

BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL E LIMPA - UM ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Fábio Viana de Abreu¹, Manoel Antonio Fonseca Costa Filho², Mauro Carlos Lopes Souza²

¹ Petrobras (Petróleo Brasileiro S.A.) e Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica - PPG-EM/UERJ, *fabiovian@bol.com.br

² Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica - PPG-EM/UERJ, Fonseca Teles, 121, São Cristovão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Área Temática: Ciências Aplicadas - Energia

RESUMO

A geração de energia através do biogás do lixo em aterros sanitários é uma maneira de produzir energia elétrica renovável e limpa, deixando a matriz energética dos países mais heterogênea e reduzindo os impactos globais provocados pela queima dos resíduos sólidos urbanos. Neste artigo, as condições operacionais do biogás são fixadas, definindo-se então as áreas apropriadas onde este projeto poderá ser aplicado. A contribuição ambiental mais relevante relacionada a este projeto é a redução de emissões dos gases de efeito estufa (GEE), por meio da conversão do metano em dióxido de carbono, visto que o metano possui um potencial de aquecimento global cerca de 21 vezes maior, quando comparado ao dióxido de carbono [1]. De acordo com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), os países ricos podem comprar créditos de carbono dos países em desenvolvimento (que possuam projetos sustentáveis) para cumprir suas metas ambientais. Essa alternativa de obtenção de recursos financeiros é também objeto do presente estudo. São analisadas as tecnologias de conversão energética, com a seleção da melhor alternativa para a conversão energética do biogás de aterro. São apresentados estudos comparativos demonstrando quando as turbinas a gás, motores a combustão interna (ciclos Otto ou Diesel) ou outras tecnologias de conversão energética terão viabilidades nos campos técnico, econômico e ambiental para implantação de Unidades Termoeletricas a biogás.

PALAVRAS CHAVES: Estudo de Viabilidade técnica e econômica (EVTE), Aterros Sanitários e Resíduos Sólidos Urbanos

INTRODUÇÃO

Resolver adequadamente a disposição final dos resíduos sólidos de forma integrada, da sua origem até a disposição final, é fundamental para o desenvolvimento sustentável.

A gestão adequada do lixo e a geração de energia através do biogás de lixo em aterros sanitários são soluções ambientalmente sustentáveis (gerando energia elétrica renovável e limpa). Além disso, o estudo da geração de energia elétrica a partir do biogás permite a redução de fugas dos gases de efeito estufa (GEE) e a maximização do índice de conversão do metano, contabilizado no cálculo para emissão de créditos de carbono dentro do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).

A negociação de créditos de carbono é a forma transacional do MDL [1]. Tais iniciativas induzem investimentos em projetos sustentáveis onde pode haver redução de emissões e/ou sequestro de carbono, assegurando um modelo de desenvolvimento limpo para os países emergentes, onde os custos de implementação de tais projetos são maiores [2]. O Brasil, enquanto país signatário do Tratado de Quioto, está

habilitado a desenvolver projetos de redução dos GEE e emitir os créditos aos países industrializados que devam reduzir suas emissões até o ano 2012.

O biogás gerado nos aterros sanitários é composto basicamente por metano (CH_4 – de 55 a 65%), dióxido de carbono (CO_2 – de 35 a 45%), nitrogênio (H_2 – de 0 a 1%), hidrogênio (H_2 – de 0 a 1%) e gás sulfídrico (H_2S - de 0 a 1%) [3]. Em um 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 [4]. A combustão completa do metano produz dióxido de carbono e vapor d'água.

A geração de biogás em um aterro sanitário é iniciada alguns meses após o início do depósito dos resíduos e continua por 15 anos após seu encerramento. Uma tonelada de resíduo disposto em um aterro sanitário gera em média 200 Nm^3 de biogás. Para comercializar o biogás através da recuperação energética, o aterro sanitário deverá receber no mínimo 200 toneladas/dia de resíduos, com capacidade mínima de recepção da ordem de 500.000 toneladas em sua vida útil e altura mínima de carregamento de 10 metros [5].

O aterro de Gramacho, situado na cidade de Duque de Caxias (RJ), foi escolhido como o estudo de caso. Originalmente era um lixão que a partir do início da década de 1990 passou a receber alguns cuidados para minimizar a agressão que causava ao meio ambiente. O mais recente foi à conclusão da primeira fase da Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos, que trata diariamente, segundo a Comlurb [6], 960 metros cúbicos de chorume, que era uma das principais preocupações dos ambientalistas temendo a contaminação da Baía de Guanabara. O próximo passo é a produção de energia através do biogás do lixo.

