

# Produção de biogás em áreas de aterros sanitários: uma revisão

Gláucia Eliza Gama Vieira<sup>1</sup>  
Carlos Eduardo Abranches Campos<sup>2</sup>  
Luana Fagundes Teixeira<sup>3</sup>  
Aymara Gracielly Nogueira Colen<sup>4</sup>

## Resumo

Este artigo constituiu-se de uma revisão de literatura, a fim de estudar a disposição de resíduo sólido e produção de energia, a partir do biogás de aterro sanitário. Com base nessa revisão, foi possível elaborar considerações que fazem parte de um estudo sobre aterros sanitários e suas possíveis alternativas, bem como viabilidades para geração de energia mais limpa, resultante do processamento de biogás. A realização deste trabalho representa o reconhecimento da importância das contribuições de outros autores, por meio de levantamento bibliográfico. Assim, artigos publicados em periódicos, congressos e livros foram analisados.

**Palavras-chave:** Biogás. Aterro sanitário. Combustível alternativo.

## Abstract

*This article consists of a literature review, in order to study the disposal of solid waste and energy production from the biogas of landfill. Based on this review, it was possible to design considerations that are part of a study on landfills and their possible alternatives, as well as feasibility for cleaner power generation, resulting from the biogas processing. This work is the recognition of the importance of other authors' contributions through literature review. So, articles published in journals, conferences and books were analyzed.*

**Keywords:** Biogas. Landfill. Alternative fuel.

1 Doutora em Química pela Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, Brasil. Professora da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas, TO, Brasil. E-mail: glauciavieiraledbio@gmail.com

2 Acadêmico em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas e técnico em Saneamento Ambiental pela Escola Técnica Federal (ETF), Palmas. E-mail: carloseac19@hotmail.com

3 Mestre em Agroenergia e engenheira de alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas. E-mail: luanafagundes1@gmail.com

4 Mestre em Agroenergia e engenheira ambiental pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas. E-mail: aycolen@gmail.com

## 1 Introdução

A problemática da destinação de resíduos é constante em nossa sociedade. Diante disso, é crescente o desenvolvimento de alternativas, não apenas para os resíduos, mas para todo o sistema do qual ele participa. Agregar valor a esse sistema pode ser a solução para viabilizar o investimento e atrair o interesse da sociedade.

Desde que foi sancionada a lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), o país estabelece regras e obrigações junto à sociedade, intensificando a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Devido à obrigatoriedade da destinação em aterros, é previsto o considerável aumento do número desse tipo de empreendimento e, assim, aumento na produção de biogás.

O biogás, produzido nos aterros sanitários, é uma opção de aproveitamento, devido ao seu poder energético e à quantidade disponível. Sendo esse gerado pelo sistema de aterramento dos rejeitos, faz-se necessária a destinação correta e, portanto, um novo custo para o empreendimento. Dessa maneira, o seu aproveitamento é, cada vez mais utilizado, geralmente na geração de energia, diminuindo os custos e contribuindo com a manutenção do aterro.

O estado do Tocantins, assim como boa parte do país, ainda está em processo de regularização de seus aterros, contando com apenas duas cidades, onde os aterros são regularizados de acordo com a legislação vigente. As principais dificuldades na regularização é a falta de financiamento, já que é um empreendimento bem oneroso, e a falta de conhecimento técnico nos municípios, tornando o cumprimento da lei um desafio.

## 2 Resíduo sólido e o meio ambiente

O crescimento urbano desordenado há décadas neste país tem sido apontado como um dos grandes vilões da questão ambiental, por ter

íntima relação com a geração de diversos tipos de resíduos e dejetos correlacionados com a deterioração das condições do ambiente e da qualidade de vida.

Nas cidades brasileiras, é significativa a forma errônea utilizada para dar destino aos resíduos sólidos: depósitos quaisquer a céu aberto, sendo uma forma de disposição inadequada e desordenada, sem utilizar técnicas e ou tecnologias específicas, no que se refere à segurança e qualidade dos compartimentos ambientais, o que pode causar vários impactos socioambientais e econômicos como: poluição e, consequentemente, contaminação do solo e água, bem como a proliferação de vetores transmissíveis de doenças (MOTA, 2003).

A recentemente instituída Política Nacional de Resíduos Sólidos, criada pela Lei Federal 12.305 de 02 de Agosto de 2010, tem como principais metas a redução, reutilização e reciclagem, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada e para a eliminação dos lixões que devem ser substituídos por aterros controlados ou sanitários, bem como a recuperação das áreas contaminadas pela disposição dos resíduos nos antigos lixões (BRASIL, 2010).

A poluição é o resultado do uso dos recursos naturais para diversas atividades antrópicas, a fim de atender às demandas da sociedade contemporânea e a seus respectivos setores econômicos, ou seja, bens de consumo e serviços. Todas as ações acarretam alterações indesejáveis nas características físicas, químicas e biológicas da atmosfera, litosfera ou hidrosfera, além de outros compartimentos ambientais que cause ou possa causar danos à saúde, à sobrevivência ou à biota ou ainda deteriorar materiais (BRAGA *et al.*, 2005).

