

III-036 - METODOLOGIA DO BANCO MUNDIAL NA ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE GÁS METANO NUM ATERRO SANITÁRIO: ESTUDO DE CASO

Francisco Thiago Rodrigues Almeida⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Gemmelle Oliveira Santos

Doutorando em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC); Professor do Departamento de Química e Meio Ambiente do Instituto Federal de Ceará (IFCE) - Campus Fortaleza.

Francisco Bastos Suetônio Mota

Doutor em Saúde Ambiental; Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará; Membro da Academia Cearense de Ciências.

Endereço⁽¹⁾: Rua José Cândido, 237 – Monte Castelo – Fortaleza – CE – CEP: 60325-490 – Brasil – Tel: (85) 3243-7295 – e-mail: thiago.ambientaleng@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho consiste em estimar a geração de metano, a partir da metodologia do Banco Mundial, para o Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia (ASMOC) considerando apenas os resíduos depositados em 2007 e 2008. As etapas do trabalho foram (i) o levantamento da quantidade de resíduos sólidos urbanos destinados ao ASMOC, (ii) a subtração dos quantitativos referentes à podaço e a construção civil, (iii) a aplicação do modelo do Banco Mundial, (iv) a simulação do decaimento da produção de metano a partir de 2015. Para a aplicação do modelo, considerou-se 50% dos resíduos como ‘altamente degradável’, 31% ‘moderadamente degradável’ e 19% ‘relativamente inerte’ a partir da literatura. Os resultados do modelo são enquadrados de acordo com a pluviometria e com o potencial de geração (L_0): 4.125.749 a 5.618.677 m³ e 4.355.080 a 5.930.992 m³ de metano quando a pluviometria for inferior a 250mm para $L_{0(Minimo)}$ e $L_{0(Maximo)}$ em 2007 e 2008 respectivamente; 6.723.806 a 9.124.535 m³ e 7.097.550 a 9.631.725 m³ de metano (250mm a 500mm) para $L_{0(Minimo)}$ e $L_{0(Maximo)}$ em 2007 e 2008 respectivamente; e 10.849.535 a 14.743.212 m³ e 11.452.630 a 15.562.717 m³ de metano (500mm a 1000mm) em 2007 e 2008 respectivamente. O modelo apresenta várias fragilidades, pois descarta muitas variáveis de influência e importância, servindo apenas de orientação para a realidade local; apesar de bastante utilizado na literatura nacional e internacional.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos, aterro sanitário, digestão de resíduos sólidos, metano.

INTRODUÇÃO

A cada dia, o aumento das emissões de gases provenientes de fontes antrópicas tem sido uma das causas do aumento do efeito estufa. Uma das fontes emissoras de gases são os aterros e lixões que contribuem para a poluição atmosférica e a intensificação do efeito estufa (BRITO FILHO, 2005).

O mecanismo de formação de gases em aterros sanitários é muito complexo por conta da diversidade de materiais e compostos e por suas possíveis interações físico-químicas e biológicas ao longo do tempo (MACIEL, 2003).

Nesse mesmo sentido, Borba (2006) traz que a produção do biogás é influenciada por diversos fatores como composição dos resíduos, umidade, tamanho das partículas, temperatura, pH, idade dos resíduos, projeto e operação do aterro sanitário.

Segundo Ensinas (2003) o biogás de aterro sanitário é composto por vários gases, sendo o metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂) seus principais constituintes. O metano é um gás de efeito estufa com um potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o dióxido de carbono, como também responsável por 25% do aquecimento terrestre (BRITO FILHO, 2005).

A grande presença de metano torna o biogás uma fonte alternativa de energia, visto que segundo Silva e Braz (2002) o poder calorífico inferior (PCI) do metano é da ordem de 35.736 kJ/Nm³. Vale ressaltar que quanto maior a presença de metano no biogás, mais eficiente será a produção de energia elétrica (FIGUEIREDO, 2007).

