), desde as sociedades primitivas, os humanos e os animais utilizam a terra como recurso de apoio à vida e para dispor seus resíduos. Em épocas remotas essa disposição de resíduos não representava um problema significativo, pois a população era pequena e a quantidade de terra disponível para a assimilação desses resíduos era grande. Atualmente, com o aumento populacional e as mudanças nos hábitos de vida das populações, a produção e o descarte de resíduos transformou-se num grande problema para a sociedade, tendo em vista a superação da capacidade do meio em assimilar os rejeitos descartados.

Dado que nem todos os países no mundo dispõem de jazidas de petróleo, de modo que dependem de óleo importado de outros países. É um comércio de altíssimo custo para a sociedade como um todo, posto que quase toda a estrutura produtiva no mundo é montada basicamente no uso intenso do petróleo. Esse custo foi um dos determinantes que motivaram vários países a buscarem alternativas de energia.

Nas décadas dos anos de 1950 e 1960, a Índia e a China foram os primeiros países a utilizar o processo de biodigestão, sendo que os dois países desenvolveram seus próprios modelos de biodigestores. A tecnologia da biodigestão anaeróbia foi trazida para o Brasil com a crise do petróleo, na

década dos anos 1970. Diversos programas de difusão foram implantados no nordeste, porém os resultados não foram satisfatórios e os benefícios obtidos não foram suficientes para dar continuidade ao programa (COELHO et al., 2001).

Ancorando-se em Pecora (2006), com a crise do petróleo, em 1973, diversos países buscaram alternativas para sua substituição de energia fóssil acarretando em um grande impulso na recuperação de energia gerada pelos processos de tratamento anaeróbio. Porém, as soluções para os problemas de desenvolvimento devem ser apropriadas às necessidades, as capacidades e aos recursos humanos, recursos financeiros e culturais. Apesar disto, o impulso recebido durante a crise não chegou a substituir os recursos não renováveis por fontes renováveis.

Apesar dessa insuficiência, os centros de pesquisa e as organizações governamentais vêm insistindo na busca de energia renováveis. De fato, atualmente na era dos biocombustíveis já se pode falar de gerações tecnológicas. Conforme pondera a EMBRAPA (2011), na primeira geração predominou os biocombustíveis tradicionais, produzidos a partir de matéria-prima vegetal gerada pela agricultura. Os combustíveis dessa geração são o bioetanol, o biodiesel, o óleo vegetal puro e o biogás no qual se encontra o metano. Na segunda geração predomina os combustíveis originários de fontes distintas da biomassa, por exemplo, o synfuels. Por sua vez na terceira geração é caracterizada pelo uso de células de hidrogênio que resulta no etanol celulósico (PACHECO, 2011).

### **1.3A formação do biogás e as evidências empíricas**

O biogás é produto da primeira geração de biocombustíveis. O gás é formado a partir da degradação da matéria orgânica. Sua produção é possível a partir de uma grande variedade de resíduos orgânicos como lixo doméstico, resíduos de atividades agrícolas e pecuárias, lodo de esgoto, entre outros. É composto tipicamente por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis. Dependendo da eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 40% e 80% de metano (PECORA, 2006).

Do depósito no aterro sanitário até a cobertura com barro para posterior compactação, o lixo permanece por certo tempo descoberto em contato com o ar atmosférico. Neste intervalo de tempo já se pode constatar a presença do biogás. Aterrados, mesmo assim, o lixo continuará liberando gás (ENSINAS, 2003).

A formação e a taxa de geração dos principais constituintes do aterro são variáveis ao longo do tempo. Em condições normais, a taxa de decomposição atinge um pico entre o primeiro e segundo ano e diminui continuamente por alguns anos. No aterro Essencis, por exemplo, as atividades tiveram início em setembro de 2002 e a primeira célula do aterro foi fechada por volta de agosto de 2004 (ESSENCIS, 2007). Nesta célula, chamada de fase 1, houve a deposição de grande quantidade de resíduo industrial, o que não favorece a formação do biogás, pois não gera metano. Porém, segundo dados coletados a partir de informações de técnicos que trabalham no aterro, uma

previsão geral é que a geração do biogás após o encerramento da célula se prolongue por cerca de 20 anos de acordo com o relatado no trabalho de Figueiredo (2011).

FILHO (2005) advoga que, a capacidade de um aterro gerar gás vai depender de muitos fatores como, por exemplo, a composição do resíduo, umidade, pH, entre outros. Os fatores que afetam a geração de biogás são descritos a seguir:

a) Composição do resíduo – quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior será o potencial de produção de biogás no aterro. Resíduos de alimentos são exemplos de matéria orgânica facilmente decomposta, o que acelera a taxa de produção do gás. Materiais que se decompõe lentamente, como grandes pedaços de madeira, não contribuem significativamente com a geração de gás.

b) Umidade – Depende da umidade inicial do resíduo, da infiltração da água da superfície e do solo, e da água produzida na decomposição. Quanto maior o teor de umidade, maior será a taxa de produção do biogás.