Para Silva *et al.* (2010), o risco de degradação ambiental decorre do material orgânico existente nos resíduos sólidos, que produz gases e líquidos de alto potencial poluidor depreciativo. Os resíduos sólidos contêm espécies químicas

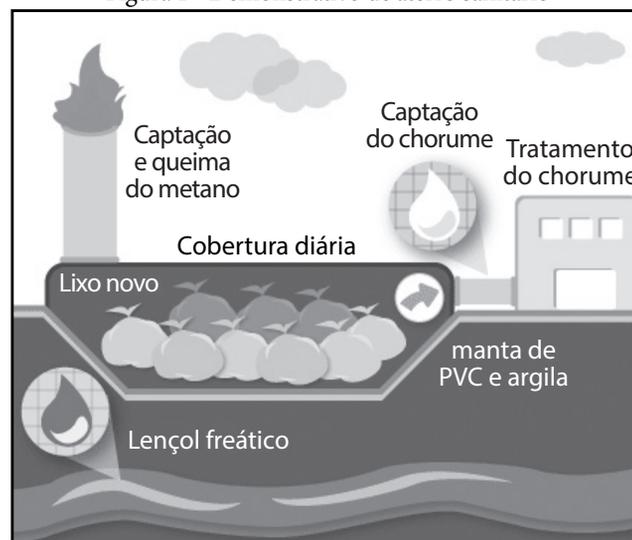
que podem ser carregadas pelas chuvas e entrar em contato com os cursos d'água. Dessa forma, poderá haver o comprometimento do uso dessas fontes e da biota aquática, com risco de ocorrer intoxicações em grande número de pessoas (SISINNO, 2002). As águas de superfície e aquíferos têm sido frequentemente contaminadas devido à má disposição de resíduos (RIVERA, 2004).

No Art. 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a respeito das diretrizes aplicáveis aos resíduos sólidos, é disposto que, na gestão e gerenciamento de resíduos

sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Para tanto, a mesma define disposição final ambientalmente adequada como distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública, à segurança e à minimização os impactos ambientais adversos.

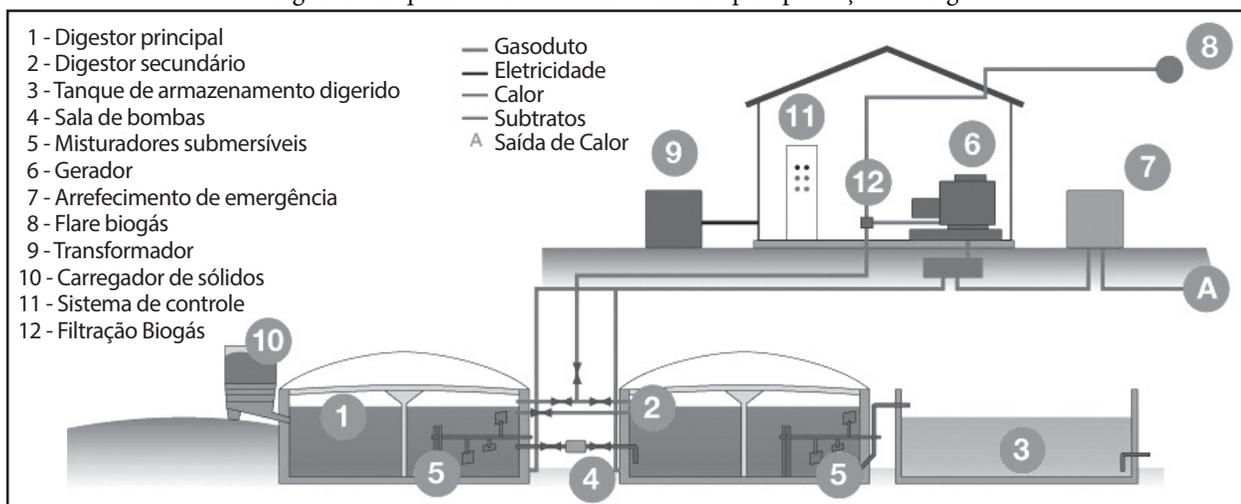
As figuras 1 e 2 mostram o funcionamento de aterros sanitários.

Figura 1 - Demonstrativo de aterro sanitário



Fonte: Rumo Sustentável (2015).

