



PROPOSTA DE APROVEITAMENTO DO BIOGÁS GERADO NO ATERRO SANITÁRIO DE FOZ DO IGUAÇU - PR

J. F. R. LUCAS¹, M. A. MARAN² e L. M. FRARE³

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
e-mail: juliana_fenner@hotmail.com

²Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas
e-mail: mayconmaran@hotmail.com

³Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Medianeira
e-mail: laercio@utfpr.edu.br

RESUMO – A decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários produz o biogás, uma mistura de gases composta majoritariamente por metano e dióxido de carbono. Atualmente, há um crescente interesse na recuperação energética do biogás, já que o metano é um gás combustível. Assim, com o objetivo de verificar a possibilidade de aproveitamento do biogás produzido no aterro sanitário de Foz do Iguaçu - PR, estimou-se a geração de metano produzido, com base na metodologia sugerida pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change*, e investigou-se as possíveis alternativas para sua utilização. Como estimativa, referente aos resíduos depositados no ano de 2008, obteve-se 2.736.400 m³ de metano aproveitável, cujo potencial energético calculado foi de 0,86 MW. Constatou-se ser interessante a conversão do biogás em energia elétrica, o que possibilitaria uma economia no consumo de eletricidade no aterro e geração de divisas mediante a comercialização da energia excedente e de créditos de carbono.

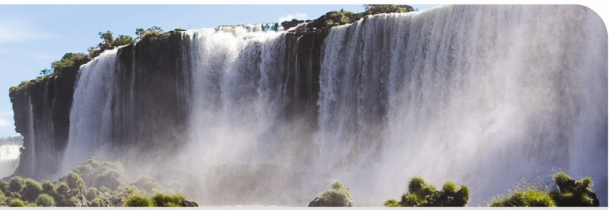
PALAVRAS-CHAVE: aterro sanitário; biogás; energia.

1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas ocasionados pelo crescimento dos centros urbanos está relacionado aos resíduos gerados por sua população, uma vez que a disposição final desse material demanda tratamento apropriado a fim de evitar a contaminação do solo, da água e do ar. Por definição, resíduos sólidos urbanos (RSU) são resíduos nos estados sólido e semi-sólido que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição gerados num aglomerado urbano, excetuados os resíduos industriais perigosos,

hospitalares sépticos e de aeroportos e portos (ABNT, 2004).

Dentre os diversos métodos de gerenciamento de resíduos, o aterro sanitário configura-se como uma das formas mais econômicas, seguras e ambientalmente adequadas de tratamento de RSU (Pecora *et al.*, 2008). O aterro sanitário consiste na disposição de RSU no solo aplicando-se princípios de engenharia para confinar os resíduos e reduzi-los ao menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho (ABNT, 1992). Para tanto, utiliza-se de técnicas sanitárias como impermeabilização



do solo, compactação, coleta e tratamento do biogás e do chorume, entre outros procedimentos operacionais responsáveis por minimizar os impactos ambientais causados pelo acúmulo de resíduos (Brasil; Santos, 2007).

Os RSU acumulados em aterros sanitários sofrem a ação de diferentes bactérias, *archeas* metanogênicas, fungos e protozoários que oxidam a matéria orgânica para suas necessidades energéticas. Neste processo, verifica-se o consumo de substratos e a obtenção de produtos que se tornam matéria prima para outras populações, gerando novos produtos. Deste encadeamento de reações bioquímicas resulta a degradação dos resíduos. A estabilização biológica da matéria orgânica, na ausência de oxigênio molecular, ocorre mediante processo anaeróbico que, simplificada, dá-se pelas etapas de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese e tem como um de seus produtos o biogás (Castilhos Junior *et al.*, 2003).

O biogás consiste em uma mistura de gases composta, principalmente, por metano e dióxido de carbono em composições variáveis (ABNT, 1992). Outros componentes, como monóxido de carbono, hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico e amônia, estão presentes em pequenas quantidades, mas juntos, correspondem a, aproximadamente, 1% do total do biogás de aterros (van Elk, 2007) enquanto que o metano corresponde, em média, a 50% (Coelho, 2001).