2. METODOLOGIA

O aterro de Gramacho foi selecionado como estudo de caso devido à sua importância para a cidade do Rio de Janeiro e sua região metropolitana.

Para a realização do estudo de viabilidade técnica e econômica, foi realizado um levantamento de dados técnicos para estudo das alternativas de geração de eletricidade a partir de biogás, bem como a determinação do potencial de biogás a ser produzido e do potencial de eletricidade a ser gerado. Para isso, o modelo utilizado foi o recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) [7].

A estimativa de produção de metano está expressa na Eq. (1):

$$Q_M = \sum_{i=1}^n 2 k L_0 M_i (e^{-kt_i}) \quad (1)$$

Os dados de quantidade de lixo anual são inseridos e os parâmetros de velocidade de degradação (k) e potencial de metano (L_0) são adotados de acordo com as condições da região estudada. E para a realização da análise econômica utilizou-se os parâmetros Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

3. RESULTADOS

Na análise técnica foram estimados os custos de capital para o desenvolvimento de um projeto de recuperação de biogás e sua utilização no aterro sanitário. Também foram levantados os custos anuais esperados para a operação, manutenção e expansão regular do sistema de coleta de biogás, junto com custos recorrentes para a expansão da capacidade da estação de ventilação/queima da usina.

O custo estimado da usina foi de US\$ 9.624.000 (tabela 1), referindo-se ao custo inicial para implantação de uma usina termoeletrica (UTE) de 10 MW (bruto) baseada em motores a combustão interna abastecidos com biogás, para substituir o consumo de energia local e vender a energia excedente à rede. A este, são adicionados os custos do sistema de coleta e de queima de biogás de US\$ 5.890.880 (tabela 2). Assume-se que a usina começará a operar no 1º dia do 3º ano do projeto e continuará a operar até o 15º ano (nesse caso em 2024). Com isso, tem-se o valor inicial de investimento estimado em US\$ 15.514.880,00 [8].

Tabela 1. Custos Orçamentários da UTE

Item	Custo Total Estimado (\$) ⁽¹⁾
Usina de energia de 10 MW abastecida com bio ⁽²⁾	\$8.025.000
Interconexão de 3 km	\$500.000
Construção da usina/trabalho no local (incluindo tubulação)	\$174.000
Medição do biogás e equipamento de registro	\$50.000
Engenharia/Contingências (10% de outros custos)	\$875.000
Custo Total Estimado	\$9.624.000

Tabela 2. Custos Orçamentários Iniciais do Sistema de Coleta e Queima do Biogás

Item	Custo Total Estimado (US\$)
Mobilização e Gestão do Projeto	\$50.000
Tubulação principal de coleta de gás	\$2.250.250
Tubulação lateral	\$173.200
Passarelas	\$47.300
Gestão do Condensado	\$27.300
Poços de Drenagem Vertical	\$323.000
Coletores Horizontais	\$971.830
Equipamento de Ventilação e Queima (queimador)	\$1.400.000
Engenharia, Contingência, e Custos Iniciais de Transação do MDL	\$558.000
Custo Total Estimado	\$5.890.880

Os custos orçamentários anuais estimados da operação e manutenção da UTE são de aproximadamente 1,8 centavos de dólar por kilowatt-hora (kWh) de saída de eletricidade (estimados em 73,55 milhões de kWh), ou cerca de US\$ 1.323.900,00 [8], incluindo mão-de-obra, testes, manutenção de rotina e reparações).

A (fig. 1) mostra a recuperação projetada do biogás nos cenários de 50%, 70% e 90%. A quantidade de lixo anual foi inserida na Eq. (1) com $k = 0,06$ e com $L_0 = 84,8 \text{ m}^3/\text{Mg}$ [10].