Figura 2 - Esquema básico de aterro sanitário para produção de biogás

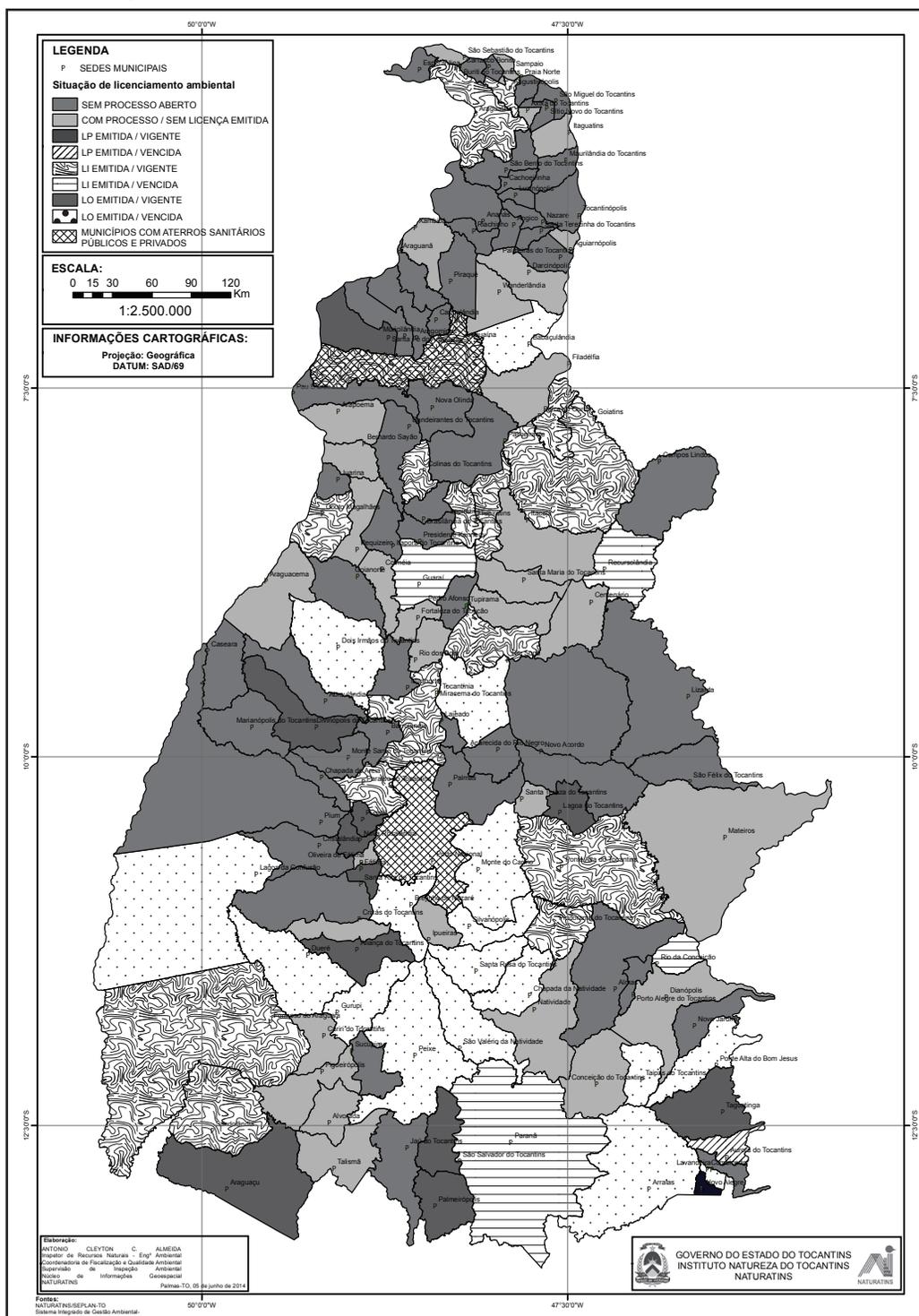


Fonte: Alves (2000).

A figura 3 mostra a situação de regularização de forma atual, em relação aos aterros sanitários por meio do mapa temático do Estado do Tocantins que possui 139 municípios. Observa-se

que apenas duas cidades possuem aterro regularizado, de acordo com a legislação ambiental pertinente, 45 estão em processo de regularização e 23 estão irregulares no ano de 2014.

Figura 3 - Levantamento de situação de aterros sanitários do Estado do Tocantins



Fonte: Instituto Natureza do Tocantins, 2014.

Os aterros sanitários produzem chorume e gases, subprodutos capazes de serem reaproveitados para diversos fins, sendo os principais constituintes dos gases o gás dióxido de carbono e o gás metano. Esse último, um combustível possível de ser coletado e utilizado para a geração de energia (ENSINAS, 2003).

A proporção de gás depende do tipo de material degradado e de outros fatores estruturais do local de tratamento, sendo o metano combustível empregado para movimentar motores e geradores de energia elétrica que, queimado por combustão completa, minimiza a poluição atmosférica e a contribuição para redução do efeito estufa (ALVES FILHO, 2004).

Mesmo sendo a forma mais adequada de disposição de resíduos, os aterros são responsáveis por parte das emissões de gás metano na atmosfera e possuem vida útil aproximadamente de 15 a 20 anos. O gás de aterro sanitário é produzido durante a decomposição de substâncias orgânicas provenientes do lixo.

A geração de gás e chorume é consequência inevitável da prática de disposição de resíduos em aterros e, de forma descontrolada, apresenta sérios problemas ambientais.