Para estimar a geração de metano num aterro sanitário existem diversos modelos numéricos como os apresentados pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), pelo Banco Mundial e pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

Segundo Borba (2006), as equações apresentadas pela USEPA, Banco Mundial e IPCC têm em comum o fato de serem equações cinéticas de primeira ordem e considerar os mesmos parâmetros iniciais, como massa de resíduos que ingressa anualmente no aterro, tempo de atividade do aterro e/ou após o fechamento, taxa de geração de metano e potencial de geração de metano (L_0).

O Banco Mundial apresenta um modelo cinético de primeira ordem com base na premissa de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro por unidade de tempo (BORBA, 2006).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi estimar a geração de metano no Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia-CE (ASMOC) a partir da metodologia do Banco Mundial e considerando apenas os resíduos dispostos em 2008. Além disso, analisou-se o decaimento do metano após o encerramento do aterro sanitário num horizonte de 100 anos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira etapa do trabalho envolveu o levantamento dos dados referentes à quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) destinada ao Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia (ASMOC) em 2008.

A segunda etapa consistiu em suprimir, da quantidade de RSU destinada ao ASMOC, os quantitativos referentes aos resíduos da atividade de poda (3% em 2008) e os da construção/demolição (11%) já que ambos são destinados a áreas específicas, não contribuindo para as estimativas feitas acerca da geração de metano.

A terceira etapa consistiu em aplicar o modelo numérico do Banco Mundial, que se baseia na equação abaixo:

$$Q_{(CH_4)i} = k \times L_0 \times m_i \times e^{-kt} \quad [Eq.01]$$

Sendo,

$Q_{(CH_4)i}$ = metano produzido no ano i , (m³/ano)

k = taxa de geração de metano, (ano⁻¹)

L_0 = potencial de geração de metano por tonelada de resíduo depositado (m³CH₄ /t resíduo)

m_i = massa de resíduos despejada no ano i , (t/ano)

t = anos após do fechamento, (ano).

Os valores de ' k ' e ' L_0 ' previstos pela metodologia estão no Quadro 1 e 2 respectivamente e dependem da degradabilidade dos resíduos:

Quadro 1 - Valores de 'k' propostos pelo BANCO MUNDIAL (2003)

Pluviometria Anual	Valores de 'k'		
	Relativamente Inerte	Moderadamente Degradável	Altamente Degradável
-			
< 250 mm	0,01	0,02	0,03
> 250 mm e < 500 mm	0,01	0,03	0,05
> 500 mm e < 1000 mm	0,02	0,05	0,08
> 1000 mm	0,02	0,06	0,09

Quadro 2 - Valores de L_0 em função da Degradabilidade do resíduo sólido

CATEGORIZAÇÃO DO LIXO	Valor Mínimo para L_0	Valor Máximo para L_0
Lixo Relativamente Inerte	5	25
Lixo Moderadamente Degradável	140	200
Lixo Altamente Degradável	225	300

A degradabilidade dos resíduos adotada nesse trabalho foi extraída de Santos e Mota (2010), que realizam estudo nos resíduos sólidos de Fortaleza-CE e encontraram 50% de 'altamente degradável', 31% 'moderadamente degradável' e 19% 'relativamente inerte'.

A quarta etapa consistiu em simular até quando haveria produção de metano se o ASMOC for encerrado em 2015, considerando os mesmos valores do 'k', desta vez, como coeficientes de decaimento.

RESULTADO E DISCUSSÃO

A quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) destinada ao ASMOC em 2008 é mostrada no Quadro 3.

Quadro 3 - Quantidade de RSU Destinada ao ASMOC em 2007 e 2008.

Mês	Ton. (2007)	Ton. (2008)
Janeiro	99.596,19	106.260,43
Fevereiro	88.618,38	87.996,67
Março	101.275,15	97.386,23
Abril	89.719,60	102.875,37
Maio	95.346,18	105.118,87
Junho	91.240,50	98.539,71
Julho	92.364,09	104.227,99
Agosto	97.309,92	95.964,80
Setembro	90.656,71	97.747,01
Outubro	99.571,11	102.798,87
Novembro	93.950,75	97.912,56
Dezembro	99.060,83	105.176,31
Total	1.138.709,41	1.202.004,82

Fonte: EMLURB (2009).