Atualmente, identifica-se um crescente interesse na recuperação energética do biogás de aterros. O biogás, mais especificamente o metano nele presente, é um gás combustível, cuja energia pode ser aproveitada, por exemplo, para a geração de energia térmica e elétrica e para a iluminação a gás (Abreu *et al.*, 2009). Além disso, como o metano tem

um elevado potencial de geração de efeito estufa, caso o biogás consiga ser drenado e encaminhado à queima em *flares* ou em motores à combustão, haverá uma diminuição na emissão de metano e aquilo que deixar de ser lançado na atmosfera pode ser negociado como créditos de carbono mediante o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), previsto pelo Protocolo de Quioto (Felipetto, 2007).

Como marco desta prática no país, tem-se que “em setembro de 2007, ocorreu, em São Paulo, o primeiro leilão de créditos de carbono em bolsa de valores [...] o leilão rendeu à prefeitura da cidade 13,096 milhões de euros, aproximadamente R\$ 34 milhões, provenientes da venda de um lote de pouco mais de 800 mil Reduções Certificadas de Emissão (RCEs). [...] Os créditos eram provenientes do projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Aterro Sanitário Bandeirantes, na Zona Norte da capital paulista, que capta os gases produzidos pela decomposição do lixo para a geração de energia elétrica. Um ano depois, a prefeitura paulistana voltou a leiloar créditos de carbono, desta vez um lote de 713 mil RCEs. [...] e obteve 13,689 milhões de euros, cerca de R\$ 37 milhões.” (BOM..., 2008, p. 40).

Foz do Iguaçu, cidade localizada no extremo-oeste no Estado do Paraná, apresenta uma população estimada de 325.137 habitantes (IBGE, 2009). Devido a essa população, o município possui um aterro sanitário para destinação de RSU, em operação desde 2001 e com uma vida útil prevista até 2017, que recebe mais de 5.500 toneladas de resíduos por mês (PMFI, 2008). Para uma cidade com o porte populacional de Foz do Iguaçu, com suas características em termos de geração de RSU e um aterro sanitário já instalado, torna-se interessante avaliar se é possível aproveitar o biogás produzido no aterro, que hoje, é coletado e



queimado em *flares*, sendo desprezado seu potencial energético.

Desse modo, neste trabalho, propõe-se verificar a possibilidade de aproveitamento energético do biogás produzido no aterro sanitário de Foz do Iguaçu - PR, mediante estimativa da quantidade de metano aproveitável gerado, e identificar as possíveis alternativas para sua utilização.

Há diversos modelos para estimar a geração de biogás em aterros sanitários. Um dos mais conhecidos e empregados, o modelo do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) apresenta uma metodologia de fácil aplicação para cálculo de emissão de metano a partir de resíduos sólidos. Esse método calcula a quantidade de carbono degradável presente nos RSU, considerando diferentes categorias de resíduos domésticos, estimando a montante de metano que pode ser gerado por determinada quantidade de resíduo depositado (Ensinas, 2003).

2. METODOLOGIA

2.1 Objeto de estudo

O trabalho proposto tem como objeto de estudo o aterro sanitário do município de Foz do Iguaçu - Paraná. O referido aterro está localizado na região norte da cidade, no bairro Jardim Califórnia, distando aproximadamente 14 km do centro da cidade. A utilização do local para dispor os RSU iniciou-se em 1996, sendo o lixo depositado de maneira inadequada. Em 2001, o aterro foi readequado e passou a ser operado como aterro sanitário (PMFI, 2009).

As três células principais do aterro, destinadas à disposição de resíduos domiciliares, integram uma área total de 184.751,79 m². Apresentam drenos de biogás, formados por uma coluna de tubos de

concreto armado perfurados envoltos por uma camada de pedras fixada à coluna por meio de uma tela metálica, que estão interligados à rede de drenos de chorume. O sistema de coleta de biogás é constituído por drenos passivos, sendo a pressão gerada no interior da massa de resíduos a promotora da exaustão do biogás através dos drenos (PMFI, 2009).