O conhecimento da área destinada ao aterro, capacidade de suporte tecnológico locacional, bem como o monitoramento dos resíduos em suas etapas, dos líquidos e gases gerados torna-se necessário, para que sejam adotadas soluções viáveis e sustentáveis, tanto do ponto de vista ambiental e sanitário, como socioeconômicos, para evitar os possíveis impactos ambientais provocados pela disposição dos resíduos (MELO; JUCÁ, 2001), além do efeito estufa, danos à vegetação, gera odores desagradáveis e oferece riscos de explosão.

A produção de biogás em áreas de aterros sanitários é de grande importância social e econômica nos dias atuais, pois há disponibilidade de biomassa e falta de gás natural ou diesel favorecem o aparecimento de alternativas tecnológicas sustentáveis para geração de energia elétrica.

### 3 Rota tecnológica do biogás: energia mais limpa

A matriz energética brasileira já possui forte participação das fontes renováveis de energia e contará com uma predominância ainda maior dessas fontes dentro de um prazo de dez anos (TOLMASQUIM, 2012).

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 (BRASIL, 2011), aponta para uma participação das fontes renováveis de 46,3% em 2020, ante os 44,8% apresentados em 2010.

Desde agosto de 2012, a Lei Federal 12.305/2010 obriga elaboração dos planos estaduais e municipais de resíduos sólidos, visando organizar a gestão integrada de resíduos sólidos no Brasil. Tais planos favorecem a implantação de tecnologias que utilizem os produtos inseridos na cadeia de destinação dos rejeitos.

O Brasil é um dos líderes em produção de energias, a partir de biomassa, como a produção do biogás. O investimento das políticas públicas seria um passo importante para garantir a manutenção dos sistemas de fabricação do biogás, além de manter a liderança do país no cenário internacional (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008). O Brasil é um dos líderes em produção de energias a partir de biomassa, como a produção do biogás. O investimento das políticas públicas seria um passo importante para garantir a manutenção dos sistemas de fabricação do biogás, além de manter a liderança do país no cenário internacional, como a criação do Proálcool nos anos 1980, e outros programas de incentivo ao uso de combustíveis alternativos, como óleo vegetal, gasogênio, gás natural, biogás, entre outros (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008; SOUZA; SILVA; BASTOS, 2010).

Dentre os processos mais limpos, o tratamento de dejetos orgânicos e a digestão anaeróbia, que consiste na decomposição do material pela ação de bactérias na ausência de oxigênio, geram o produto final, o biogás, composto basicamente por metano ( $\text{CH}_4$ ) - um combustível

possível de ser coletado e utilizado como fonte de energia - e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

O biogás é um tipo de biomassa. A composição físico-química e química do biogás depende do tipo de resíduo, teor de umidade, nutrientes, tipos de bactérias e nível de pH (MENDES; MAGALHÃES SOBRINHO, 2005), dentre outros.

A liberação de gases que causam o efeito estufa aumenta a cada ano, uma vez que é produzida pela queima de combustíveis fósseis e outras atividades antrópicas como: queimadas, atividades industriais, dentre outros. Os gases que mais contribuem para os gases de efeito estufa (GEE) são os dióxidos de carbono, os clorofluorcarbonetos (CFC), o metano, o vapor de água, o ozônio e o óxido nitroso. No mundo inteiro, aumentou a busca por energias que liberem menos gases nocivos à atmosfera (SILVA; CAMPOS, 2008).

O desenvolvimento de uma nação está diretamente relacionado à sua capacidade de prover logística e energia, com segurança e em condições competitivas e ambientalmente sustentáveis.

Segundo Paris (2007), a formação do gás de aterro sanitário ocorre devido ao processo anaeróbico dos componentes orgânicos depositados no local. A esse gás, pode-se dar a denominação de biogás ou gás de lixo. O biogás é uma fonte renovável de energia, formada por uma mistura de metano ( $\text{CH}_4$ ) e de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), com concentrações de 65% e 35%, respectivamente (GUSMÃO, 2008; OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006;).

A utilização do biogás como combustível para o acionamento de equipamentos estacionários é uma forma prática, simples, econômica de se aproveitar a energia alternativa (SOUZA; SILVA; BASTOS, 2010), proveniente de biomassa residual.

O meio rural destaca-se pela possibilidade de aproveitamento energético dos resíduos agropecuários, produzindo biogás, biofertilizante e reduzindo a matéria orgânica poluente (SILVA et al., 2005).

Uma das maiores fontes de emissões de

metano são os aterros usados para a disposição de resíduos sólidos urbanos (R.S.U.). O gás de aterro é produzido pela decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos (SILVA; CAMPOS, 2008).

As estimativas das emissões globais de metano mostram que, de 1750 até a década de 1990, a concentração de metano aumentou 151% do total de emissões no mundo. Os aterros podem produzir de 6 a 20% desse total de metano, o equivalente a valores de 20 a 70 Tg/ano, segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (1996).

Um aterro de resíduos sólidos pode ser considerado como um reator biológico, onde as principais entradas são os resíduos e a água, e as principais saídas são os gases e o chorume (BRASIL, 2012).

