

III-491 – POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ-AL

Kamila Aderne Martins⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Alagoas.

Karina Ribeiro Salomon

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Lavras, Mestre em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Itajubá e Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá. Atualmente é Professora Adjunta IV e Coordenadora de Pesquisa - PROPEP da Universidade Federal de Alagoas. Docente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento CTEC/UFAL.

Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira

Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (Campus II), Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Professora Associada IV do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Endereço⁽¹⁾: Rua Tereza de Azevedo, 113 Edf. Maxim's Apto 301 - Pinheiro - Maceió - AL - CEP: 57057-570 - Brasil - Tel: (82) - 33385477 - e-mail: kamila.aderne@hotmail.com

RESUMO

O aumento populacional atrelado aos padrões insustentáveis de consumo tem provocado uma mudança na quantidade e na composição dos resíduos produzidos, fazendo com que o gerenciamento adequado dos mesmos seja cada vez mais necessário. Ainda que a produção de resíduos seja vista como um problema, quando gerenciados de maneira adequada podem ser constituídos como fonte alternativa de geração de energia. O presente trabalho buscou identificar o potencial energético dos resíduos sólidos do município de Maceió, através da utilização do programa de previsão da produção de biogás LandGEM ao longo da vida útil do aterro sanitário do município e de dados da caracterização dos resíduos sólidos urbanos de Maceió (estudo realizado por MACHADO *et al.*, 2012). As estimativas para geração de metano obtidas com o programa foram satisfatórias com uma produção de aproximadamente 269 milhões de m³ de metano durante os 20 anos de vida útil do aterro sanitário. A utilização dos resíduos sólidos de Maceió como fonte de energia é bastante promissora, uma vez que podem produzir uma potência em torno de 63 mil kW.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro Sanitário, Biogás, Bioenergia, Resíduos Sólidos Urbanos.

INTRODUÇÃO

A intensificação dos processos de industrialização tem provocado uma mudança nos padrões de consumo da sociedade. Como consequência, são produzidos e descartados cada vez mais resíduos que são causadores de impactos ambientais, sociais, econômicos e de saúde pública. Além disso, o desenvolvimento dos centros urbanos, manifestado pelo aumento populacional, tende a agravar a problemática da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU).

A falta de gerenciamento adequado para o tratamento e disposição final dos resíduos sólidos (RS) é um problema enfrentado por diversos países. O conhecimento das fontes e dos tipos de resíduos sólidos, através de dados da sua composição e da sua taxa de geração, é o instrumento básico para o gerenciamento dos mesmos (KGATHI; BOLAANE, 2001 *apud* CABRAL, 2010).

Atualmente, os aterros sanitários representam uma solução para a gestão e tratamento dos RSU (BRAGA, 2011). Os aterros sanitários constituíram o destino final dos resíduos sólidos de 27,7% dos municípios brasileiros, segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (IBGE, 2008). Por outro lado, os "lixões", vazadouros a céu aberto, foram uma opção para a disposição final dos resíduos sólidos em 50,8% dos municípios brasileiros, segundo a mesma pesquisa.

Nos aterros sanitários, a decomposição dos resíduos sólidos urbanos pode gerar biogás, que é um gás composto essencialmente por metano e dióxido de carbono, sendo esses gases contribuintes para o efeito

estufa. No entanto, o biogás apresenta um potencial energético elevado podendo ser utilizado como fonte de energia.

No Brasil, a crise ambiental aliada a escassez de energia elétrica faz com que o biogás gerado a partir dos resíduos sólidos seja uma alternativa bastante vantajosa, pois constitui uma fonte alternativa de energia e diminui significativamente os impactos ambientais da fonte poluidora.

Nesse sentido, foi instituída a Lei 10.438, de 26 de abril de 2002, que cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, concebidos com base em fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, no Sistema Elétrico Interligado Nacional.

De acordo com a Eletrobras (2014), o Proinfa é o maior programa do mundo de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica e sua implantação contribuiu de forma significativa para a diversificação da matriz energética brasileira.