2.2 Procedimentos de pesquisa

As informações necessárias para a estimativa de geração de metano foram obtidas junto à equipe técnica do Departamento de Serviços Urbanos (DSU) da Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu e da concessionária que opera o aterro mediante entrevistas não estruturadas e consulta à documentação técnica disponibilizada pelos mesmos.

Os dados obtidos foram submetidos à metodologia de estimativa de emissão de metano procedente de depósitos de resíduos sólidos sugerida pelo IPCC (1996), calculando-se assim o potencial de geração de metano no biogás do aterro de resíduos domiciliares. O modelo da referida metodologia é expresso pelas Equações 1 e 2:

$$Q_{CH_4} = (R_{SUD} \cdot L_0) \cdot (1 - OX) \quad (1)$$

$$L_0 = FCM \cdot COD \cdot COD_R \cdot FEM \cdot 16/12 - MR \quad (2)$$

Para a estimativa de geração de metano, procedeu-se, primeiramente, o cálculo da fração de carbono orgânico degradável dos RSU depositados no aterro, segundo a Equação 3:

$$COD = 0,4a + 0,17b + 0,15c + 0,3d \quad (3)$$

A composição gravimétrica dos RSU de Foz do Iguaçu é apresentada na Tabela 1.



Tabela 1 – Composição gravimétrica dos RSU do aterro sanitário de Foz do Iguaçu.

Categoria do RSU	Quantidade de resíduo (%)
Matéria orgânica	57,35
Plásticos	9,52
Papéis/papelão	5,26
Vidros	3,72
Metais	1,92
Outros	22,23

Fonte: PMFI (2008).

Uma vez que a composição gravimétrica dos RSU não apresentava as categorias de resíduos indicadas na Equação 3, adaptou-se esta para a Equação 4 e utilizou-se a composição apresentada por Valle e Milani (2009) para estimar o valor da variável d. Desta forma:

$$\text{COD} = 0,4a + 0,16(b + c) + 0,3d \quad (4)$$

onde: $a = 5,26\%$, $(b + c) = 57,35\%$ e $d = 0,89\%$. Como resultado, obteve-se $\text{COD} = 11,55\%$ ou $0,115$, que coincide com o valor $0,12$ indicado como padrão para os RSU do Brasil, segundo o IPCC (1996).

Na Tabela 2, são apresentados os montantes anuais de RSU depositados no aterro de resíduos domiciliares.

Tabela 2 – Depósitos anuais de RSU no aterro sanitário de Foz do Iguaçu

Ano	Quantidade de RSU depositada no aterro (Gg)
2001	59,55440
2002	58,76104
2003	56,84199
2004	58,97017
2005	62,01408
2006	66,50965
2007	64,68457
2008	66,45255

Fonte: PMFI (2008).

Para o cálculo da quantidade de metano aproveitável ($Q_{\text{CH}_4\text{A}}$), ou seja, aquele que está presente no biogás gerado que é atualmente recuperado (captado e queimado), utilizou-se a Equação 5, que corresponde à Equação 1, substituindo L_0 pela Equação 2, efetuando uma alteração referente ao termo MR (porcentagem de metano recuperado), uma vez que é esta a parcela de interesse para aproveitamento.

$$Q_{\text{CH}_4\text{A}} = (\text{RSU}_D \cdot \text{FCM} \cdot \text{COD} \cdot \text{COD}_R \cdot \text{FEM} \cdot 16/12 \cdot \text{MR}) \quad (5)$$

O aterro sanitário de Foz do Iguaçu, segundo o modelo, pode ser classificado como controlado, ou seja, bem gerenciado, sendo o fator de correção de metano (FCM) correspondente igual a 1. Para o valor de COD_R , fração de carbono orgânico que realmente se degrada, utilizou-se o valor padrão $0,77$, por recomendação do método. Por ausência de dados locais, utilizou-se o valor padrão $0,5$ para a fração de metano no biogás de aterro (FEM). Estimou-se que a quantidade de metano recuperado (MR) é da ordem de 50% do gás que é gerado no aterro, valor este bastante severo. O valor de OX padrão é igual a 0 , por recomendação do método.

2.3 Delimitação da pesquisa

O trabalho desenvolvido limita-se à estimativa de geração do metano aproveitável no aterro de resíduos domiciliares (três células principais), com base nos depósitos realizados até o ano de 2008.