Os aterros sanitários são considerados atualmente uma das alternativas mais interessantes para geração do biogás, visto que podem dispor de técnicas de captação dos gases liberados, através de dutos de captação e queima posterior em *flares*, onde o metano será transformado em gás carbônico (FIGUEIREDO, 2007).

Projetos de aproveitamento desse recurso são passíveis de comercialização de créditos no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), previsto no Protocolo de Quioto (VANZIN et al., 2006). A simples queima do gás metano, mesmo produzindo dióxido de carbono, é válida, pois o metano possui um impacto de efeito estufa cerca de 21 vezes maior do que o dióxido de carbono (RANZI; ANDRADE, 2004).

O gás metano é incolor, altamente combustível e não produz fuligem. Vem a ser combustível e explosivo em concentrações entre 5% a 15% no ar. O biogás pode migrar abaixo da superfície nas zonas não saturadas, especialmente, durante os meses de inverno, quando o solo está saturado com a umidade da superfície, podendo se acumular em estruturas fechadas, causando um perigo potencial (VANZIN et al., 2006).

A captação e utilização do gás produzido em aterros é uma opção atrativa para a redução de

gases do efeito estufa. Pois, o metano possui uma grande energia, contida nos seus átomos, que faz com que o gás possa ser usado, por exemplo, para a produção de energia elétrica, através de sua combustão dentro de motores geradores que movem turbinas (SILVA; CAMPOS, 2008).

#### 4 Produção de biogás em aterro sanitário

A biomassa é, portanto, toda matéria viva presente em um lugar, um combustível fóssil de origem biológica (madeira, resíduos vegetais, de origem animal, industriais e urbanos), em que é possível produzir a chamada energia renovável, é um tipo de energia endógena.

O biogás é produzido, através da degradação da matéria orgânica por bactérias. A digestão anaeróbia é um processo, segundo o qual algumas espécies de bactérias, que atuam na ausência de oxigênio, atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, para produzir compostos simples: metano, dióxido de carbono, água dentre outros, extraindo simultaneamente a energia e os compostos necessários para o seu próprio crescimento. A transformação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, no decorrer da fermentação anaeróbia, processa-se através de uma cadeia de degradações sucessivas, devido a diferentes tipos de bactérias.

O biogás pode ser utilizado no funcionamento de motores, geradores, moto picadeiras, resfriadores de leite, aquecedor de água, geladeira, fogão, lampião, lança-chamas. Pode ainda, substituir o gás liquefeito de petróleo na cozinha, porém o biogás não compete com a produção de alimentos.

Em propriedades agrícolas, o biogás pode ser produzido em aparelhos simples chamados biodigestores. Os resíduos que sobram, uma substância com aspecto de lodo, quando diluída em água, podem ser utilizados como fertilizantes.

O biogás é obtido, a partir da digestão anaeróbia de matéria orgânica, como esterco de animais, lodo de esgoto, lixo doméstico, resíduos agrícolas, efluentes industriais e plantas

aquáticas. É uma mistura composta principalmente de gás carbônico (30%) e metano (65%).

Segundo São Paulo (2003), existem diferentes métodos para calcular a quantidade de metano gerado, desde métodos que apresentam uma aproximação grosseira, considerando somente a quantidade de resíduo sólido doméstico disposta no aterro, até métodos que considerem uma cinética de geração de biogás em função de três tipos importantes de parâmetros (condições climáticas locais, concentração de nutrientes no solo e composição do resíduo).

O potencial de geração de metano ( $L_0$ ) representa a produção total de metano ( $m^3$  de metano por tonelada de lixo). Em Intergovernmental Panel on Climate Change (1996), é apresentada uma metodologia de fácil aplicação para cálculo de emissão de metano. Esse método, que segue a equação (equação de inventário do Intergovernmental Panel on Climate Change), envolve a estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável presente no lixo, calculando assim, a quantidade, a partir de resíduos sólidos, para países ou regiões específicas, necessários dados estatísticos sobre a população e sobre os resíduos sólidos urbanos. Sendo:

$$Q_{CH_4} = \frac{Pop_{urb} \cdot Taxa_{RSD} \cdot RSDf \cdot L_0}{pCH_4}$$

em que,  $Q_{CH_4}$ : metano gerado [ $m^3CH_4$ /ano];  $Pop_{urb}$ : população urbana [habitantes];  $Taxa_{RSD}$ : taxa de geração de resíduos sólidos domiciliares por habitante por ano [kg de RSD/habitante.ano];  $RSDf$ : fração de resíduos sólidos domésticos que é depositada em locais de disposição de resíduos sólidos [%];  $L_0$ : potencial de geração de metano do lixo [kg de  $CH_4$ /kg de RSD]  $pCH_4$ : massa específica do metano [ $kg/m^3$ ]. E ainda, o valor da massa específica do metano é  $0,740 kg/m^3$  (COMPANHIA DE GÁS DO CEARÁ, 2005).

