

### III-019 - AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE METANO E ENERGIA NO ATERRO SANITÁRIO METROPOLITANO OESTE EM CAUCAIA/CE (ASMOC)

**Francisco de Assis Martins Ponce<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR).

**Maria Jorgiana Ferreira Dantas<sup>(2)</sup>**

Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade de Fortaleza- UNIFOR. Possui graduação em Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia CENTEC-Cariri. Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Ceará (UFC) e Doutorado em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, Sensoriamento Remoto e Expressão Gráfica.

**Irla Gonçalves Barbosa<sup>(3)</sup>**

Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade de Fortaleza- UNIFOR. Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal do Ceará (UFC) e Mestrado em Geologia pela UFC. Atualmente é professora da Universidade de Fortaleza (UNIFOR). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Prospecção Mineral.

**Graziela Veras Brandão<sup>(4)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR).

**Gabriela Vasconcelos Rodrigues<sup>(5)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Quatro Irmãos, 520 – Boa Vista - Fortaleza - CE - CEP: 60861-045 - Brasil - Tel: (85) 99763-1228 - e-mail: [fcodeassismartins@edu.unifor.br](mailto:fcodeassismartins@edu.unifor.br)

#### RESUMO

A grande parte de resíduos que são gerados no Brasil, sem a destinação e aproveitamento corretos, são passível de perda de energia. No momento atual, é persistente a atenção de forma eficaz e cuidadosa em relação aos impactos no meio ambiente que são provocados em consequência da geração cada vez maior de resíduos sólidos urbanos, que por sua vez, contribuem de forma importante para acelerar ainda mais as mudanças climáticas que estão acontecendo. Ao se estarem sendo dispostos em aterros sanitários, os resíduos sólidos produzem entre outros subprodutos, um de muita importância, devido a sua peculiaridade de geração de energia, o metano, que é produto da decomposição anaeróbica dos compostos orgânicos de origem animal como também as de origem vegetal. No presente estudo em questão, fez-se uma estimativa da quantidade de produção de metano como também o seu potencial em geração de energia através da decomposição via anaeróbica de um aterro sanitário na cidade de Caucaia, Ceará. Para se proceder com a pesquisa, foi realizada a estimativa de alguns parâmetros, bem como também foi empregado o *software* da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) denominado “Aterros” em que através desse utilitário, foram gerados resultados das estimativas de geração de metano e energia. Para o programa usado, durante os 35 anos (1992-2027) de vida útil estimados do aterro sanitário, é cerca de 2.540.548.000 m<sup>3</sup>/CH<sub>4</sub>. Em relação à geração de energia, através da entrada de resíduos ano a ano, a quantidade acumulada durante toda a vida útil do aterro foi de 2,87 GW. O conhecimento sobre a geração de biogás produzido nos aterros sanitários é de essencial importância por causa do grau de impactos ambientais e da capacidade de ganho econômico em sua utilização. O estudo sobre a produção de energia através do metano é preferível para geração de energia elétrica, devido ser um gás com alto poder calorífico, e se por um lado, deixa-se de um Gás de Efeito Estufa (GEE) e, no entanto, se incorpora um maior benefício econômico quando se deixa de lançar esse gás para a atmosfera, usando ele como fator de geração energética. O programa se mostrou útil para determinação de metano e potência disponível em aterro sanitário, fazendo projeções de vários anos, e gerando gráficos, no entanto se mostrou frágil já que desconsiderou várias variáveis em seu modelo de aplicação de valores passíveis de erros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo, Metano, Geração, Energia.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, boa parte dos resíduos sólidos até agora é descartado sem qualquer tipo de tratamento. Despejos ilegais estão presentes na grande parte das cidades e os aterros sanitários genuinamente são insignificantes. Fora os diversos impactos ambientais, na saúde e bem-estar dos cidadãos, os resíduos urbanos sem disposição correta, representam uma parte importante das emissões de metano (ICLEI, 2009).

Os aterros geram chorume e gases de efeito estufa, esses são passíveis de serem reaproveitados para vários fins, sendo esses, os constituintes básicos dos gases o gás dióxido de carbono e o gás metano. Esse último, um combustível factível para ser recolhido e utilizado para no desenvolvimento de geração de energia (ENSINAS, 2003).