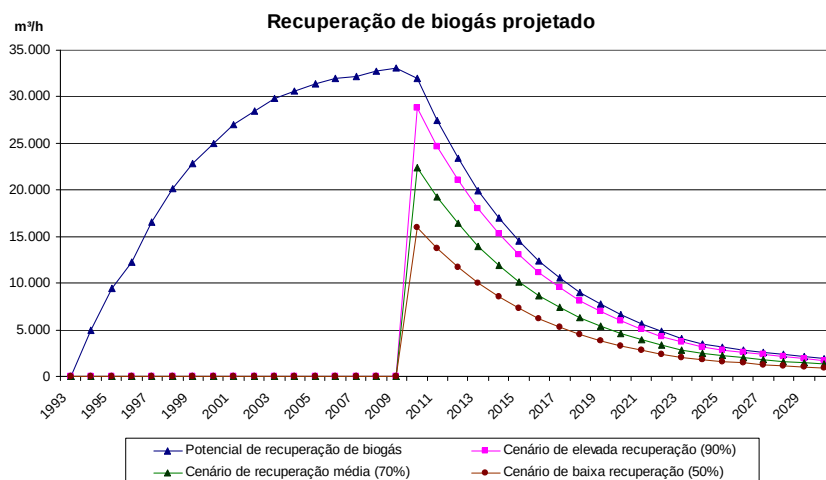


Fig. 1. Recuperação projetada de biogás no Aterro Sanitário de Gramacho

A (tabela 3) apresenta as taxas de recuperação de biogás esperadas e respectivas capacidades previstas para a UTE, cujo cronograma é apresentado na (tabela 4), sendo que a mesma está baseada na taxa de entrada de calor de 10.800 Btu/kW/h (1MW = 604 m³/hr). Essas informações são essenciais para dimensionar o projeto e determinar a capacidade bruta da Usina de Motor de Combustão Interna.

Tabela 3. Taxas de Recuperação de Biogás e Capacidade da UTE

Ano	Recuperação de Biogás Previsto (m ³ /hr)	Capacidade Máxima da Usina de Energia (MW)
2012	16.383	27,1
2013	13.981	23,1
2014	11.931	19,7
2015	10.182	16,8
2016	8.690	14,4
2017	7.416	12,3
2018	6.329	10,5
2019	5.401	8,9
2020	4.609	7,6
2021	3.934	6,5
2022	3.357	5,6
2023	2.865	4,7
2024	2.445	4,0

Tabela 4. Cronograma da UTE

Ano	Pressupostos
1	Sistema de coleta de gás e de queima em construção
2	Início do Sistema de Coleta e de queima. Usina em construção.
3	Início do funcionamento da usina de energia; Sistema a operar à capacidade de 10 MW.
4 ao 8	Sistema com capacidade de 10 MW
9 e 10	Sistema com capacidade de 7,2 MW
11 ao 15	Sistema com capacidade de 4,3 MW

Outro fator importante para ser analisado é a escolha da opção tecnológica a ser utilizada para conversão energética, com a seleção da melhor alternativa para a conversão energética do biogás de aterro. Abaixo na (Fig. 2), demonstra-se a eficiência energética das turbinas, motor a Combustão Interna (MCI) (ciclo Otto e ciclo Diesel). A definição da parte técnica é fundamental para que a Usina Termoelétrica (UTE) de geração de energia através do biogás tenha viabilidade técnica e econômica, além dos aspectos ambientais e sociais.

É possível verificar uma maior eficiência térmica dos MCI modernos [9] alcançando valores maiores que 40%, conforme mostrados na Figura 2. Para plantas com potência na faixa entre 10 a 50MW (caso do Aterro de Gramacho), os MCI atingem eficiências energéticas mais elevadas que os ciclos combinados e turbinas (que demandam um alto investimento e são mais adequadas para projetos com mais de 50MW). Então para pequenas capacidades os motores têm uma melhor eficiência dentre as máquinas térmicas.

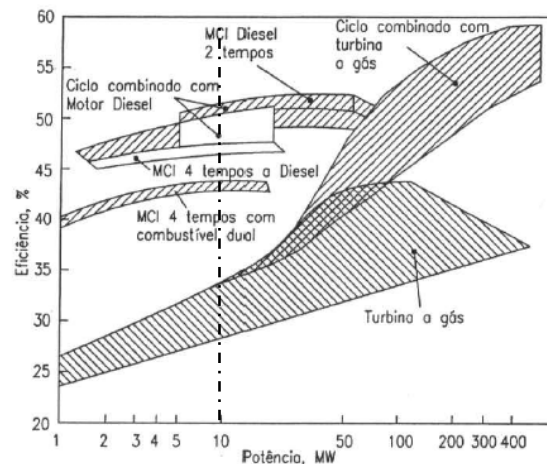


Fig. 2: Comparação das Eficiências (Motor a Combustão Interna [MCI] X Turbinas)

Realizando a análise econômica foram presumidos que os fluxos de receitas incluem as relativas à venda de eletricidade e à economia de não mais ser necessário comprá-la para atender as necessidades do aterro (sob o cenário de projeto de utilização); incluem também as receitas associadas às reduções das emissões dos gases (efeito estufa), que são receitas geradas através da venda de créditos de carbono.