c) Tamanho das partículas – quanto menor a unidade da partícula, maior será a área da superfície específica e, portanto, a decomposição será mais rápida se comparada a uma partícula de menor área. Por exemplo, a decomposição de um tronco de madeira ocorrerá mais rápida se este for cortado em pedaços menores ao invés de ser disposto em maiores dimensões.

d) Idade do resíduo – a geração do biogás em um aterro depende primordialmente de duas variáveis dependentes do tempo: tempo de atraso (período que vai da disposição do resíduo até o início da geração do metano) e

tempo de conversão (período que vai da disposição do resíduo até o término da geração do metano).

e) pH – Dentro da faixa ótima de pH, a produção do metano é maximizada e fora dessa faixa – mas se o pH estiver abaixo de 6 ou acima de 8 – a produção de metano fica estritamente limitada.

f) Temperatura – As condições de temperatura de um aterro influenciam os tipos de bactérias predominantes e o nível de produção de gás. As máximas temperaturas do aterro freqüentemente são alcançadas dentro de 45 dias após a disposição dos resíduos, como um resultado da atividade aeróbia microbiológica. Elevadas temperaturas de gás dentro de um aterro são o resultado de uma atividade biológica. As temperaturas típicas do gás produzido em um aterro variam, tipicamente, entre 30 a 60°C; e

g) Outros fatores – Outros fatores que podem influenciar a taxa de geração de gás são os nutrientes, bactérias, compactação de resíduos, dimensões do aterro (área e profundidade), operação do aterro e processamento de resíduos variáveis.

Enfim, esses critérios são importantes ser levados em considerações, na análise de sondagem de gás metano em qualquer aterro sanitário.

#### **1.4 As três gerações de biocombustíveis**

No âmbito de produção de energias renováveis, conceitos de agroenergias e biocombustíveis, comumente aparecem nas publicações científicas, nos seminários, nos congressos, e também nos planos de governo. Em realidade os biocombustíveis são originários da transformação da biomassa,

ou seja, de material orgânico. No entanto, na esteira do desenvolvimento desses combustíveis costuma-se classificar em biocombustíveis de primeira, segunda e terceira geração. Essa classificação está baseada na matéria-prima utilizada e na tecnologia do processo de produção.

Os biocombustíveis da primeira geração são os tradicionais. Nesta linha conservadora tem-se: bioetanol, biodiesel, óleo vegetal puro, biogás. A base da matéria-prima para sua fabricação são os vegetais cultivados pela agricultura, por exemplo, a beterraba, o trigo, o milho, a colza, o girassol e a cana-de-açúcar, de modo que tudo isso concorrem com culturas alimentícias. Contudo, Goldemberg (2009) pondera que a produção do etanol não ameaça o desmatamento, tão pouco a produção de alimentos. Dado que a expansão da agricultura está absorvendo áreas que antes eram de pastagem e não de florestas nativas. A Tabela 1 é um retrato resumido das três gerações tecnológicas de biocombustíveis.

Tabela 1 - As três gerações de biocombustíveis.

1ª. Geração: Biocombustíveis Tradicionais		
Biocombustível	Matéria-prima	Processo de produção
Bioetanol	Açúcar, grãos (milho e trigo)	Fermentação
Biodiesel	Óleos vegetais, gorduras animais	Transesterificação, Esterificação/Craqueamento catalítico etc.
Óleo Vegetal Puro	Oleaginosas	Passagem a frio/Extração
Biogás	Resíduos orgânicos	Gasificação
2ª Geração: Biomass to Liquids - BTL		
Biocombustível	Matéria-prima	Processo de produção
Synfuels	Resíduos da agricultura e florestas	Gasificação e síntese/Hidrólise avançada
3ª. Geração: Células de Hidrogênio		

Fonte: Embrapa (2011).

A segunda geração, os biocombustíveis baseados na biomassa (o conjunto das matérias orgânicas), ou seja, são produzidos a partir da lignocelulose ou lenhinocelulósicas, bem como de outras fibras vegetais incorporadas na madeira ou nas partes não comestíveis dos vegetais. A gaseificação e síntese/hidrólise avançada são os processos de produção recomendados.

A Petrobrás em conjunto com a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), realizou parceria para o desenvolvimento de pesquisa para a produção de etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar ou torta de mamona (resíduo resultante da produção de biodiesel). Nesse processo, em uma amplitude mais geral, ocorre a quebra de moléculas pela ação das enzimas.

Em outros países estão em curso o desenvolvimento de outras tecnologias, sendo a mais próspera o processo Fischer-Tropsch. Esta tecnologia não é nova, pois consiste em transformar o gás de síntese em hidrocarbonetos. Quando se trata do aproveitamento da biomassa, faz-se uma queima na presença de baixa concentração de oxigênio com o objetivo de produzir o gás de síntese. Este gás, em outra fase é transformado em hidrocarbonetos na faixa da gasolina e do diesel.

Os biocombustíveis de terceira geração são produzidos a partir de células de hidrogênio. Portanto, as pesquisas vêm ocorrendo na produção da biomassa. Essa geração foca o seu interesse em biologia de plantas, técnicas de procriação molecular, pesquisa genômica, as colheitas transgênicas. Tudo isto corrobora com a expectativa de que se podem produzir plantas com propriedades que as tornam mais aptas para a conversão em biocombustíveis.