Como se observa a quantidade de RSU anual é de 1.138.709,41 e de 1.202.004,82 toneladas para os anos de 2007 e 2008 respectivamente. Reduzindo da quantidade apresentada no Quadro 3, os quantitativos referentes aos resíduos da atividade de poda (~3%) e construção/demolição (~11%) ficam os quantitativos mostrados no Quadro 4.

Quadro 4 - Quantidade de RSU Estimada em 2007 e 2008 para Aplicação do Modelo

Mês	Ton. (2007)	Ton. (2008)
Janeiro	85.652,72	91.383,97
Fevereiro	76.211,81	75.677,14
Março	87.096,63	83.752,16
Abril	77.158,86	88.472,82
Maio	81.997,71	90.402,23
Junho	78.466,83	84.744,15
Julho	79.433,12	89.636,07
Agosto	83.686,53	82.529,73
Setembro	77.964,77	84.062,43
Outubro	85.631,15	88.407,03
Novembro	80.797,65	84.204,80
Dezembro	85.192,31	90.451,63
Total	979.290,09	1.033.724,15

Aplicando os dados referentes ao ano de 2007 no modelo do Banco Mundial foram encontradas as previsões de geração de metano (em m³) apresentadas na Figura 1.

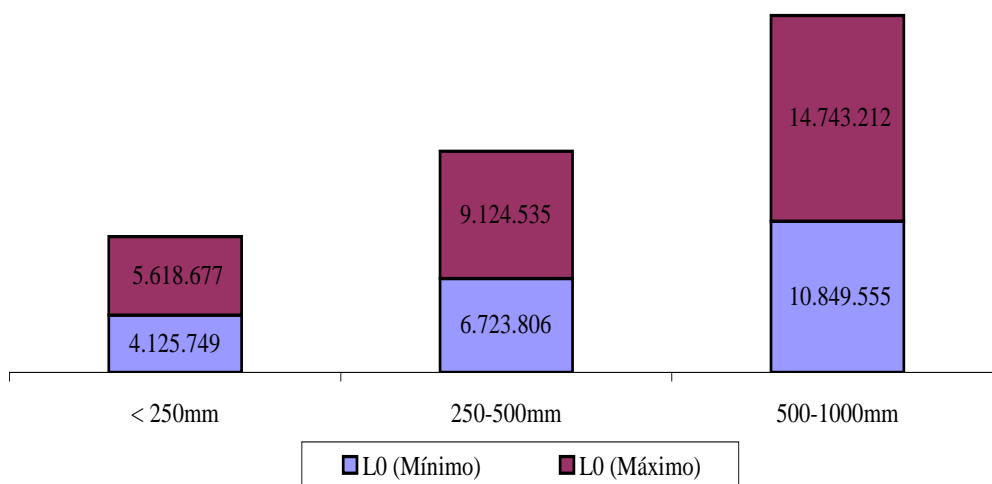


Figura 1 - Previsão da Geração de Metano no ASMOC pra os RSU Destinados em 2007.

Como se observa, estima-se uma geração entre:

- (i) 4.125.749 a 5.618.677 m³ de metano quando a pluviometria for inferior a 250mm para L₀(Mínimo) e L₀ (Máximo), respectivamente.
- (ii) 6.723.806 a 9.124.535 m³ de metano quando a pluviometria for superior a 250mm e inferior a 500mm e para L₀(Mínimo) e L₀ (Máximo), respectivamente.
- (iii) 10.849.555 a 14.743.212 m³ de metano quando a pluviometria for superior a 500mm e inferior a 1000mm e para L₀(Mínimo) e L₀ (Máximo), respectivamente.