Os seguintes pressupostos gerais foram usados para avaliar as questões econômicas do projeto:

- A avaliação econômica padrão para esse tipo de negócio é para um período de 15 anos.
- Duas opções de financiamento foram consideradas, uma sem nenhum financiamento das despesas de capital (aplicação inicial de 100% das despesas de capital) e outra com financiamento de 75% das despesas iniciais de capital (25% de aporte de capital inicial).
- Foram considerados os cenários para a avaliação dos Certificados de Emissões Reduzidas (CER), com preços de venda de US\$7, 8, 10, 13, 15 e 20 por tonelada de CO₂ equivalente.
- Usou-se a mesma taxa de juros de 8% para a análise do VPL e para o financiamento do empréstimo.
- O período de pagamento do empréstimo para o investimento inicial (neste caso, 75% do valor = \$11.636.160,00) foi de 15 anos.
- Para esta análise, foi considerado o pagamento de aproximadamente 20 % de receitas de CER ao proprietário do aterro sanitário pelo uso de biogás (representado por uma taxa de \$0,35/MMBtu). Tem-se como base na experiência internacional que o pagamento ao proprietário do aterro pelo biogás pode variar entre 10 a 30 % das receitas de CER. Se o proprietário do aterro decidisse desenvolver o projeto sozinho (o que não é usual) o valor seria igual a zero.
- O valor do biogás tem reajuste anual de 3%.
- Gastos futuros com operação e manutenção e com a melhoria do sistema têm reajuste anual de 3%.

Além desses pressupostos gerais, para a realização da usina de energia (utilização de biogás), aplicam-se os seguintes pressupostos técnicos e econômicos:

A usina consistirá inicialmente de sete motores a combustão interna de 1,433 MW, que são comprados no 1º ano e que funcionarão do 3º ao 8º ano. Após 8º ano, o fluxo de biogás irá diminuir e serão apenas suficientes para operar cinco motores do 9º ao 11º ano e três motores de 12º ao 15º ano.

O valor dos motores que são retirados de serviço à medida que a produção de biogás diminui não foi incluído na análise financeira, apesar destes terem um valor de revenda considerável. Essa decisão foi motivada pelo princípio contábil do conservadorismo, pois as vendas desses motores não são uma operação líquida e certa.

Presumiu-se uma redução de 7% na produção de eletricidade da usina para cobrir a carga parasítica, bem como um fator de capacidade da usina de 90% devido a períodos rotineiros e não-rotineiros de inatividade. O biogás coletado durante o tempo de manutenção da usina será direcionado para a queima.

Supõe-se que toda a eletricidade gerada pelo projeto seja vendida fora do aterro. (A eletricidade gerada irá suprir as necessidades energéticas no aterro, e isso é considerado um aumento de receitas, já que a eletricidade comprada da rede é mais cara que a eletricidade gerada e vendida pelo projeto). Ressalta-se que sobre a eletricidade comercializada no mercado cativo incidem impostos, precipuamente o ICMS (de 18 a 25%) e PIS/COFINS (9,25%). Com isso, é notável que a energia gerada para consumo próprio não terá o desembolso dessa elevada carga tributária, o que contribui para a viabilidade para o projeto.

Na avaliação econômica, são consideradas as seguintes despesas para a realização da usina de energia:

- Investimento inicial para o sistema de coleta e queima do biogás, queimador e a própria UTE.
- Compra de biogás do proprietário do aterro.
- Custo anual para a operação e manutenção do sistema de coleta e queima do biogás e da UTE, bem como para o registro anual de CER, monitorização e verificação.

Existem dois projetos de geração de energia a partir do biogás do lixo em escalas comerciais atualmente ativos no Brasil. Em São Paulo e no Rio de Janeiro existem respectivamente os projetos do Aterro Bandeirantes e de Adrianópolis. O preço de venda de eletricidade recebido pelo projeto no Aterro dos Bandeirantes foi baseado numa estrutura única que não está mais disponível no Brasil. No projeto dos Bandeirantes, um banco é o produtor independente de energia (PIE) a partir de biogás e a fornece à sua matriz. Como compensação todas as sucursais do banco recebem eletricidade gratuitamente. Logo estão vendendo a eletricidade ao preço de mercado cativo, que é acima de R\$200.00/MWh (aproximadamente \$0.074/kWh).