Algumas experiências dão uma idéia de que o futuro da terceira geração de bicompostíveis está próximo. Por exemplo, árvores de eucalipto cultivadas sob baixo teor de lignina permitem uma conversão mais simples em etanol celulósico.

Enfim, as experiências são várias, mas a produção em escala industrial ainda é uma promessa.

## **2 METODOLOGIA DE ANÁLISE**

### **2.1 Suporte básico de procedimentos para detecção de gás metano no aterro sanitário**

Certamente, em qualquer trabalho de natureza científica é imprescindível recorrer à literatura especializada afeta ao tema a ser explorado. A leitura de um conjunto de textos selecionados respaldará as argumentações que vão sendo construídas ao longo da pesquisa. No caso deste estudo, a literatura recai nas observações críticas de especialistas sobre a produção de biogás como fonte de energia sustentável (LAENDER, 2004). Essas reflexões constam em artigos publicados em teses, dissertações, periódicos e livros. Contudo, parcela significativa dessa literatura está em periódicos ou em relatórios de pesquisa de doutorando e mestrando.

Apesar da importância das leituras prévias na linha de pesquisa deste estudo ou de áreas correlatas, mas para responder os objetivos propostos na Introdução, sem dúvida, ter-se-ia que recorrer a pesquisa de campo para colher materiais que quantificassem a capacidade de produção de gás metano no aterro sanitário de Manaus. A coleta de material do aterro é imprescindível para mensurar essa capacidade de produção e o monitoramento. Ora, alguns métodos comumente aplicados na detecção de gás metano são conhecidos por químicos, engenheiros químicos, geólogos, entre outros.

No trabalho de pesquisa de Filho (2005), o autor discorre sobre a estratégia de campo, bem como de laboratório para aferir a existência de gás metano nos aterros sanitários de “Terra Brava” e “Nova Iguaçu”, no Estado do

Rio de Janeiro. Caberia seguir as mesmas fases de campo e laboratorial empregada pelo autor. Para efeito didático, a metodologia empregada pelo autor para o monitoramento de gases subdivide em duas etapas: primeira, estudo de campo e segunda, estudo de laboratório.

No primeiro caso, envolve a amostragem e medição. A amostragem implica na coleta de resíduos do aterro sanitário, com grande probabilidade de apresentar indicadores da existência de gás metano. Essas amostras podem ser do tipo deformadas e indeformadas, numa profundidade de 5, 10, 15 e 30 cm. Para esse fim, exigem-se equipamentos eletrônicos, tais como: Medidor de gás; Termômetro digital; Seringa coletora de gás e acessório.

O mercado dispõe de alguns tipos de medidores de gás que utilizam sensores de detecção da presença de gás e cada sensor deve ser calibrado. Os sensores utilizados pelo medidor de gás são:

- CH<sub>4</sub>, (metano) conhecido como catalítico;
- CO<sub>2</sub> (gás carbônico);
- H<sub>2</sub>S (gás sulfídrico);
- O<sub>2</sub> (oxigênio).

O equipamento de medição também mede a explosividade em porcentagem de LEL (Lower Explosive Limit – Limite Mínimo de Explosão). Além disso, o equipamento está munido de alarmes ligados a cada sensor, de modo que os sinais dão alertas de acordo com o nível de gás detectado pelo equipamento e de acordo com os dados da Tabela 2.

Tabela 2 - Gases e alarmes.

Gases	Alarme 1	Alarme 2	Range
CH <sub>4</sub>	10% LEL	20% LEL	100% LEL
	0.440% vol	0.800% vol	4.400% vol
H <sub>2</sub> S	10 ppm	20 ppm	100 ppm
O <sub>2</sub>	19.00% vol	23.00% vol	25.00% vol
CO <sub>2</sub>	0.500% vol	1.000% vol	5.000% vol

Fonte: Filho, (2005).

O Medidor de Temperatura - ou termômetro - é utilizado para mensurar a temperatura dos gases nos drenos de aterro. Os profissionais tem recomendado a marca GULterm 200, tipo Pt 100. Os valores das temperaturas são dados na escala Celsius (°C). A faixa de medida do equipamento vai de -199,9 a +199,9°C. Por sua vez, o medidor possui as seguintes dimensões: Comprimento = 132 mm; Largura = 73 mm e Altura = 28 mm.

A Seringa plástica – é um pequeno equipamento graduado com volume de 60mL e válvula de registro em Tê acoplada ao seu bico. A seringa é acompanhada de uma mangueira de silicone com diâmetro externo de 5 mm, interno de 3 mm e comprimento de 1400 mm.

De posse dos equipamentos eletrônicos, as medidas podem ser realizadas mensalmente por um dado período em pontos estratégicos de drenagem. Os pontos de drenagem devem ser alocados de acordo com o tamanho do aterro. No aterro sanitário de Manaus caberia um pouco mais de 20 pontos. Destes pontos selecionaria pelo menos uns sete pontos para coleta com seringa. O material coletado deve ser mantido sob refrigeração por um tempo, para depois ser submetido à cromatografia.