Para Branco (2010), o biogás, no que lhe diz respeito, conduz vários benefícios para o meio ambiente, evidenciando o processo de diminuição de emissões de gás carbono para atmosfera, resultando em um balanço igualitário desse carbono ao longo do processo de geração de energia elétrica, que, por conseguinte, colabora para a redução do efeito estufa. Isso acontece, devido todo gás carbônico gerado no decorrer deste processo é absorvido pelas plantas, que serão aproveitadas repetidamente no processo, conservando o acúmulo de gás carbônico atmosférico invariável.

A quantidade gerada de biogás depende diretamente do material que está sendo degradado no aterro, bem como de outros fatores ligados à estrutura do local e do tipo de tratamento, passando-se o metano, como combustível utilizado para movimentar motores bem como geradores de energia elétrica, queimado por combustão completa, minimizando a poluição atmosférica e contribuindo para redução do efeito estufa (ALVES FILHO, 2004).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2008), o Brasil é um dos principais produtores de energias, advindas a partir da biomassa, como por exemplo, a produção do biogás. O fomento de políticas públicas é uma parte importante para assegurar a manutenção de sistemas de geração do biogás, fora que mantém a liderança do país no cenário internacional.

O município de Fortaleza começou a alocar os resíduos sólidos no Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia (ASMOC) no ano de 1997, com a desativação do Lixão de Jangurussu, por conta de um contrato finalizado entre as prefeituras de Fortaleza, Caucaia e o Governo do Estado do Ceará, pois teria vantagem para Região Metropolitana de Fortaleza. No entanto, com a inativação do aterro sanitário, a responsabilidade bem como a preocupação sobre essa área é do município que o abriga o aterro sanitário em questão (ECOFOR, 2011). Há mais dois aterros sanitários: aterro sanitário em Maracanaú (Aterro Sanitário Metropolitano Sul) e um em Aquiraz (Aterro Sanitário Metropolitano Leste).

Analizou-se que por conta do ritmo da produção de resíduos sólidos em Fortaleza, que o ASMOC teria sua vida útil se esgotaria sua capacidade em meados de 2011. Porém, atualmente, estudos da sua capacidade e de otimização do seu espaço, garantiram uma prolongada de sua vida útil (ECOFOR, 2011).

## OBJETIVOS

Este trabalho teve como finalidade avaliar as quantidades e as concentrações de biogás, especificamente de CH<sub>4</sub> no Aterro Sanitário Metropolitano do Oeste em Caucaia/CE (ASMOC) usando-se *software* da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para estimar a geração teórica de metano produzido no aterro sanitário convertido em potencial de geração de energia.

## METODOLOGIA

O aterro estudado se encontra limitado pelos paralelos 3° 45' e 3° 47' de longitude Sul e pelos meridianos 38° 43' e 38° 45' de longitude Oeste, localizado na margem esquerda e a 1,6 km da BR-020 em Caucaia. Foi projetado para receber por volta de 16 mil toneladas de resíduos por mês, possibilitando uma estimativa de vida útil em torno de 15 anos.

Foram feitas visitas *in loco* além de pesquisas do levantamento dos dados referentes à quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) destinados ao Aterro Sanitário Metropolitano Oeste em Caucaia (ASMOC). Foi feita uma estimativa de geração de metano do aterro do ano de 1992 a 2027, ano em que se tem a última estimativa de geração de RSU (ECOFOR, 2011).

Há vários modelos para estabelecer a geração de biogás em aterros sanitários assim como a energia produzida pela queima do metano, ambas utilizando equações matemáticas, todavia, é necessário levar em consideração os cuidados de ponderar alguns critérios, para se alcançar resultados confiáveis. Tais resultados exercem uma função importante para avaliar por um lado a capacidade de emissões de GEE (gases de efeito estufa) como a factibilidade de projetos de exploração do biogás (Silva, 2012). Segundo Vieira et al. (2015) existe algumas metodologias para estimativa teórica da produção de biogás em aterro sanitário, podendo citar:

1. *United States Environmental Protection Agency* – USEPA (1998).
2. *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC (1996).
3. Governo do Estado de São Paulo juntamente com a CETESB e do Governo Federal, por meio do Ministério da Ciência e Tecnologia (2006).

A ampla presença de metano ( $\text{CH}_4$ ) torna o biogás uma boa opção de energia, visto que segundo Silva e Braz (2002) o poder calorífico do metano é da ordem de 35,53.106 [J/m<sup>3</sup>  $\text{CH}_4$ ]. Vale destacar que quanto maior for à presença de  $\text{CH}_4$  no biogás, mais eficiente será a geração de energia elétrica (FIGUEIREDO, 2007).