A projeção para o preço de venda de energia foi baseada nos seguintes cenários reais:

1. No Estado de São Paulo, existem produtores independentes de energia (PIEs) que produzem energia a partir de bagaço de cana de açúcar e vendem a eletricidade a uma instalação local através de um acordo de venda de energia (PPA), a um preço à volta de 80R\$/MWh (\$ 0,029/kWh).

2. Se um projeto qualifica-se para o PROINFA (programa federal de incentivo através do qual a ELETROBRAS compra a energia sob um PPA de 20 anos), pode-se receber R\$169,08/MWh (0,062/kWh).

Como o segundo cenário está ligado a um projeto de 20 anos, foi adotado o primeiro cenário, que é também mais conservador. Com isto, as seguintes receitas de projeto foram consideradas:

- Do 3º ano ao 8º ano, a UTE produz um total de 54.504 MW/ano, que é vendido a uma taxa de U.S. \$0.029/kWh, com base nas taxas médias estimadas de compra de energia por atacado.

Abaixo temos um sumário dos resultados da avaliação econômica no cenário da UTE.

Tabela 5. Sumário da Avaliação Econômica da UTE

Investimento Inicial	Investimento Inicial de capital (%)	CER (US\$ / ton.Co ₂ eq.)	TIR	VPL
\$15.514.880	100%	7	7,68%	(\$257.092)
\$15.514.880	100%	8	11,8%	\$3.715.234
\$15.514.880	100%	10	17,44%	\$11.659.887
\$15.514.880	100%	13	23,44%	\$23.576.866
\$15.514.880	100%	15	26,62%	\$31.521.519
\$15.514.880	100%	20	33,02%	\$51.383.151
\$3.878.720	25%	7	0%	(\$1.119.030)
\$3.878.720	25%	8	14,5%	\$2.853.297
\$3.878.720	25%	10	24,2%	\$10.797.949
\$3.878.720	25%	13	33,3%	\$22.714.928
\$3.878.720	25%	15	37,9%	\$30.659.581
\$3.878.720	25%	20	46,9%	\$50.521.213

Como demonstrado na Tabela 5, as projeções econômicas da UTE apresentam-se atrativas (valores positivos para VPL e TIR) para os cenários de financiamento e considerando os preços de vendas dos créditos de carbono (CER) em um patamar superior ao valor de \$8 tonelada de CO₂eq. Mas devido ao custo de oportunidade do investidor, que poderá utilizar o seu dinheiro em projetos com taxa interna de retorno superiores, o valor dos créditos de carbono com uma taxa interna de retorno atrativa é de \$10 tonelada de CO₂eq., de acordo com a tabela 5.

Abaixo a Fig. 3 demonstra a relação entre a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o valor dos Créditos de Carbono (CER). Com isso, é possível analisar a sensibilidade entre o valor dos créditos de carbono e a TIR.

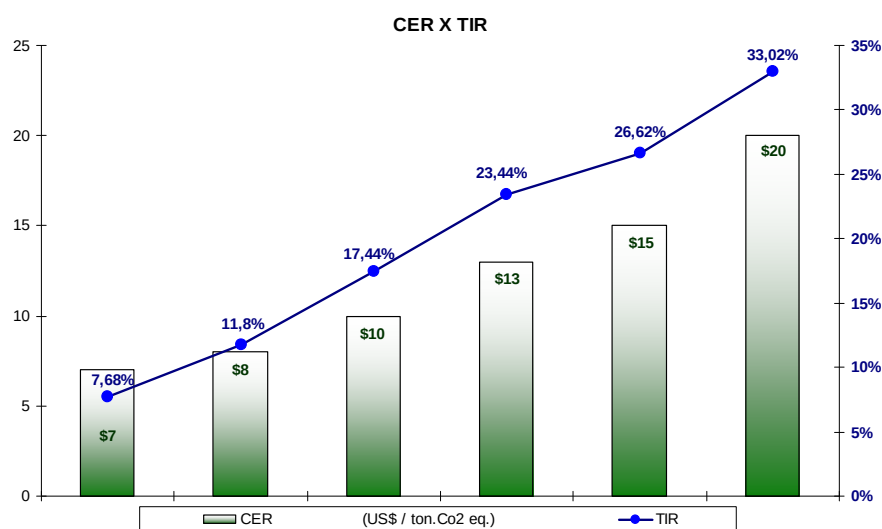


Fig. 2: Relação entre valores de CER e TIR (Créditos de Carbono e Taxa Interna de Retorno)