No laboratório, os estudos devem ser realizados por meio do cromatógrafo. A idéia básica é o uso de um gás de arraste que entra pelo

equipamento atravessando o injetor, que deve estar aquecido, de tal maneira a promover a rápida vaporização da amostra, alcançando a coluna, de modo a permitir o arraste do aerossol da amostra. Em outro momento, separados na coluna, os componentes passam no detector e o sinal é imediatamente enviado e registrado na forma de um cromatograma.

Antes mesmo de realizar a cromatografia, deve-se fazer a caracterização das amostras indeformadas por meio de ensaios geotécnicos. Isto implica realizar a granulometria, os limites físicos e a densidade relativa de acordo com as normas da ABNT. Na seqüência, submete as amostras para a caracterização das propriedades físicas em relação às condições do campo, ou seja, examinar o teor de umidade, o índice de vazio e grau de saturação.

Outros testes se fazem necessários. Para esse fim, as amostras deformadas são submetidas à caracterização, por meio de ensaios físico-químicos. Isto permite identificar a quantidade de pH e o teor de sólidos totais voláteis (STV) pelos métodos potenciométricos e gravimétricos, respectivamente.

A julgar pelo perfil de suas análises, um estudo dessa natureza envolve tempo, pessoal, equipamentos e laboratório adequados. Isto implica em um alto custo para os centros de pesquisa. Além disto, como profissional da área de gestão pública pouco ou nenhum domínio se tem das técnicas de geoquímica para detecção de gás metano em aterro sanitário, bem como em quaisquer outros depósitos minerais, então se adotou uma estrutura metodológica pautada em atalhos, porém seguros.

A estratégia foi realizar visita ao aterro sanitário de Manaus para conhecer sua infraestrutura montada, bem como obter informações sobre a

extração de gases, principalmente o metano. O engenheiro responsável pelo aterro, o Sr. Edivar Pereira, dispõe das informações básicas que respondem ao objeto desta pesquisa. Em uma segunda visita, foi realizada uma entrevista estruturada com o engenheiro responsável, de modo que foi possível saber o tempo de vida do aterro, a produção diária e per capita de resíduo da cidade de Manaus, a capacidade de produção de gás metano/dia, bem como as providências que a empresa gestora dá ao gás. O roteiro da entrevista encontra-se no Anexo A.

## **2.2. Os potenciais usuários do gás metano**

A conversão energética do Biogás pode ser apresentada como uma solução para o grande volume de resíduos produzidos nos centros urbanos, visto que reduz o potencial tóxico das emissões de metano ao mesmo tempo em que produz energia elétrica agregando, desta forma, ganho ambiental e redução de custo (COSTA, 2002).

Para o Banco Mundial (2004), o biogás contém aproximadamente 50% de metano de modo que é considerado combustível de valor médio, baixo. Contudo, pode ser utilizado em numerosas aplicações, em aquecimentos, geração de energia elétrica e subprodutos químicos comerciais. Além da mitigação das mercaptanas e da preocupação com o mau cheiro, a utilização do biogás pode gerar receita com a venda da energia verde e de outros produtos que podem diminuir os custos de operação e manutenção do aterro.

A instalação da usina de beneficiamento pela diversificação da matriz energética de geração de energia elétrica traria como benefícios financeiros para

o proprietário do aterro pela venda do biogás, neste caso as prefeituras municipais, podendo ser dilatado à comunidade com a diminuição da taxa de limpeza urbana pelo biogás produzido e a diminuição da taxa de iluminação pública pela energia elétrica gerada, e contribuição para o superávit da balança comercial pela venda de créditos de carbono. O sistema elétrico seria beneficiado pela diversificação da matriz energética.

Devemos destacar que como em qualquer outro negócio que haja investimento em máquinas, equipamentos, mão-de-obra, etc., haveria de se fazer cálculos de taxa de retorno do capital investido.

Um dos principais consumidores potenciais da energia do biogás proveniente de aterros sanitários são as pequenas comunidades que possuem dificuldades de obtenção de energia ou ainda façam uso de energia proveniente de grupos geradores movidos a diesel, extremamente poluentes para o meio ambiente.

Outro potencial comprador de energia proveniente do gás metano do Aterro Sanitário de Manaus são as empresas e indústrias do Pólo Industrial de Manaus, o PIM, isto porque a partir da geração de energia a partir do gás, estas empresas poderiam fazer a compra dessa energia, que seria transportada até a matriz industrial através de cabos instalados na própria rede elétrica já existente. Além disto, por ser considerada uma energia proveniente do lixo doméstico depositado em aterro sanitário, o fato serviria de propaganda institucional e apelo de *marketing* para a própria empresa, uma vez que seria amplamente divulgado que esta faz uso de energia renovável e contribui para proteção do meio ambiente, redução do aquecimento global, menor destruição da camada de ozônio, etc.

### 2.3. Localização e caracterização do aterro sanitário de Manaus

O aterro sanitário de Manaus localizado no Km 19, da rodovia AM-010 (Figura 2), na estrada que liga o município de Manaus ao município de Itacoatiara. Segundo o titular da SEMMAS, o aterro acumula mais de 20 milhões de toneladas de resíduos sólidos e produz aproximadamente 4.700 toneladas de gases de efeito estufa, sendo 53% deste gás metano. Desde 1986 o local destina-se aos resíduos sólidos urbanos da cidade de Manaus. A área pertence atualmente à Prefeitura de Manaus, conforme o Decreto Municipal nº 2.694, de 08 de março de 1995. Antes, a área pertencia ao Sr. Honorino Dalberto.