Devido à simplicidade do modelo empregado, os resultados obtidos neste trabalho constituem uma estimativa preliminar, o que permite delinear as potencialidades de aproveitamento do biogás gerado no aterro em termos de produção de gás metano, geração de energia elétrica e



divisas com a possível venda de créditos de carbono.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estimativa da geração de metano

Considerando-se o ano de 2008, no qual o aterro de resíduos domiciliares recebeu 66.452,55 t (ou $RSU_D = 66,45255 \text{ Gg}$), por meio da Equação 5, obteve-se que este resíduo gerou $1,96146 \text{ Gg.ano}^{-1}$ de metano aproveitável, ou seja, passivo de coleta na saída dos drenos de biogás e de aproveitamento energético.

Na Tabela 3, são apresentados os valores estimados de Q_{CH_4A} correspondentes aos depósitos anuais de RSU registrados no aterro de resíduos domiciliares.

Tabela 3 – Estimativa do metano aproveitável correspondente aos depósitos de RSU

Ano	Quantidade de metano aproveitável (Gg.ano^{-1})
2001	1,75785
2002	1,73443
2003	1,67779
2004	1,74060
2005	1,83045
2006	1,96314
2007	1,90927
2008	1,96146

Destaca-se que, na Tabela 3, tem-se a quantidade calculada de gás metano relativa ao montante de resíduos depositados ao final de cada ano. Uma estimativa mais precisa em termos de vazão do metano que estaria sendo captado pelos drenos de biogás seria dada por modelos mais sofisticados que, inclusive, permitiriam prever a curva de produção do aterro ao longo do tempo.

Segundo Abreu *et al.* (2009), a curva que descreve o comportamento da vazão de

metano ao longo do tempo é crescente durante o período em que o aterro recebe resíduos, pois a cada nova tonelada de resíduos depositada, soma-se um novo potencial de geração de biogás, e o ponto máximo da curva ocorre no último ano de disposição de resíduos no aterro.

De acordo com o que foi anteriormente citado, quanto ao comportamento da vazão anual de metano, o aterro sanitário de Foz do Iguaçu, estando em funcionamento há alguns anos, apresentará, até o seu encerramento, uma geração anual de metano certamente maior que as apresentadas na Tabela 3 devido à sobreposição de geração de biogás dos resíduos de diferentes idades.

Outra consideração a ser feita é que, apesar dos cálculos de metano aproveitável terem sido feitos para as deposições desde o ano de 2001, por não haver acúmulos de biogás, o metano gerado nos primeiros anos já foi dissipado pelos drenos, não estando mais disponível para aproveitamento.

Com base na quantidade de metano aproveitável, é possível estimar o potencial de geração de energia elétrica do biogás. A potência e a energia disponíveis são obtidas pelas Equações 6 e 7, adaptadas a partir de Abreu *et al.*, 2009:

$$P_x = \frac{V_{CH_4Ax} \cdot \rho_{CH_4}}{31.536.000} \cdot \frac{1}{1.000} \quad (6)$$

$$E_{disp} = 8.760 \cdot P_x \quad (7)$$

Para utilizar a Equação 6, faz-se necessário converter a estimativa de metano aproveitável de Q_{CH_4A} , em Gg.ano^{-1} , para V_{CH_4Ax} , em $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, considerando que a densidade do gás metano é igual a $0,7168 \text{ kg.m}^{-3}$, em CNTP (Abreu *et al.*, 2009).



Assim, os valores calculados de potência e energia elétrica disponíveis referente aos resíduos depositados no ano de 2008, que geraram $2.736.408,716 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ de metano aproveitável, foram de 3082,97 kW e 27,01 GWh, respectivamente. A Figura 1 ilustra a estimativa da energia disponibilizada pelo biogás do aterro sanitário ao longo do tempo de operação do mesmo.