O comportamento do decaimento seria o previsto na Figura 2:

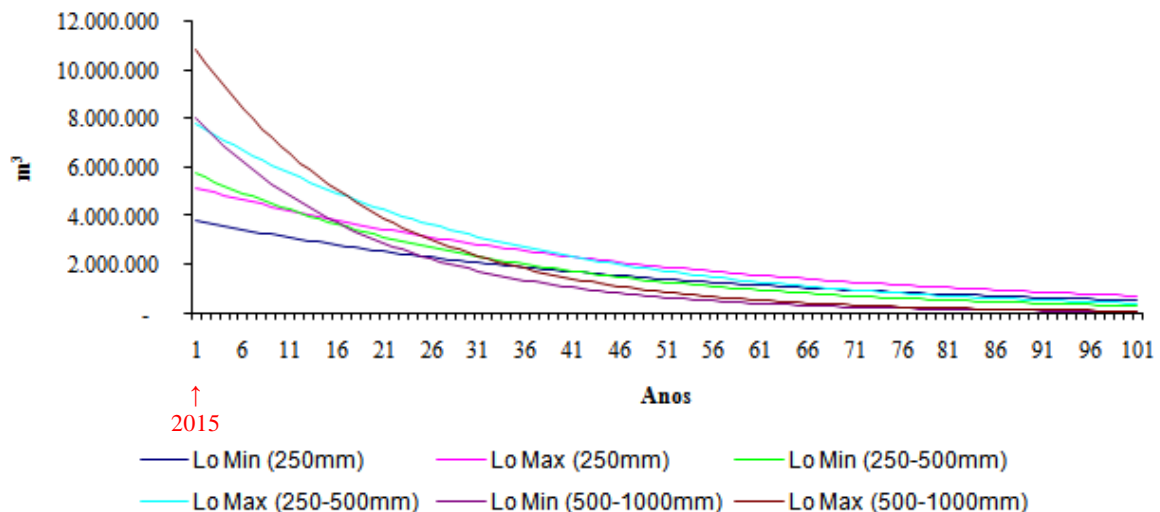


Figura 2 - Decaimento do Volume de Metano no ASMOC a partir de 2015 para os dados de 2007.

Aplicando os dados referentes ao ano de 2008 no modelo do BANCO MUNDIAL foram encontradas as previsões de geração de metano (em m^3) apresentadas na Figura 3.

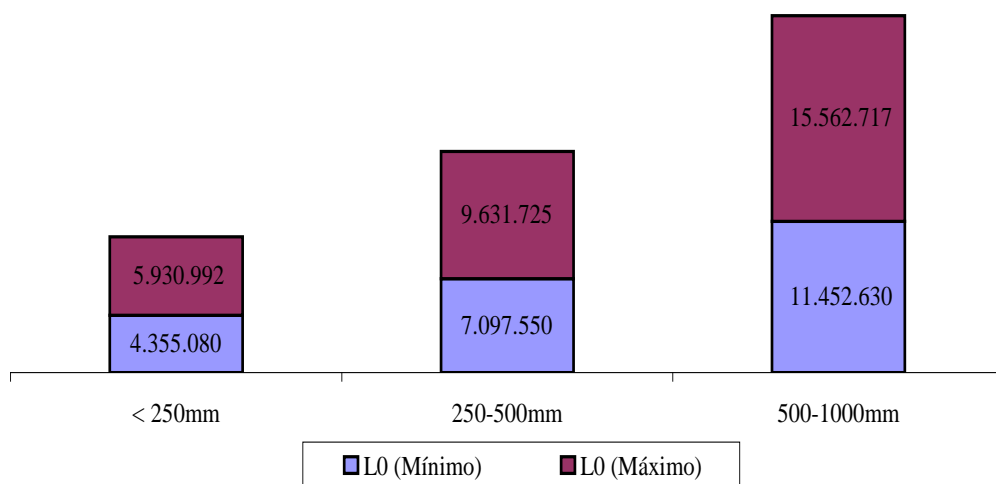


Figura 3 - Previsão da Geração de Metano no ASMOC pra os RSU Destinados em 2008.