Figura 2 – Aterro Sanitário da cidade de Manaus. FONTE: Google Earth (2011).

Segundo o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a área está inserida na Bacia do Igarapé do Matrinxã, afluente do Igarapé Acará, o qual se junta com o Igarapé de Santa Etelvina para formar o Igarapé da Bolívia.

Os núcleos populacionais mais próximos do aterro controlado são as comunidades Lagoa Azul, Ismael Aziz, São João e União da Vitória. Fora do raio de dois quilômetros estão as comunidades de Santa Tereza, Bom Jardim, Jardim Fortaleza, Novo Milênio, Ingá, Jardim Raquel e Chácara Castanheiras.

Em 1990, o Ministério Público do Estado do Amazonas determina a recuperação da área e seu monitoramento, mas, somente em julho de 2006 são concluídos os termos de acordo entre o Ministério Público Estadual sobre o assunto. A Prefeitura de Manaus, por meio da SEMULSP, terceirizou o serviço de coleta e parte da operação do aterro, com base na Lei nº 977, de 23 de maio de 2006, que instituiu o "Programa de Parcerias Público-Privadas do Município de Manaus – Programa PPP/Manaus".

A estrutura de fiscalização no aterro é formada por fiscais que acompanham a chegada, o descarregamento e a saída dos caminhões. Os fiscais estão presentes 24 horas na área e verificam as condições gerais dos veículos, tipos de resíduos que estão dispostos e se os veículos estão descarregando todo o conteúdo no aterro. Depois, são encaminhados para o controle da balança dos caminhões. O balanceiro verifica e registra a origem e a natureza dos resíduos e sua pesagem. A balança do aterro é eletrônica, com capacidade de 60 toneladas, e possui um software específico para o controle da pesagem.

A unidade de apoio administrativo e operacional constitui um prédio que abriga o escritório, sala de reunião, sala de controle de pesagem de resíduos, copa, refeitório e instalações sanitárias.

No Aterro Municipal de Manaus são recebidos os resíduos sólidos urbanos, comercial, público, parte dos resíduos da construção civil, animais mortos, resíduos das férias de frutas, verduras, peixes e resíduos hospitalares.

A cobertura diária dos resíduos é feita com camada de terra e/ou resíduos mecanizados (construção civil, mutirões e podas). O total de veículos que entram no aterro diariamente corresponde ao total de 730.

Em 2006, a SEMULSP contratou a CPRM para realizar o “Diagnóstico e Avaliação da Contaminação dos Recursos Hídricos na Área do Entorno do Aterro Sanitário de Manaus”. Esse diagnóstico foi realizado em 2006, um monitoramento trimestral, com início em setembro de 2007 vem sendo desenvolvido pela CPRM, para análise da evolução da contaminação dos recursos hídricos no entorno do aterro.

Foram retirados cerca de 300 catadores, em meados de 2005, da área do Aterro Sanitário da cidade de Manaus.

Existem, na verdade, duas classificações para os Aterros:

### **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. Este 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.

Esta forma de disposição produz, em geral, poluição localizada, pois similarmente ao aterro sanitário, a extensão da área de disposição é minimizada. Porém, geralmente não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem processos de tratamento de chorume ou de dispersão dos gases gerados. Esse método é preferível ao lixão, mas, devido aos problemas ambientais que causa e aos seus custos de operação, é inferior ao aterro sanitário.

### **Aterro Sanitário**

O aterro sanitário é a forma de dispor o lixo sobre o solo, compactando-o com trator, reduzindo-o ao menor volume permissível e recobrando-o com camada de terra compactada, na frequência necessária (ao menos, diariamente), de modo a ocupar a menor área possível.

A técnica basicamente consiste na compactação dos resíduos no solo, dispondo-o em camadas que são periodicamente cobertas com terra ou outro material inerte, formando células, de modo a ter-se uma alternância entre os resíduos e o material de cobertura.

Para Santos e Girardi, (2007), citando trabalho de vários autores, o principal objetivo do aterro sanitário é dispor os resíduos sólidos no solo, de forma segura e controlada, garantindo a preservação do meio ambiente, a higiene e a saúde pública. Mas, sem dúvida, os aterros também servem para recuperar áreas deterioradas, tais como: pedreiras abandonadas, grotas, escavações oriundas de extração de argila e areia e regiões alagadiças. Quando se tratar de áreas para atender os dois objetivos citados, devem ser feitos

estudos apropriados para garantir as condições sanitárias do aterro e o não comprometimento do lençol freático da área em questão.

Quando da construção de aterros sanitários, devem ser tomadas as seguintes medidas:

- proteger as águas superficiais e subterrâneas de possível contaminação oriunda do aterro, através de camada impermeabilizante e drenagem adequada;

- dispor, acumular e compactar diariamente o lixo na forma de células, trabalhando com técnicas corretas para possibilitar o tráfego imediato de caminhões coletores, equipamentos e para reduzir recalques futuros do local;

- recobrir diariamente o lixo com uma fina camada de terra de 20 cm (selo de cobertura) para impedir a procriação de roedores, insetos e outros vetores e a presença de catadores e animais a procura de materiais e alimentos;

- controlar gases e líquidos que são formados no aterro, através de drenos específicos;

- manter os acessos internos e externos em boas condições, mesmo em tempo de chuva;

- isolar e tornar indevassável o aterro e evitar incômodos à vizinhança.