O programa Aterros 1.0 (CETESB) utiliza um modelo matemático muito usado pela *United States Environmental Protection Agency* – USEPA para estabelecer a produção de metano nos aterros nos Estados Unidos, onde a equação diferencial de primeira ordem (equação 1) cuja a integral, é igual a estimativa da vazão de metano no ano considerado (equação 2). A escolha deste modelo se deveu à simplicidade para a aplicação e à desejada confiabilidade nos resultados, em consequência da sua relativa popularidade. De acordo com esse modelo, onde ocorre o processo de degradação anaeróbia, a estimativa de geração de metano é feita para cada porção de resíduo depositada no aterro. No primeiro ano ocorre o maior nível de geração, reduzindo-se com o passar dos anos, com a sua intensidade variando em função da composição do resíduo e da umidade do local (CETESB, 2006).

$$\int \frac{dQ}{dt} = k R_x L_0 \quad \text{equação (1)}$$

$$Q_x = k R_x L_0 \cdot e^{-k(x-T)} \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

- $Q_x$  = vazão de metano gerado no ano x pelo Resíduo Sólido Domiciliar (RSD) no ano T; [m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano]  
 $k$  = constante de decaimento; [1/ano]  
 $R_x$  = fluxo de resíduos no ano x; [Kg<sub>RSD</sub>]  
 $L_0$  = potencial de geração de metano; [m<sup>3</sup>biogás/Kg<sub>RSD</sub>]  
 $T$  = ano de deposição de resíduo no aterro; [ano]  
 $x$  = ano atual; [ano]

Na prática, a equação 2 indica que as vazões ( $Q_x$ ) de biogás são máximas no primeiro ano, reduzindo ano a ano. Essas emissões serão maiores quanto maiores forem os valores de  $k$ ,  $R_x$  e  $L_0$ . Da mesma maneira, o decaimento será mais acentuado quanto maiores forem  $k$  e  $T$ . No aterro não se observa a geração de metano puro. Nele é encontrado o biogás, mistura de gases rica em metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). A concentração de metano varia entre 50 e 60%. Qualquer medição deve levar tal fato em consideração. A avaliação dessa concentração é simples, bastando para isso que sejam coletadas determinadas quantidades do biogás determinando-se a fração de metano (CETESB, 2006).

Uma circunstância a ser considerada é que a constante de decaimento de metano ( $k$ ), correspondente a taxa de decomposição biológica, que consequentemente, é influenciada pela acessibilidade de fatores como: nutrientes, pH, temperatura e majoritariamente a umidade como corrobora Bittencourt (2007). Deste modo, quando um

modelo faz uma aferição da quantidade de metano considerando essa constante de decaimento, ele desconsidera essas variáveis supracitadas evidenciando sua fragilidade.

Para Tarazona (2010), o valor de  $L_0$  (potencial de geração de metano) precisa da formação do tipo de resíduo, em especial da fração de matéria orgânica existente e da natureza do carbono biodecomponível, do teor de umidade, da compactação do resíduo e também da reciclagem. Vale evidenciar que o modelo estima a quantidade de metano, despreza essas variáveis que persuadem no valor de  $L_0$ . Os valores de  $k$  e  $L_0$  são sugeridos pela USEPA (1996) na tabela 1.

**Tabela 1 - Valores sugeridos de  $k$  e  $L_0$**

Variável	Variação	valores sugeridos		
		clima úmido	clima de umidade média	clima seco
$L_0$ [ $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{Kg}_{\text{RSD}}$ ]	0-0,312	0,14 - 0,18	0,14 - 0,18	0,14 - 0,18
$k$ [1/ano]	0,003 - 0,4	0,10 - 0,35	0,05 - 0,15	0,02 - 0,10

Fonte: USEPA, 1996 citando *Landfill control Technologies "Landfill gas system engineering design seminar"*, 1994.

Fez-se o estudo considerando o fechamento do aterro sanitário para o ano de 2027, ou seja, a partir do ano seguinte os resíduos que eram depositados no aterro passaram a ser dispostos em outro local apropriado para tal fim. A estimativa de soma das vazões ( $\Sigma Q_x$ ) de metano ( $\text{CH}_4$ ) é dada pela equação 3, onde representa a soma das vazões de metano correspondentes às quantidades de resíduo depositadas no aterro ano a ano.

$$\Sigma Q_x = k \cdot L_0 \cdot \sum R_x \cdot e^{-k(x-T)} \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

$\Sigma Q_x$  = Soma das  $n$  estimativas de vazões de metano; [ $\text{m}^3 \text{CH}_4$ ].