Como se observa, estima-se uma geração entre:

- (i) 4.355.080 a 5.930.992 m^3 de metano quando a pluviometria for inferior a 250mm para L_0 (Mínimo) e L_0 (Máximo), respectivamente.
- (ii) 7.097.550 a 9.631.725 m^3 de metano quando a pluviometria for superior a 250mm e inferior a 500mm e para L_0 (Mínimo) e L_0 (Máximo), respectivamente.
- (iii) 11.452.630 a 15.562.717 m^3 de metano quando a pluviometria for superior a 500mm e inferior a 1000mm e para L_0 (Mínimo) e L_0 (Máximo), respectivamente.

O comportamento do decaimento seria o previsto na Figura 4:

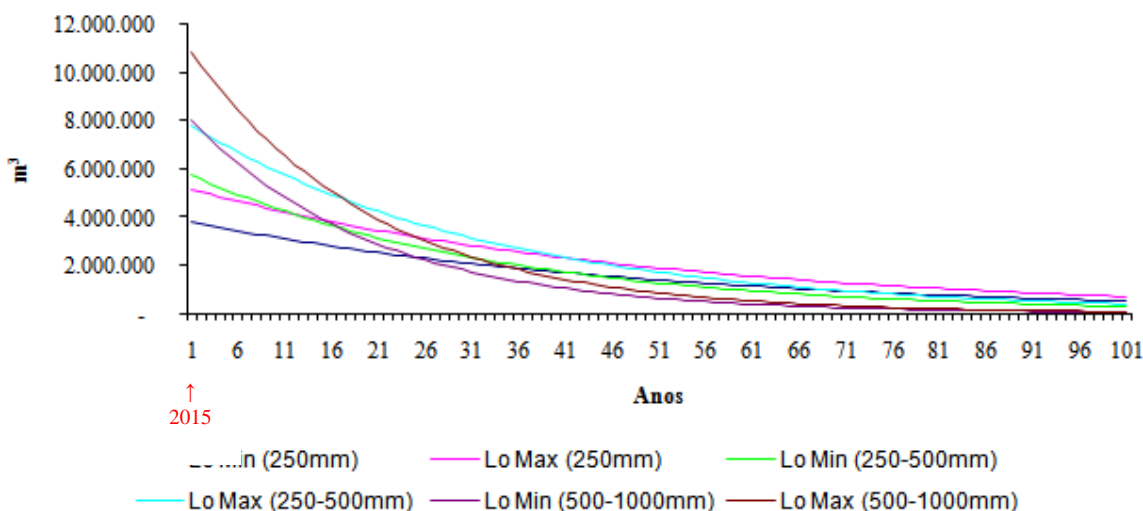


Figura 4 - Decaimento do Volume de Metano no ASMOC a partir de 2015 para os dados de 2008.

Observa-se que em todas as situações de pluviometria a quantidade de metano gerada em 2008 é superior a quantidade de metano gerada em 2007 pois o volume de resíduos sólidos depositados no aterro sanitário em 2008 foi maior, o que possibilita a degradação de uma massa maior de resíduos e conseqüentemente um volume maior de metano.

Como se observa o decaimento da quantidade de metano no aterro sanitário mantém relação com a pluviometria, mas é sabido que muitos outros aspectos influenciam nesse processo inclusive a emissões pelas camadas de cobertura.

Pela literatura sabe-se que: quanto maior a compactação dos resíduos, menor a presença de oxigênio na massa, o que, sob esse aspecto, diminui o processo aeróbio, tendo como conseqüência uma possível antecipação na produção de metano (BORBA, 2006). Boa compactação aumenta a produção de biogás (Maciel, 2003; Camacho, 2006) e favorece o processo de decomposição biológica (Brito Filho, 2005).

Por outro lado, todas as previsões de decaimento da quantidade de metano se cruzam em aproximadamente 30-35 anos após 2015, o que possivelmente possibilitaria a implantação de projetos de aproveitamento energético do metano mesmo com o aterro sanitário desativado, visto que, segundo Figueiredo (2007), o gás metano pode ser apresentado como uma importante alternativa energética.