Com  $1m^3$  de biogás, pode-se produzir 5500 kcal e é equivalente a:

- 1,7  $m^3$  de metano;
- 1,5  $m^3$  de gás de cidade;
- 0,8 L de gasolina;

- 1,3 L de álcool;
- 2 kg de carbonato de cálcio;
- 0,7 L de gasóleo;
- 7 kw/h de eletricidade;
- 2,7 kg de madeira;
- 1,4 kg de carvão de madeira;
- 0,2 m<sup>3</sup> de butano;
- 0,25 m<sup>3</sup> de propano.

Em síntese, são grandes os benefícios atribuídos ao uso do biogás, tanto pela preservação dos recursos locais, como a retirada de lenha, próxima à residência rural, evitando problemas como erosão do solo. Por ser um gás higiênico, produz menos fumaça, quando comparado ao gás de bujão, evitando assim resíduos de fuligem nas panelas e demais utensílios de cozinha, podendo também agregar valores econômicos a propriedades suinocultoras, na área rural.

O biogás é o produto da decomposição por microrganismos em condições anaeróbias de matéria orgânica, proveniente de diferentes fontes, como aterros sanitários, biodigestores e resíduos animais, podendo ser usado como combustível, devido à alta porcentagem de metano em sua composição (KHALAF *et al.*, 2011).

Geralmente, a geração de biogás inicia-se, após a disposição dos resíduos sólidos, encontrando-se registros de metano, ainda nos primeiros três meses, após a disposição, podendo continuar por um período de 20, 30 ou até mais anos, depois do encerramento do aterro (BRASIL, 2012).

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

Os fatores que podem influenciar na produção de biogás são: composição dos resíduos dispostos, umidade, tamanho das partículas, temperatura, pH, idade dos resíduos, projeto do aterro e sua operação (BRASIL, 2012).

A decomposição da matéria orgânica ocorre por dois processos, o primeiro processo é de decomposição aeróbia e ocorre, normalmente, no período de deposição do resíduo. Após esse período, a redução do O<sub>2</sub>, presente nos resíduos, dá origem ao processo de decomposição anaeróbia (BRASIL, 2012).

A biodigestão anaeróbia consiste na fermentação com ausência de oxigênio de dejetos animais, plantas e lixo (doméstico e urbano), através de bactérias anaeróbias que sintetizam a matéria orgânica, transformando-a em metano e dióxido de carbono (CASTRO; CORTEZ, 1998).

A presença de substâncias não combustíveis no biogás, como água e dióxido de carbono, prejudica o processo de queima, tornando-o menos eficiente. Essas substâncias entram com o combustível no processo de combustão e absorvem parte da energia gerada. Dessa forma, o poder calorífico do biogás se torna menor, à medida que se eleva a concentração das impurezas (ALVES, 2000).

Em função da participação percentual do metano na composição do biogás, o poder calorífico desse pode variar de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico. Esse poder calorífico pode chegar a 12.000 kcal/m<sup>3</sup>, se eliminado todo o gás carbônico da mistura (DEGANUTTI; PALHACI, ROSSI, 2002).

O objetivo do aproveitamento energético do biogás, produzido pela degradação dos resíduos, é convertê-lo em uma forma de energia útil (BRASIL, 2012). O biogás tem sido utilizado por meio da combustão em fogões, aquecedores, incubadora e pequenos motores, etc., normalmente, equipamentos de uso estacionário. Em motores estacionários, pode-se utilizar o biogás diretamente produzido nos biodigestores, sem purificação, para o acionamento de bombas hidráulicas e geradores de energia, sendo assim, uma grande vantagem ao seu uso no meio rural (SOUZA; SILVA; BASTOS, 2010).

Para produção de biogás em aterro, deve-se projetar um sistema padrão de coleta tratamento

e queima do biogás: poços de coleta, sistema de condução, tratamento (para desumidificar o gás), compressor e *flares* com queima controlada para a garantia de maior eficiência de queima do metano (BRASIL, 2012).

Os gases do aterro são captados e conduzidos por drenagem de líquidos até atingirem os drenos verticais, que servem de exaustores para esses gases, conduzindo-os até o topo do aterro, onde são queimados com o uso de *flares* (THOME; RODRIGUES, 2010).

A conversão energética do biogás é o processo de transformação da energia química das moléculas do biogás, por meio de uma combustão controlada, em energia mecânica que, por sua vez, será convertida em energia elétrica. As tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás são as turbinas a gás e os motores de combustão interna (PECORA, 2006).

Com um poder calorífico de aproximadamente 5 kWh/Nm<sup>3</sup>, o gás de aterro é um combustível de alto valor para motores a gás, podendo ser usado efetivamente para geração de energia. Se o gás for coletado constantemente e de forma controlada, os valores médios da sua composição química se darão da seguinte forma: metano (CH<sub>4</sub>): 40 – 50%; dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): 35 – 45%; nitrogênio do ar (N<sub>2</sub>): 05 – 15%; oxigênio do ar (O<sub>2</sub>): 01 – 03%; vapor de água (H<sub>2</sub>O): saturado.