O aterro do município de Manaus é considerado um **aterro controlado**, porém executa as fases do aterro sanitário. Esta classificação deve-se ao fato do imenso passivo deixado para o aterro quando o local era apenas um lixão. Dessa forma o aterro apesar de trabalhar dentro dos padrões operacionais de um Aterro Sanitário ainda recebe a denominação de Aterro Controlado.

Para se obter mais informações técnicas sobre o Aterro Sanitário de Manaus, foi realizada uma entrevista com o Sr. Edvar Pereira, gerente do aterro.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 A capacidade de produção do Aterro Sanitário de Manaus**

O gás metano está presente em diversos aterros sanitários e no Aterro Sanitário de Manaus não é diferente. Porém, os olhos de toda sociedade e não só da comunidade científica, começam a se voltar para algo que pode ajudar de forma significativa a vida de todos nós no planeta. Isto porque existe hoje a busca constante por alternativas que substituam os combustíveis fósseis, existe também o problema relacionado ao aquecimento global e ao gradativo aumento das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre, fazendo com que cada vez mais a utilização do gás metano ou biogás, seja uma realidade em nosso dia-dia e uma alternativa perfeitamente viável para a produção de energia.

Aliado a esses fatores, há também o próprio processo de formação desse biogás, que é resultado do processo de decomposição do lixo doméstico, abundantemente encontrado na face da terra e através de um processo de coleta e tratamento, armazenado em aterros sanitários nas grandes cidades. Portanto sabemos que o ser humano por intermédio de seu processo de vida na terra jamais deixara de produzir lixo, seja por meio doméstico, industrial, esgoto, etc. Então, se fosse possível dar uma destinação correta para este lixo e de forma ordenada conseguir aproveitar este lixo para a produção de energia, daremos um passo significativo para a construção de um planeta mais limpo e conseqüentemente, garantindo a nós mesmo uma melhor qualidade de vida.

O gás metano, também chamado de biogás, pode ser produzido pela fermentação de matéria orgânica incluindo esterco, esgoto, lixo urbano e outros estoques de material biodegradável em condições anaeróbicas. Esse processo de fermentação é comumente obtido nos aterros sanitários.

Como o biogás, que é considerado um combustível gasoso e que possui um conteúdo energético elevado semelhante ao gás natural é formado por metano, dióxido de carbono e outros gases, é premissa básica para a produção de energia que o biogás resultante da fermentação existente nesses aterros sanitários tenha em sua composição 50% ou mais de metano, fato este existente no Aterro Sanitário de Manaus, onde a presença de metano no biogás é de 52% conforme declaração do Sr Edivar Pereira, Gerente do Aterro Sanitário de Manaus e de acordo com a informação veiculada no site da Secretaria Municipal de Limpeza Pública do Município de Manaus.

O Aterro de Manaus que começou como lixão em 1986, sendo que o início da recuperação deste aterro ocorreu em setembro de 2006. Em setembro de 2007, veio a certificação da área como aterro. Hoje, possui cerca de 100 funcionários e é responsável pelo recebimento do lixo coletado na cidade de Manaus, o que corresponde a aproximadamente 100 mil toneladas por mês de lixo. No município de Manaus, a zona leste, por ser a maior zona populacional da cidade de Manaus é também a maior produtora deste volume de lixo. Manaus é uma cidade que hoje produz em termos de lixo 50Kg/mês/habitante, ficando acima da média nacional que é de 30/Kg/mês/habitante.

No Aterro Sanitário de Manaus são produzidos, ou seja, são captados, cerca de 15.000m<sup>3</sup> por hora de gás metano. Existe uma quantidade maior de metano, cerca de 30.000 m<sup>3</sup>, porém esse metano se encontra confinado no

próprio aterro. Não se deve esquecer que a produção desse metano e sua transformação em energia, seguirá uma curva ascendente mais ou menos nos primeiros cinco anos de funcionamento do aterro e depois esta curva cairá, não mantendo a produção inicial. Com boa vontade, o aterro continuará produzindo gás no décimo ano. Além disso, o aterro na forma em que se encontra só terá funcionalidade por mais onze anos.

No Aterro Sanitário de Manaus o biogás resultante deste processo possui canalização, o que já diminui substancialmente a emissão de gás metano para a atmosfera. O sistema de canalização é formado por cerca de 5.000Km de tubulação. Existem alguns postos de queima no próprio aterro, porém sua eficiência é reduzida em relação ao *flare*.

A grande parte desse biogás canalizado percorre o aterro até chegar em um *flare*, onde ocorre o processo de queima controlada. Processo este considerado o mais adequado, uma vez que seria extremamente perigoso que este metano fosse liberado para a atmosfera terrestre.