Um aspecto a considerar é que a constante de geração de CH_4 (k) representa a taxa de decomposição biológica que é influenciada pela disponibilidade de nutrientes, pH, temperatura e principalmente umidade como traz Bittencourt (2007). Assim, quando o modelo estima a quantidade de gás, ele despreza essas variáveis evidenciando sua fragilidade.

Segundo Tarazona (2010), o valor de L_0 depende da composição do resíduo, em particular da fração de matéria orgânica presente e do conteúdo de carbono biodegradável, do teor de umidade, da compactação do resíduo e da reciclagem. Vale ressaltar que o modelo estima a quantidade de gás, desprezando todas essas variáveis que influenciam no valor de L_0 .

É importante considerar que a precipitação média anual no município de Caucaia, onde fica o aterro sanitário, é de 57,5 mm e o total anual é de 690,4mm, o que demonstra que os valores de produção de metano mais adequados à realidade seriam os estimados na primeira e segunda colunas da Figura 1.

Segundo Borba (2006), a equação utilizada pela metodologia do Banco Mundial não fornece uma representação adequada de aterros de resíduos sólidos urbanos ativos, já que neste caso a exponencial da equação assume o valor um.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostraram que quanto maior a pluviometria anual e a degradabilidade dos resíduos sólidos, maior será a produção de metano no aterro sanitário. É importante considerar que para se obter valores mais precisos na estimativa de metano, esse modelo deve estar sujeito a uma análise de sensibilidade muito mais criteriosa, sendo fundamental conhecer quais parâmetros tem maior influência.

O modelo do Banco Mundial apresenta fragilidades quando desconsidera na sua metodologia algumas variáveis como umidade, fração de matéria orgânica, pH, compactação do resíduo e temperatura, que influenciam diretamente nos valores da taxa de geração de metano (k) e no potencial de geração de metano por tonelada de resíduo depositado (Lo).

Os resultados do decaimento do metano após o encerramento do aterro sanitário mostraram que durante 30 anos ainda existe presença de metano, o que viabiliza a implantação de projetos de aproveitamento energético do biogás, que é uma importante fonte alternativa de energia.

A natureza heterogênea e a variável tempo em todos os aterros provocam uma dificuldade inerente para a coleta de dados acurados de um local sem um grande gasto no custo corrente. O êxito previsível de qualquer modelo é dependente do grau de certeza necessário, da confiabilidade dos dados e da experiência do operador (BRITO FILHO, 2005).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BITTENCOURT, R. T. Estimativa de geração de biogás no aterro sanitário do CIRSURES com vistas a geração de créditos de carbono. 2007. 90 f. Monografia (Graduado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2007.
2. BORBA, S. M. P. Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudo de caso. 2006. 149 f. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campinas, 2006.
3. BRITO FILHO, L. F. de. Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos. 2005. 149 f. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
4. CAMACHO, C. S. Alternativas de utilización de biogás de rellenos sanitarios en Colombia. 2006. 144p. Proyecto Final de Master (Master en Gestión y Auditorías Ambientales). Fundación Universitaria Iberoamericana/Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (España), Bogotá, 2006.
5. EMPRESA MUNICIPAL DE LIMPEZA E URBANIZAÇÃO - EMLURB. Relatório das atividades desenvolvidas pela diretoria de limpeza urbana no ano de 2008. EMLURB, Fortaleza, 2009.
6. ENSINAS, A. V. Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas - SP. 2003. 145 f. Dissertação (Mestre) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
7. FIGUEIREDO, N. J. V. Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás - estudo de caso. 2007. 90 f. Monografia (Graduação) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007.
8. MACIEL, F. J. Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil, 2003.
9. SILVA, C. L. da; BRAZ, J. A. Aproveitamento energético do gás de aterro sanitário na produção de frio. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún. Anais... . Cancún: Aidis, 2002. p. 1 - 4.
10. TARAZONA, Carolina Flórez. Estimativa de produção de gás em aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos. 2010. 210 f. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.