O poder calorífico do biogás depende diretamente do seu teor de metano. Lucas Júnior (1987), analisando o biogás produzido em biodigestores modelos indiano e chinês, pelo período de um ano, encontrou, em média, 57,7% de CH<sub>4</sub> e 34,2% de CO<sub>2</sub>.

A queima *in natura* do biogás, em razão da presença do CO<sub>2</sub>, é mais lenta e, energeticamente, libera menos calor por unidade de massa ou volume que os gases combustíveis convencionais, como o gás liquefeito de petróleo (GLP) e o gás natural, o que deve ser considerado no dimensionamento dos equipamentos ou redimensionamento dos já existentes. O

poder calorífico do GLP, em média, é da ordem de 46.000 kJ/kg e o do gás natural de 43.500 kJ/kg, contra 19.500 kJ/kg do biogás (SOUZA; SILVA; BASTOS, 2010).

Os resultados obtidos na aplicação do procedimento para a análise da viabilidade econômica do empreendimento, na usina de geração de energia elétrica, utilizando o biogás do Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla, no município de Gravataí - RS, para uma situação conservadora de venda de energia elétrica e venda dos créditos de carbono, demonstrou-se viável economicamente (VANZIN *et al.*, 2006).

Em estudo no aterro municipal de Cascavel-PR, verificou-se a utilização do biogás para acionamento de moto gerador elétrico e para acionamento mecânico de uma bomba para recirculação de percolado do aterro. O projeto demonstrou viabilidade desde sua implantação, onde a energia gerada permitiu a autonomia do próprio aterro (THOME; RODRIGUES, 2010).

Para determinar a curva de geração de biogás no decorrer da vida útil de um aterro, é importante levantar dados a respeito da biodegradabilidade e composição química dos resíduos sólidos urbanos (R.S.U.) do aterro. Com a formulação química, torna-se possível descrever as reações que ocorrem no processo e determinar o volume teórico de biogás produzido, conforme Braz e Silva (2001), em estudo realizado no Aterro Sanitário de Rio Claro-SP.

Segundo Figueiredo (2007), a implantação de um sistema de geração de energia em um aterro tem alto custo. Contudo, a energia gerada, por exemplo, poderá ser consumida pelo próprio aterro, e a excedente, vendida para empresas privadas. Visto que ajudaria a diminuir a sobrecarga das concessionárias e também a emissão de GEE, assim a proposta estudada pode ser considerada viável.

## 5 Considerações finais

Os problemas causados pela geração, acúmulo e destinação inadequada de resíduos em

nossa sociedade são mais evidentes e urgentes, à medida que a quantidade e variedade dos resíduos aumentam. Os aterros sanitários, por mais bem projetados e operados, conferem riscos ao meio ambiente. Tais empreendimentos não podem ser vistos como o ponto final para muitas das substâncias existentes e que se formam nas reações químicas e biológicas, visto que existem tecnologias eficientes para tratamento e aproveitamento dessas substâncias geradas.

O estudo dos resíduos sólidos e sua destinação final estão em crescente foco por parte da sociedade, pois explora questões de grande importância para o meio ambiente e saúde pública.

Medidas alternativas para geração de energia, cada vez mais limpas e viáveis, estão sendo mais exploradas, devido à necessidade de assegurar a matriz energética de forma sustentável. A produção de biogás, a partir de aterros sanitários, vem a calhar, contribuindo para melhoria de dois sistemas, o da disposição de resíduos e também podendo ser utilizado como fonte renovável de energia.

Estudos sobre o uso de biogás de aterros sanitários, para geração de energia, demonstram que o processo pode ser viável, mesmo com altos custos. Pois, considera-se que pode ser agregado ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), tornar autossustentável o sistema energético do próprio aterro, ser comercializado para empresas privadas e contribuir para diminuição de emissão de gases do efeito estufa.

Entretanto, esses resultados apenas pressupõem uma situação que poderá ser melhor avaliada com base em frequentes estudos, para aprimorar os processos, uma vez que cada situação em particular, é influenciada por características locais próprias.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Biomassa. In: **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília, 2008. cap. 4, p. 63-74.

ALVES FILHO, M. **Tese mostra potencial energético do biogás**. 2004. Disponível em:

<[http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp\\_hoje/jornalPDF/ju242pag09.pdf](http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/jornalPDF/ju242pag09.pdf)>. Acesso em: 16 nov. 2012.

ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**. 2000. 152 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

BRAGA, B. et al. **Introdução a engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Aproveitamento energético do biogás de aterro sanitário**. 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020**. 2011. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/PDEE/20120302\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/PDEE/20120302_1.pdf)>. Acesso em: 16 nov. 2012.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 3 ago. 2010.

BRAZ, J. A.; SILVA, C. L.; Avaliação do potencial energético do biogás de aterro sanitário gerado pelos resíduos sólidos domésticos do município de Rio Claro. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2001, p. 1-11.

CASTRO, L. R.; CORTEZ, L. A. B. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 97-102, 1998.