O principal objetivo do processo de queima controlada é a oxidação térmica, ou seja, a queima do biogás, e conseqüentemente a queima do metano presente neste biogás. Há a conversão em gás carbônico, água e outros produtos de combustão.

Na verdade o processo começa quando o sistema de extração do aterro leva o biogás dos drenos do sistema até o sistema de tratamento, que é formado basicamente por um conjunto de sopradores, filtros para a remoção de gotículas de condensado e material particulado e tubulação para a queima no *flare*.

Todos os parâmetros do biogás são monitorados, no decorrer do processo, tais como vazão, pressão e temperatura em diversos pontos,

composição do metano, Gás carbônico e oxigênio, temperatura de queima do metano nos *flares*, para cálculo dos créditos de carbono. No *flare* do Aterro Sanitário de Manaus a temperatura de saída é de mais ou menos 840°C.

Dentro do processo de queima controlada pode-se produzir energia elétrica. Essa produção de energia poderá ser feita através de duas formas. Ou através de Turbinas de Vapor ou através de Motores usando o próprio biogás como combustível. Porém para isso seria necessário construir uma usina de 16MWh e precisaria captar mais biogás do aterro, cerca de 20.000m<sup>3</sup>.

A construção de uma usina e investimentos para se captar mais gás já fazem parte do plano de investimento futuros da empresa que administra o Aterro Sanitário de Manaus. No aterro a queima iniciou-se no ano de julho 2009.

Devemos destacar que é perfeitamente viável o aproveitamento do metano existente no Aterro de Manaus, tomando-se os devidos cuidados quanto a questão da produção do biogás e a produção de energia.

### **3.2 Possibilidade de uso do gás metano em Manaus**

Diante da possibilidade de poder extrair o metano no aterro sanitário de Manaus, pelo fato de existir tecnologia apropriada para essa finalidade, deve-se levar em conta se realmente o investimento realizado compensa o tempo de extração e utilização do Metano para a produção de energia, uma vez, que o biogás é finito dentro do aterro.

Dentro das visões existentes sabe-se cada vez mais sobre as transformações que o planeta tem vivido ao longo dos anos, tais como destruição da camada de ozônio, aquecimento global, a busca por energias

menos poluentes e busca por alternativas para minimizar o desgaste provocado pelo homem no meio em que vive. Diante desses fatos uma extração mesmo que em pequena quantidade compensaria os investimentos em tecnologia e equipamentos para a produção de energia no aterro tendo como visão no aspecto ambiental e social, fazendo com que esse gás deixe de ser lançado na atmosfera ou seja queimado.

A energia gerada no aterro através do biogás existente poderia ser interligada com a própria rede elétrica já existente e que passa em frente o aterro na rodovia AM-10 e dessa forma vendida para a própria concessionária de energia, porém o contrato do fornecimento dessa energia deverá ser feito de forma muito cuidadosa. Isto porque o processo de produção de energia através do biogás apresenta oscilações ao longo da operação de captação do gás no aterro sanitário, nos primeiros cinco anos o gás permanece numa via ascendente e depois entra numa descendente de produção até mais ou menos o décimo ano depois de parar o lixo.

O que é necessário são investimentos para se buscar esse gás que está confinado, pois à medida que se retira o gás confinado no aterro, vai aumentando sua vazão.

Desta forma deve-se vender esta energia através de um pacote, tomando por base a menor vazão do período do dia e não calcular pelo pico da produção de gás no aterro, além de realizar reserva técnica para a queima controlada no próprio *flare*.

Além da usina de produção de energia que pode ser turbinas à vapor ou motores que consomem o próprio biogás como combustível, precisar-se-ia implantar um equipamento para realizar o resfriamento do gás e a instalação de

filtros, uma vez que o gás proveniente do lixo é um gás muito agressivo e tóxico, pois é jogado de tudo no lixo doméstico. Desta forma se evitaria que o próprio gás corroesse as engrenagens dos motores de produção de energia.

A produção de energia através dessa usina que geraria 16Mw de energia, seria suficiente para atender cerca de 300 mil habitantes. E a indústria também poderia ser atendida por essa energia.

A prefeitura, que é a proprietária do aterro, teria uma fonte alternativa de recursos para investimentos em outras áreas como educação e saúde. E a contribuição para o meio ambiente, a sociedade e o planeta seria de valor incalculável.

## CONCLUSÃO

Estudar e analisar um fenômeno, seja de qual for a natureza, trazem muitos aprendizados. Dentre os quais, podem-se enumerar dois: primeiro é o conhecimento de uma realidade talvez pouca explorada por outros estudos precedentes. Isto cria base para outros estudos que poderão surgir posteriormente, de modo que são formas de se comunicar com outros pesquisadores. Segundo, é o próprio aprendizado que se adquire na condução de uma pesquisa de natureza acadêmica.

Estudar e analisar as potencialidades reais do gás metano do aterro sanitário de Manaus, não foge a regra, pois de imediato trouxe dois resultados promissores tanto para a literatura empírica regional sobre o uso de biocombustíveis, que tem escassez de estudos cuidadoso nessa área, como também se obteve um rico aprendizado na condução de uma pesquisa.