Para se conseguir os dados da potência disponível no ASMOC, o *software* Aterros calcula sob o uso da seguinte equação 4:

$$P_x = \frac{Q_x \cdot P_c(\text{metano})}{31.536.000} \cdot E_c \cdot \frac{k}{1000} \quad \text{equação (4)}$$

Onde:

$P_x$  = Potência disponível a cada ano; [kW]

$Q_x$  = Vazão de metano ( $\text{CH}_4$ ) a cada ano; [ $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ano}$ ]

$P_c(\text{metano})$  = Poder calorífico do metano; [ $\text{J}/\text{m}^3 \text{CH}_4$ ]

$E_c$  = Eficiência de coleta de gases; [%]

$31.536.000 = 31.536.000 \text{ s} = 1 \text{ ano}$ ; [s/ano]

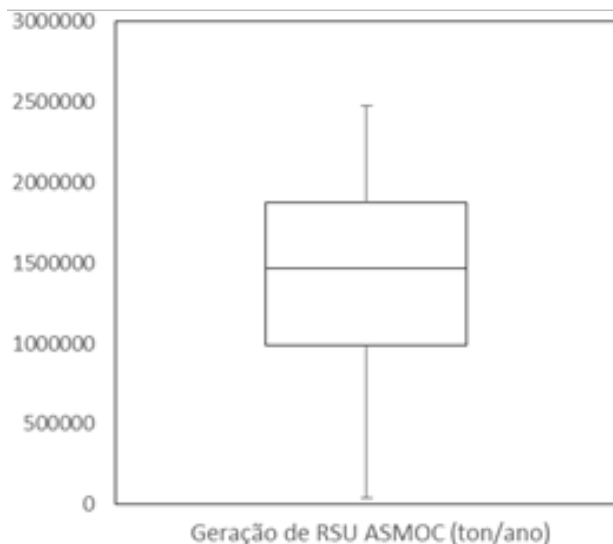
$k = 1.000$ ; [adimensional]

Nessa análise foi considerada uma eficiência com 95% de coleta de gases, verificando que no ASMOC há 283 drenos em operação (ECOFOR, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No diagrama do *boxplot* da geração dos resíduos (figura 1) depositados no ASMOC nos anos de 1992 a 2027 (ACFOR, 2010; ECOFOR, 2011), houve um grande aumento na deposição de RSU no aterro, visto que a quantidade mínima de RSU aterrado era em média de 40.000 ton/ano nos anos de 1992 a 1997, a justificativa é que o ASMOC recebia lixo apenas do município de Caucaia tendo um aumento notório a partir de 1998 quando a cidade de Fortaleza passou a enviar suas contribuições, que significa dizer que houve um crescimento da geração dos RSU nos últimos anos, corroborando com Junior (2013). No ano de 2027, espera-se uma disposição máxima de resíduos de 2.474.306 toneladas, atendendo uma população total com cerca de 4.272.430 habitantes dos municípios de Caucaia e Fortaleza (ECOFOR, 2011). Com os dados, pode-se

observar que a média nos anos compreendidos entre 1992 a 2027 de RSU no ASMOC em ton./ano foi de 1.463.825 toneladas.



**Figura 1 - Bloxpot de RSU em toneladas para o ASMOC – 1992 a 2027.**

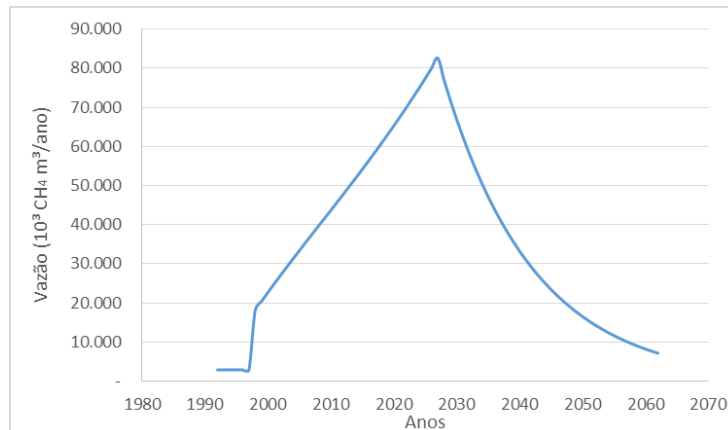
Hiluy & Barcellos (2007) em sua pesquisa, determinaram valores de geração de biogás para o ASMOC. Alguns dados do estudo piloto de aproveitamento energético estão listados na tabela 2.