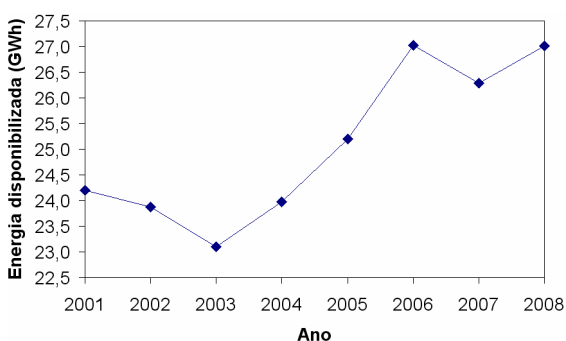


Figura 1 – Estimativa de geração de energia a partir do biogás.

As estimativas apresentadas na Figura 1 consistem em valores teóricos, pois não consideram as perdas relativas à eficiência do grupo moto-gerador (equipamento que utiliza motor de combustão interna associado a um gerador elétrico). Segundo Ferling (2003) apud Silva *et al.* (2008), a eficiência de motores ciclo Otto pode ser considerada de 28%, o que, para a estimativa do ano de 2008, acarretaria em uma potência disponível de 863,23 kW (ou 0,86 MW) e uma energia de 7,56 GWh.

Outro aspecto economicamente importante, quanto à conversão energética do metano contido no biogás de aterro, é a possibilidade de certificar o sistema como MDL e transformar o metano aproveitável também em “créditos de carbono”, ou seja, Reduções Certificadas de Emissões (RCE). Conforme indica van Elk (2007), a quantidade de metano calculada multiplicada por 21 resulta em carbono equivalente (CO_2e). Os preços das RCE, atualmente variam entre 7 e

14 dólares por tCO_2e (Felipetto, 2007). Considerando um valor médio de US\$ 10,50 por tCO_2e , as 1.961,46 t de metano aproveitável produzidas em 2008, que correspondem a 41.190,61 tCO_2e , valeriam US\$ 432.501,44 no mercado de créditos de carbono.

Ressalta-se novamente que as estimativas aqui apresentadas subestimam o real potencial de aproveitamento de metano do biogás do aterro. Conforme estudo realizado por Zulauf (2004) apud van Elk (2007), um aterro com cerca de 1 milhão de toneladas de lixo, típico de uma cidade com cerca de 300 mil habitantes, pode apresentar uma potência de aproximadamente 1 MW de energia elétrica por uma década.

3.2 Possibilidades de aproveitamento do biogás

O aproveitamento da energia contida no biogás pode ser feito de modo a atender diversas necessidades energéticas, tais como a geração de eletricidade, a geração de vapor, de calor, trabalho mecânico ou mesmo o uso direto como combustível automotivo. Os diversos aproveitamentos do biogás podem ser realizados utilizando-se caldeiras, motores de combustão interna, turbinas a gás, células combustíveis e outros conversores de energia. O uso direto do biogás de aterro pode ser realizado para abastecimento de uma rede local de gás canalizado ou diretamente para alguma aplicação específica em processos industriais. Nesses casos, o biogás serve como combustível auxiliar ou como substituto de algum derivado de petróleo. Outra possibilidade é o uso do biogás em pequenas aplicações como no aquecimento de estufas, acompanhado pela recuperação do dióxido de carbono resultante a queima nas caldeiras (Ensinas, 2003). Também é possível usar o biogás para alimentar sistemas de iluminação a gás (Abreu *et al.*, 2009).



Há ainda a possibilidade do uso do biogás na evaporação do chorume gerado no aterro, com sistemas de queima do gás metano e coleta do vapor de chorume resultante, que pode ainda ser aproveitado como gás combustível juntamente com o gás do aterro não usado (USEPA, 1998 apud Ensinas, 2003). A evaporação do chorume possibilitaria a eliminação das lagoas de tratamento (Silva *et al.*, 2008).

Em entrevista com o engenheiro responsável pelo DSU da Prefeitura de Foz do Iguaçu, identificou-se ser interessante a conversão do biogás do aterro sanitário em eletricidade. Considerando que a fatura mensal de energia elétrica das instalações do aterro é de 5.802 kWh (média dos últimos 12 meses), o que corresponde a um custo mensal de R\$ 2.224,95 e a uma demanda de 24,18 kW (admitindo funcionamento de toda a instalação por 8 h diárias, 30 dias por mês), a eletricidade gerada poderia ser utilizada para atender a demanda atual e futura do próprio aterro, já que a energia disponibilizada pelo biogás, referente ao ano de 2008, foi de 7,56 GWh, contemplando a eficiência do grupo moto-gerador.