O aterro sanitário de Manaus absorve quase todos os resíduos descartados pela população. Sem dúvida, uma parcela muito pequena é aproveitada pelos catadores de papel, entre outros resíduos. No entanto, um volume muito maior é levado para o aterro sanitário de acordo com as recomendações de órgãos reguladores de saneamento.

O aterro gera uma quantidade de gás que pode ser aproveitado racionalmente para iluminação de casas ou servir de insumo para gerar energia para indústria de transformação, garantindo uso de uma energia renovável e limpa.

## REFERÊNCIAS

ALVES, J. W. S. *Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos*. (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

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

**COELHO, S. T.; SILVA, O. C.; VARKULYA, A. Jr.; AVELLAR, L. H. N.; FERLING, F. F.** *Estado da arte do biogás. Relatório de acompanhamento*. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. São Paulo, 2001.

**CONPET** – Programa nacional da racionalização do uso dos derivados de petróleo e do gás natural. *Gás natural*. Disponível em: <http://www.conpet.org.br/>. Acesso em 13/04/2007. *conservação de energia e uso do biogás*. (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

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

**DIETRICH S.; BORTHOLIN, E.; GUEDES, B. D.** *Instrumentação para o ensino. Licenciatura em Ciências Exatas Universidade de São Paulo/ BRASIL*. 2008.

EIA. 2009. Energy Information Administration. **Energy Consumption**. Disponível em <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/energyconsumption.html>. Acesso em Dezembro de 2010.

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

ESSENCIS. 2007. Essencis Soluções Ambientais. **Biogás**. Disponível em <http://www.essencis.com.br/solucoes-ambientais/tratamento-e-destinacao-de-residuos/biogas>. Acesso em Março de 2011.

**FIGUEIREDO, N. J. V.** Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica – estudo de caso. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Energia – EP/ FEA/ IEE/ IF da Universidade de São Paulo. 2011.

**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.

**FURTADO, A.** Crise Energética e Trajetórias de Desenvolvimento Tecnológico. Anais. Ciclo de Seminários – Brasil em Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Instituto de Economia/ UFRJ;CEPAL, 2003.

**GOLDEMBERG, J.** Biomassa e energia. *Quím. Nova.* Vol.32, no. 3, 582-587, 2009.

**GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J.R.** Política Energética no Brasil. *Estudos Avançados* 19 (55) , 2005.

**HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.** *Energia e Meio Ambiente.* São Paulo: Pioneira Thomson, 2003.

**LAENDER, A. T.** *Combustíveis gasosos: biogás.* Disponível em <<http://www.demec.ufmg.br>> - Departamento de Engenharia Mecânica, DEMEC. 2004. Acesso em Março de 2011.

**LIMA, F. P.** *Energia no tratamento de esgoto: Análise tecnológica e institucional para Líquidos.* Sem publicação. CETESB, 2001.

**MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF, 2005.

**MERCIER, P.** *História da antropologia.* Lisboa: Teorema, 1986.

**PACHECO, T.F.** Produção de Etanol: primeira ou segunda geração? <<http://www.embrapa.gov.br/embrapa/imprensa/artigos/2011/producao-de-etanol-primeira-ou-segunda-geracao>> - Acesso em Março de 2011.

**PARENTI, H. Jr.** *Avaliação dos usos energéticos potenciais do biogás do aterro sanitário de São Carlos - SP,* 2005. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso

(Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

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

**PIRES, A.; FERNÁNDEZ, E. F.; BUENO, J.** *Política Energética para o Brasil: Propostas para o crescimento sustentável*. Rio de Janeiro: Nova fronteira, 2006.

**Revista BiodieselBR** – Pinhão Manso; Pesquisas e Agricultura Familiar. Entrevista com o Ministro Reinhold Stephanes, 2008. <<http://www.biodieselrevista.com/001/entrevista-com-reinhold2.htm>> - Acesso em Março de 2011.

**RODRIGUES, R.** Apresentação. *Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF, 2005.

**SANTOS, J. S.; GIRARDI, A. G.** Utilização de geoprocessamento para localização de áreas para aterro sanitário no município de Alegrete-RS. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, Brasil, 21-26 abr 2007, INPE, p.5491-5498.

**TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL S.** *Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*. USA: McGraw-Hill, 978 p. 1993.

**YURA, D.; TURDERA, M. V.** *Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de Dourados*. (Trabalho de pesquisa). Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, UEMS, 2006.

## ANEXOS

**Anexo A** - Perguntas realizadas durante a entrevista com o gerente do Aterro Sanitário da cidade de Manaus:

1. Há quantos anos está em funcionamento o aterro da cidade de Manaus?
2. Quantas toneladas de lixo são recolhidas em Manaus?
3. Qual a zona de Manaus que mais produz lixo?
4. Qual a produção de lixo per capita na cidade de Manaus?
5. Quantos metros cúbicos de gás metano são produzidas no aterro sanitário da cidade de Manaus?
6. Qual a destinação final do gás metano produzido pelo aterro da cidade de Manaus?
7. Quantas pessoas trabalham no aterro sanitário da cidade de Manaus?
8. Já se pensou em dar um uso a este gás metano?
9. Tem conhecimento do preço do metano no mercado?
10. Quantos metros lineares de tubulação existem no aterro sanitário da cidade de Manaus?