**Tabela 2 - Resultados do estudo piloto ASMOC.**

[CH <sub>4</sub> ]	Concentração Média de Metano (CH <sub>4</sub> )	46%
R	RSU/ano no ASMOC	700.000,00 (ton/ano)
L <sub>0</sub>	Potencial Geração de Metano no ASMOC	0,126 m <sup>3</sup> /kg RSD
k	Constante de Decaimento	0,07 1/ano
Q <sub>exp</sub>	Vazão de Metano (CH <sub>4</sub> ) Experimental	9,07.10 <sup>7</sup> m <sup>3</sup>

Com o histórico das populações das cidades de Fortaleza e Caucaia, com os valores obtidos em estudos anteriores do próprio aterro (HILUY et al. 2007) além do histórico e da projeção de RSU que chegam no ASMOC, foi utilizado o *software* Aterros versão 1.0 para se determinar a estimativa da geração de biogás produzido por ano no aterro sanitário além da potência energética do aterro sanitário em estudo.

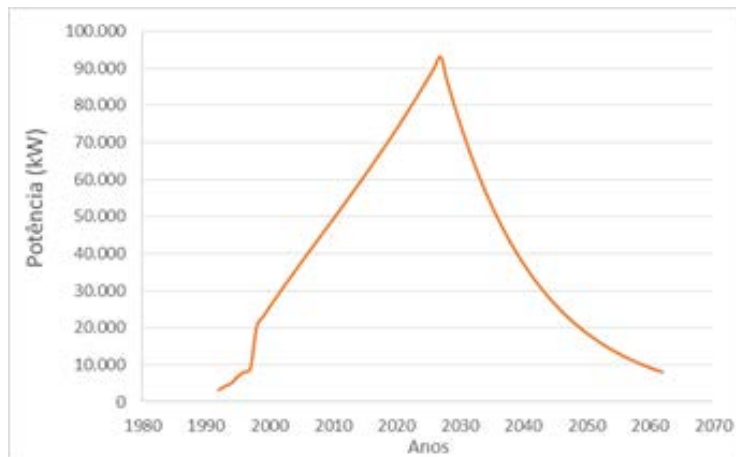
Conforme a equação 2, através do programa foi calculada a vazão de metano por ano no aterro sanitário, a figura 2 exibe valores da produção de metano (CH<sub>4</sub>) até o ano de 2064, foi observado que o pico máximo de vazão ocorre no ano de fechamento do aterro, a qual faz se o seu encerramento de suas operações e consequentemente o fim do acolhimento dos resíduos sólidos na unidade, por conseguinte há na mesma figura, apresentando um decrescimento exponencial ao longo dos anos subsequentes.



**Figura 2 - Curva de Geração de CH<sub>4</sub> no ASMOC**

De acordo com a metodologia adotada, o ASMOC tem um potencial de geração de metano durante toda sua vida útil cerca de 2.540.548.000 m<sup>3</sup>/CH<sub>4</sub>. O programa, no entanto, não apresenta resultados sobre a quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) gerado através da fração de biogás, porém, estudos anteriores (FILHO, 2016) em amostras experimentais foram constatados que no aterro em questão, do biogás cerca de 57,60% é metano (CH<sub>4</sub>), 42,29% é dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 0,11% de oxigênio e sabendo disso, foi calculada através da estimativa de biogás apresentada pelo *software* com as frações de metano a produção de CO<sub>2</sub>. Constatou-se que durante todo período de produção, cerca de 1.074.397.749 m<sup>3</sup> é dióxido de carbono.

Em relação à potência disponível, através da entrada de resíduos ano a ano (toneladas) foi estimada através da equação 4 no programa Biogás (figura 3) uma potência máxima de 93.077 kW. O pico de potência analogamente a figura 2, ocorre no ano de fechamento do aterro sanitário.