COMPANHIA DE GÁS DO CEARÁ. **Composição de gás natural**. 2005. Disponível em: <[http://www.cegas.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=70&Itemid=158](http://www.cegas.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=158)>. Acesso em: 05 jul. 2009.

- DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 4., 2002, Campinas. **Anais eletrônicos...** Campinas, 2002. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MS-C000000022002000100031&lng=pt&nr-m=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MS-C000000022002000100031&lng=pt&nr-m=abn)>. Acesso em: 18 nov. 2012.
- ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP.** 2003. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- FIGUEIREDO, V. J. N. **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás: estudo de caso.** 2007. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007.
- GUSMÃO, M. M. F. C. C. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina.** 2008. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- INSTITUTO NATUREZA DO TOCANTINS. **Mapa situacional de aterros sanitários do estado do Tocantins.** 2014. Disponível em: <<http://naturatins.to.gov.br/mapa-situacional-do-aterros-sanit-rios-do-estado-do-tocantins/>>. Acesso em: 24 set. 2014.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for national greenhouse inventories: reference manual.** 1996. v. 3 Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6>>. Acesso em: 18 nov. 2012.
- KHALAF, P. I. *et al.* Produção de gás de síntese por plasma térmico via pirólise de metano e dióxido de carbono. **Revista Química Nova**, v. 34, n. 9, p. 1491-1495, 2011.
- LIMA, L. M. Q. **Lixo: tratamento e biorremediação.** 3. ed. São Paulo: Hemus, 1995.
- LUCAS JÚNIOR, J. **Estudo comparativo de biodigestores modelos indiano e chinês.** 1987. 114 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1987.
- MELO, V. L. A.; JUCÁ, J. F. T. Diagnóstico Ambiental em Aterros de Resíduos Sólidos a partir de Estudos de Referência. . In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2001.
- MENDES, L. G. G.; MAGALHÃES SOBRINHO, P. Estimate methods of biogas generation in sanitary landfill. **Revista Ciências Exatas**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 71-76, 2005.
- MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental.** Rio de Janeiro: ABES, 2003.
- OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. (Documentos, 115).
- PARIS, A. G. **Redução das emissões de gases de efeito estufa listados no protocolo de Quioto pelo aproveitamento do gás gerado em aterros sanitários utilizando células a combustível de óxido de sódio.** 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisa Energéticas Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- 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.** 2006. 152 f. Dissertação (Pós-Graduação em Energia) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- RANZI, T. J. D.; ANDRADE, M. A. N. Estudo de viabilidade de transformação de esterqueiras e bioesterqueiras para dejetos de suínos em biodigestores rurais visando o aproveitamento do biofertilizante e do biogás. In: Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, 5., 2004, Campinas. **Anais...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004. 1 CD-ROM.
- RIVERA, R. N. C. **Modelagem da dinâmica da água e do potássio na irrigação por gotejamento superficial.** 2004. 89 f. Tese

(Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

RUMO SUSTENTÁVEL. **Aterros sanitários**. 2015. Disponível em: < <http://www.rumosustentavel.com.br/ecod-basico-lixao-aterro-controlado-e-aterro-sanitario/>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

SÃO PAULO. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório técnico n.º 2 do convênio SMA/MCT n.º 01.0052.00/2001: aterros**. São Paulo, 2003. 349 p.

SILVA, S. L. *et al.* Influências de um aterro sanitário, em termos de descarga poluidora, nas águas subterrâneas. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 10., 2010, Fortaleza. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2010.

SILVA, T. N.; CAMPOS, L. M. S. Avaliação da produção e qualidade do gás de aterro para energia no aterro sanitário dos Bandeirantes - SP. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 88-96, jan./mar. 2008.

SILVA, F. M. *et al.* Desempenho de um aquecedor de água a biogás. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 608-614, set./dez. 2005.

SISINNO, C. L. S.; **Destino dos resíduos sólidos urbanos e industriais no estado do Rio de**

**Janeiro: avaliação da toxicidade dos resíduos e suas implicações para o ambiente e para a saúde humana**. 2002. 102 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2002.

SOUZA, R. G.; SILVA, F. M.; BASTOS, A. C. Desempenho de um conjunto motogerador adaptado a biogás. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 190-195, jan./fev. 2010.

THOME, D.; RODRIGUES, E. E. G. Análise do aproveitamento energético do biogás do aterro sanitário do Município de Cascavel/PR. In: Bienal Del Coloquio De Transformaciones Territoriales, 8., 2010, Buenos Aires. **Anais eletrônicos...** Buenos Aires: Asociación de Universidades Grupo Montevideo, 2010. Disponível em: < [http://www.catedras.fsoc.uba.ar/panaia/augm/rm7\\_rm20i.html](http://www.catedras.fsoc.uba.ar/panaia/augm/rm7_rm20i.html)>. Acesso em: 18 nov. 2012.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Revista Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 249-260, 2012.

VANZIN, E. *et al.* Análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no aterro metropolitano Santa Tecla. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 26., Fortaleza, 2006. **Anais...** Rio de Janeiro: ABREPO, 2006.