A economia com energia elétrica e o excedente disponível permitiriam investimentos em novos equipamentos e sua instalação, como por exemplo, uma moto-bomba a ser utilizada para recalque do efluente das lagoas de tratamento para sua recirculação no aterro, hoje transportado por veículos. Outro equipamento que poderia ser viabilizado seria um inertizador de resíduos infectantes, uma vez que hoje, a Prefeitura Municipal gasta mensalmente cerca de R\$ 10.000,00 com o serviço terceirizado de destinação dos resíduos de serviços de saúde de responsabilidade do município. Com este equipamento, o aterro poderia inclusive prestar o serviço para estabelecimentos e profissionais particulares e ter nova fonte de

arrecadação mediante cobrança de taxa. A disponibilidade de energia elétrica poderia ser também um incentivo para a instalação de uma usina de reciclagem nas proximidades do aterro.

Além das aplicações mencionadas, a energia excedente poderia ser vendida para a COPEL - Companhia Paranaense de Energia em consonância com a atual tendência de geração distribuída de eletricidade, passando o aterro a fornecer energia para o sistema elétrico. Caso a energia elétrica gerada fosse integralmente vendida à concessionária (0,86 MW), considerando a demanda da população de Foz do Iguaçu ser igual a 80 MW, a energia obtida com o biogás poderia atender aproximadamente 3500 pessoas, o equivalente a 875 residências unifamiliares.

Ensinas (2003) destaca que cada instalação de aproveitamento do biogás de aterro tem suas particularidades, dependendo da localização, das necessidades energéticas locais, do investimento financeiro necessário e da legislação vigente, sendo importante a avaliação prévia quanto à viabilidade das diversas possibilidades de aproveitamento antes da decisão final do projeto.

4. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, foi possível fazer uma estimativa preliminar da quantidade de metano aproveitável do biogás gerado no aterro, do seu potencial energético e da arrecadação com a possível venda de créditos de carbono decorrente da recuperação da quantidade de gás calculada, que, para os resíduos depositados ao longo do ano de 2008, foram, respectivamente, da ordem de 1960 t (ou 27.36.400 m³), 0,86 MW e US\$ 432.500,00.

A partir das referidas estimativas e do conhecimento das características do aterro



sanitário de Foz do Iguaçu, constatou-se ser interessante, dentre as possíveis alternativas de aproveitamento identificadas na literatura, a conversão do biogás em energia elétrica, o que possibilitaria, em curto prazo, economia no consumo de eletricidade no aterro e, em médio prazo, investimentos em equipamentos e instalações, geração de divisas mediante a comercialização da energia excedente e de créditos de carbono.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

As estimativas apresentadas da quantidade de metano aproveitável não correspondem à efetiva quantidade de gás que hoje é captada e queimada no aterro sanitário de Foz do Iguaçu, estando estas possivelmente subestimadas em virtude do modelo aplicado. Assim, modelos mais aprimorados e verificações experimentais devem ser utilizados a fim de dimensionar plantas de aproveitamento do biogás.

Como sugestão para trabalhos futuros, com o intuito de complementar a presente pesquisa, aponta-se a caracterização mais detalhada da composição gravimétrica dos resíduos depositados no aterro, estudo da cinética de degradação dos resíduos no aterro, medida da vazão de biogás efetivamente obtida junto aos drenos de gases e caracterização química do biogás captado. Com estas informações, seria possível estimar com maior precisão o potencial energético do biogás gerado no aterro e dimensionar adequadamente os equipamentos necessários para o seu aproveitamento.

Com relação às propostas de aproveitamento elencadas, destaca-se que o desenvolvimento de um projeto de utilização do biogás demanda análise técnica e econômica cuidadosa para a verificação da viabilidade de implementação e operação do

sistema correspondente, uma vez que, sempre há a necessidade de investimentos iniciais em infra-estrutura, sistema de purificação do biogás e equipamentos. Em outras palavras, deve-se avaliar e comparar o custo da energia elétrica gerada a partir do biogás com o valor cobrado pela concessionária local, considerando a vida útil do aterro em termos de geração e exploração do biogás.