**Figura 3 - Curva da Potência (kW) disponível no ASMOC**

Ainda em relação a figura 3, durante os anos de 1992 a 1997, a potência disponível acumulada nesses anos no ASMOC foi de 36.228 kW, para se ter uma ideia, somente a potência disponível no ano de 2005 foi de 37.556 kW, motivo que esses anos de 1992 a 1997, o aterro recebia apenas contribuição da cidade de Caucaia, o que também afeta uma possível geração de energia nesses anos. A potência acumulada dos anos de 1992 a 2067 (anos em que o programa Aterros gerou resultados de potência disponível) foi de 2,87 GW (GigaWatt). Para se ter uma estimativa, uma potência de 1,5 GW é capaz de suprir uma cidade com 1,5 milhão de habitantes (G1, 2011). O potencial de geração de energia proveniente deste aterro sanitário deve ser visto com atenção, devido a sua capacidade de geração de energia.



## CONCLUSÕES

O conhecimento sobre a geração de biogás produzido nos aterros sanitários é de essencial importância por causa do grau de impactos ambientais e da capacidade de ganho econômico em sua utilização.

A aplicação energética de metano é preferível para geração de energia elétrica, por um lado, deixa-se de GEE's e, no entanto, se adquire um maior benefício econômico quando se poupa energia elétrica. O programa se mostrou útil para determinação de metano e potência disponível em aterro sanitário, fazendo projeções de vários anos, além de gerar gráficos, no entanto se mostrou frágil já que desconsiderou várias variáveis em seu modelo de aplicação ocasionando valores passíveis de erros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACFOR – Autarquia De Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental (2010). Relatório Técnico Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia – ASMOC. Fortaleza, CE.
2. 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 jan. 2018.
3. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Biomassa. In: Atlas de energia elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília, 2008. cap. 4, p. 63-74.
4. BITTENCOURT, R. T. Estimativa de geração de biogás no aterro sanitário do CIRSURES com vistas a geração de créditos de carbono. 2007. 90 p. Monografia (Graduado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2007.
5. BRANCO, M. S. R. C. Avaliação do impacto da presença de siloxanos em sistemas de aproveitamento de biogás. 142 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.
6. BRITO FILHO, L. F. de. Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos. 2005. 149 p. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
7. CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Manual do usuário do programa de computador, Biogás 1.0, São Paulo, 2006.
8. ECOFOR – Projeto de Ampliação do Aterro Sanitário para Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Caucaia. ECOSAN, Fortaleza, 2011. 542p.
9. ENSINAS, A. V. Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas - SP. 2003. 145 p. Dissertação (Mestre) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
10. FILHO, J. D. V. S. Utilização de Peneira Molecular Para Purificação do Gás de Aterros Sanitários. 2016. 74 p. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
11. FIGUEIREDO, N. J. V. Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás - estudo de caso. 2007. 90 p. Monografia (Graduação) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007
12. G1. Brasil alcança marca de 1 gigawatt de potência instalada de energia eólica. 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/5EJM18>>. Acesso em: 02/02/2018.
13. HILUY, J. J; BARCELLOS, W. M. Estudo Preliminar de Viabilidade Técnico-Econômico Para Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos da Região Metropolitana de Fortaleza. 2007. Fortaleza, CE.
14. ICLEI, Manual para aproveitamento de biogás. São Paulo, 2009, 81 p.
15. JUNIOR, F. H. C. Estudos de indicadores de sustentabilidade e sua correlação com a geração de resíduos sólidos urbanos na cidade de Fortaleza – CE. 2013. 210 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2013.
16. SILVA, C. L. da; BRAZ, J. A. Aproveitamento energético do gás de aterro sanitário na produção de frio. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIARIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún. Anais... Cancún: Aidis, 2002. p. 1 - 4.
17. SILVA, T. R. Metodologia para a determinação teórica da potência ótima conseguida a partir da combustão do biogás gerado em aterro sanitário: estudo de caso do aterro sanitário de Itajubá- MG. 161 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.
18. TARAZONA, Carolina Flórez. Estimativa de produção de gás em aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos. 2010. 210 p. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.



19. USEPA – Guide for methane mitigation projects – Gas to energy at landfills and open dumps, editores: Mark Orlic e Tom Kerr, Draft Version 2, Washington, November 1996, p. 28-29. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/00000LT3.PDF?Dockey=00000LT3.PDF>>. Acesso em: 12/12/2017.
20. VIEIRA, A. S; VENTURA, A. F.A.; JÚNIOR, R.V.; Gestão Ambiental: uma visão multidisciplinar. 1 Ed. Paraíba: Editora Real, 2015. 288p.