DISCUSSÕES

Sugerem-se as seguintes medidas para potencializar a produção de energia através do biogás do lixo:

- Simplificação do sistema de licenciamento ambiental para aterros sanitários, que é complexo e lento;
- Adoção de instrumentos fiscais favoráveis como, por exemplo, ICMS “ecológico” ou “verde”. Os municípios terão esses privilégios fiscais caso se enquadrem em critérios de preservação ambiental e/ou realizem investimentos em projetos sustentáveis.
- Disseminação de dados técnicos sobre a construção e operação de aterros sanitários com aproveitamento de biogás do lixo e alternativas tecnológicas de geração de energia a partir dos RSUs.
- Estabelecer linhas de crédito via bancos de desenvolvimento e fundações de amparo à pesquisa (como BNDES e FAPERJ, respectivamente) com taxas favorecidas (ou a fundo perdido com incentivo ao fomento da iniciação científica e inovação tecnológica) para o aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários.

CONCLUSÕES

A presente proposta tem como objetivo investigar as condições de produção (e sua viabilidade técnica e econômica) de biogás em aterros sanitários, visando avaliar os diferentes métodos utilizados atualmente para o cálculo das emissões em aterros de resíduos.

Analisando sob o ponto de vista sócio-econômico e ambiental, a produção de energia através do biogás do lixo em aterros sanitários representa ganhos para a sociedade (geração de empregos e redução de subempregos), para as prefeituras (representam uma fonte extra de renda com a comercialização da energia gerada pelo biogás) e para o meio ambiente (com contenção de emissões de CH₄, redução do uso de combustíveis fósseis, no caso de aproveitamento energético, redução de odores e vetores nos aterros devido a boas práticas de gerenciamento, dentre outras).

Com base nos resultados do Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE), o projeto de geração de energia através do biogás do Aterro Sanitário de Gramacho é viável com o valor de Créditos de Carbono (CER) em um patamar de \$10 ton.CO₂eq. e opções de financiamento analisadas.

REFERÊNCIAS

1. UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. Overview of Project Activity Cycle. Disponível Em <http://unfccc.int/2860.php>. Acesso Em 25 Nov. 2007b.
2. Cebds - Câmara de Mudanças Climáticas do Conselho Empresarial Brasileiro do Desenvolvimento Sustentável, 2001, <http://www.cebds.org.br/cebds/mc-convencao-clima.asp>, acessado em 22.04 2009.
3. Polprasert, C. Organic Waste Recyclin Technology And Management. 2nd Edition. *John Wiley & Sons*. 412 P. Chichester, 1996.
4. UNFCCC. United Nations Framework Convention On Climate Change. Kyoto Protocol <http://unfccc.int/2860.php>. Acesso Em 26 Nov. 2007a.
5. *World Bank – Guidance Note On Recuperation Of Landfill Gas From Municipal Solid Waste Landfills*, 2005.
6. Comlurb, Companhia Municipal de Limpeza Urbana, http://comlurb.rio.rj.gov.br/etc_atgramacho.htm, acesso em 20 de maio 2009.
7. EPA, 2005. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide. EPA-600/R05/047 (May 2005), Research Triangle Park, NC. U.S. *Environmental Protection Agency*.
8. SCS Engineers, 2005. http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/Gramacho_PreFeasibility_Study_Portuguese.pdf, acessado em 15 de março 2009.
9. Lora, E. E. S.; Nascimento, M. A. R. coord.. “Geração Termelétrica: Planejamento, Projeto e Operação”, 2004, 457 - 461 pp.

NOMECLATURA

LFG	quantidade total de gás gerado (m ³ /ano);
L ₀	potencial total de geração de metano (m ³ /tonelada);
R	variação média de RSU no aterro (tonelada/ano);
k	velocidade de degradação do lixo (1/ano);
t	tempo que o aterro está aberto (anos);
c	tempo desde que o aterro foi fechado (anos).