6. LISTA DE SÍMBOLOS

a	fração de papel, papelão e tecidos nos RSU (%)
b	fração de resíduos de poda e jardinagem nos RSU (%)
c	fração correspondente a restos de alimentos nos RSU (%)
COD	carbono orgânico degradável no RSU (%)
COD _R	fração de COD que realmente degrada (%)
d	fração de madeira nos RSU (%)
E _{disp}	energia disponível (kWh)
FCM	fator de correção de metano (%)
FEM	fração de metano no gás de aterro (%)
L ₀	potencial de geração de metano (m ³ .t ⁻¹)
MR	quantidade de metano recuperado (t.ano ⁻¹)
OX	fator de oxidação (adimensional)
p _{CH4}	poder calorífico do metano (igual a 35,53.106 J.m ⁻³)
P _x	potência disponível a cada ano (kW)
Q _{CH4}	quantidade de metano gerado (Gg.ano ⁻¹)
Q _{CH4A}	quantidade de metano aproveitável (Gg.ano ⁻¹)
V _{CH4Ax}	volume de metano aproveitável (m ³ .ano ⁻¹)
RSU _D	total anual de RSU depositados no aterro



7. REFERÊNCIAS

ABREU, F. C. de; PECORA, V.; VELÁZQUEZ, S.; COELHO, S. T. *Biogás de aterro para geração de eletricidade e iluminação*. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/download/projetos/aterro.pdf>>.

Acesso em: 2 jan. 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004: resíduos sólidos - classificação*. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8419: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, 1992.

BOM negócio: energia elétrica a partir do lixo. *Rev. Brasileira de Bioenergia*, São Paulo: CENBIO, ano 2, n. 4, 2008.

BRASIL, A. M.; SANTOS, F. *Equilíbrio ambiental e resíduos na sociedade moderna*. 3. ed. São Paulo: FAARTE, 2007.

CASTILHOS JUNIOR, A. B.; MEDEIROS, P. A.; FIRTA, I. N.; LUPATINI, G.; SILVA, J. D. da. Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos. In: CASTILHOS JUNIOR, A. B. (Coord.). *Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte*. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 19-50.

COELHO, S. T. *Geração de energia a partir do biogás gerado por resíduos urbanos e rurais*. Florianópolis: CENBIO, 2001. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/Nota%20t%E9cnica%20VII%20-%20biog%E1s.pdf>>. Acesso em: 2 jan. 2009.

ENSINAS, A. V. *Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP*. 2003. 145f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FELIPETTO, A. V. M. *Conceito, planejamento e oportunidades*. Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Estimativas das populações residentes, em 1º de julho de 2009, segundo os municípios*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2009/POP2009_DOU.pdf>. Acesso em: 1 set. 2009.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Guidelines for national greenhouse gas inventories: workbook*. [S. l.]: NGGIP, 1996. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs5e.html>>. Acesso em: 27 dez. 2008.

PECORA, V.; FIGUEIREDO, N. J. V. de; COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G. *Biogás e o mercado de crédito de carbono*. São Paulo: CENBIO, 2008. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/notatecnica_viii.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2008.

PMFI - PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE FOZ DO IGUAÇU. Secretaria Municipal de Obras. Departamento de Serviços Urbanos. *Informações sobre o aterro sanitário de Foz do Iguaçu*. Foz do Iguaçu, 2009.

SILVA, C. L.; RABELO, J. M. de O.; BOLLMANN, H. A. Energia no lixo: uma avaliação da viabilidade do uso do biogás a partir de resíduos sólidos urbanos. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 4., 2008, Brasília. *Anais...* Brasília: Anppas, 2008.

VALLE, M. A.; MILANI, P. H. Caracterização gravimétrica dos resíduos



sólidos urbanos domiciliares do município de Santo André. *Rev. Limpeza Pública*, São Paulo: ABLP, n. 70, 2009.

VAN ELK, A. G. H. P. *Redução de emissões na disposição final*. Rio de Janeiro: IBAM, 2007.