Diversos estudos já foram desenvolvidos para a utilização do biogás como fonte alternativa de energia elétrica, como o Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável, realizado pelo Ministério do Meio Ambiente em 2010, com o objetivo de quantificar o potencial de geração de energia elétrica proveniente de gás metano oriundo de resíduos de saneamento, enfatizando lixo e esgoto (Ministério do Meio Ambiente, 2010).

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Maceió é a capital do estado de Alagoas localizada na Mesorregião do Leste Alagoano e na Microrregião Geográfica de Maceió. O município possui uma área de aproximadamente 511 km², sendo 194,34 km² de área urbana, 293,4 km² de área rural e 23,26 km² de área lagunar (IBGE, 2007 *apud* Enciclopédia Municípios de Alagoas, 2008). A população estimada do município em 2013 é de aproximadamente 996 mil habitantes (IBGE).

A economia do município é configurada pelo comércio e pelos serviços uma vez que as iniciativas industriais ocorrem de forma pontual e localizada, não contribuindo para a dinamização industrial. O turismo é constituído como a atividade mais promissora, através da geração de renda e emprego.

Em relação ao clima, Maceió apresenta temperaturas médias por volta de 24,2°C, podendo alcançar 25,5°C em fevereiro (o mês mais quente) e diminuir para 22,4°C em agosto (o mês mais frio) (Enciclopédia Municípios de Alagoas, 2008).

Segundo a PNSB (2000), em Maceió são coletadas cerca de 1.592 toneladas de lixo diariamente, equivalendo a aproximadamente 581 mil toneladas de lixo por ano. Essa quantidade de lixo era depositada de maneira inadequada no vazadouro do bairro de Cruz das Almas que foi operado por mais de três décadas. Apenas em 2010 o lixo gerado em Maceió passou a ser depositado em um local mais adequado, na Central de Tratamento de Resíduos (CTR) — nome técnico dado ao aterro sanitário do município de Maceió, localizado no bairro do Benedito Bentes, onde o estudo foi desenvolvido

Com uma área de 156,86 hectares, o aterro sanitário do município foi projetado para receber aproximadamente 11.362 toneladas de resíduos (alternativa sem reciclagem) ao longo de 20 anos de vida útil, que serão dispostos em 4 células, cada uma com vida útil de 5 anos. Atualmente uma célula está em operação, sendo iniciada a abertura de uma segunda com previsão de operação para 2015 (SLUM, 2014).

O aterro sanitário recebe todo tipo de resíduo: domiciliar, de poda, animais mortos e resíduo derivado da construção civil. Para os resíduos de poda é feita a compostagem e existe um local no aterro onde é feita a reciclagem dos resíduos da construção civil. No aterro também existe uma área para o recebimento de resíduos indústrias mas que ainda não foi licenciada.

Ao chegarem ao aterro sanitário, os resíduos são pesados, classificados e seguem para as suas respectivas áreas de destinação, sendo os resíduos domiciliares compactados e cobertos com argila.

A falta de uma coleta seletiva eficiente em Maceió faz com que grande parte dos resíduos gerados pelo município seja depositada no aterro sanitário fazendo com que as células atinjam sua capacidade mais rapidamente e reduza a vida útil do aterro. Com a implantação de um sistema de reciclagem eficiente, estima-se que a quantidade de resíduos a serem depositados no aterro durante os 20 anos de funcionamento reduziria em 23,52% (SLUM, 2014).

CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE MACEIÓ

Este trabalho tomou como base a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de Maceió, realizada por Machado *et al.* (2012), e indicada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição gravimétrica dos RSU do município de Maceió

Componente	Teor (% em base úmida)
Madeira	4,02
Pedra/Cerâmica	15,91
Têxtil	4,01
Borracha	0,62
Plástico	12,47
Vidro	0,79
Metal	1,29
Papel/Papelão	12,87
Fração pastosa	48,02

O termo fração pastosa refere-se aos materiais orgânicos (frutas, restos de alimentos) facilmente degradáveis e moderadamente degradáveis (folhas), bem como àqueles que não podem ser identificados ou não são possíveis de serem separados em outras categorias.

LEVANTAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO BIOGÁS

Os modelos de estimativa de geração de biogás surgiram no início da década de 1970 e constituem uma ferramenta capaz de fazer uma estimativa sobre a quantidade de metano produzido no aterro. Existem diferentes modelos para calcular a geração do biogás e que apresentam características próprias, podendo fazer estimativas grosseiras, pois só consideram a quantidade de resíduo contida no aterro, e modelos com formulação mais complexa que consideram uma cinética de geração de biogás sendo função de alguns parâmetros como as condições climáticas locais e a composição dos resíduos (MENDES; SOBRINHO, 2005).

O programa *Landfill Gas Emissions Model* (LandGEM – versão 3.02), desenvolvido pela agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (EPA - *Environmental Protection Agency*), é um modelo de primeira ordem que utiliza uma interface do *Microsoft Excel* para fazer estimativas das taxas de emissões totais do gás de aterro, do metano, do dióxido de carbono, entre outros (EPA, 2005).

O LandGEM pode ser usado a partir dos dados específicos do aterro em questão como também através de dados padrões disponíveis. O modelo contém dois conjuntos de dados padrões (EPA, 2005):

- CAA: são baseados nos requisitos relativos aos RSU dos aterros sanitários definidos pela Lei do Ar Limpo (Clean Air Act – CAA). Utiliza o potencial de geração de biogás (L_0) igual a 170 m³/t de resíduos e a constante de decaimento (k) igual a 0,02 1/ano, para regiões áridas, ou 0,05 1/ano para regiões com a precipitação maior que 635 mm/ano (GONÇALVES, 2005).
- AP42: Utiliza o potencial de geração de biogás (L_0) igual a 100 m³/t de resíduos a constante de decaimento (k) igual a 0,02 1/ano para regiões áridas com precipitação anual menor que 635 mm ou igual a 0,04 1/ano para regiões áridas com precipitação anual maior que 635 mm (GONÇALVES, 2007).

O modelo considera que todos os resíduos depositados no aterro possuem a mesma capacidade de gerarem o biogás sendo o seu potencial constante (BRAGA, 2011), partindo de uma equação (1) de primeira ordem para fazer as estimativas das emissões dos gases para o ano desejado (GONÇALVES, 2007).

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k L_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}} \quad \text{Equação (1)}$$

Q_{CH_4} : produção anual de metano para determinado ano (m^3/t); $i = 1$ - acréscimo por ano; n = ano do cálculo (ano inicial de abertura do aterro); $j = 0,1$ - acréscimo por ano; k = taxa de geração de metano (1/ano); L_0 = potencial de geração de metano (m^3/Mg); M_i = massa de resíduos recebidos no ano em cada seção (Mg); t_{ij} = ano, em cada seção, de recebimento da massa de resíduos (tempo, com precisão de decimais, por exemplo, 3,2 anos).

Após a simulação, o programa disponibiliza tabelas com as quantidades anuais da estimativa do gás metano, do dióxido de carbono e do biogás, como também de outros gases (butano, monóxido de carbono, entre outros). São utilizados como dados de entrada do modelo o ano de abertura e o ano de encerramento do aterro, a taxa de geração de metano, o potencial de geração de metano, a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados e a fração de metano presente no biogás.

TAXA DE GERAÇÃO DE METANO

O valor da taxa de geração de metano (k) depende das condições ambientais do local de disposição dos resíduos sólidos, como a temperatura média anual, o potencial de evapotranspiração e a precipitação média anual. De acordo com IPCC (2006), o valor de k , baseado nas informações de Maceió, é igual a $0,17 \text{ s}^{-1}$.

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE METANO

O potencial de geração de metano é um parâmetro que representa a quantidade de metano gerado a partir da quantidade de resíduos ao longo da vida útil do aterro. Ele depende da composição do resíduo e da fração de matéria orgânica presente (MENDES; SOBRINHO, 2005). O seu valor pode variar entre 0 e $300 \text{ m}^3/t$ e, especificamente no Brasil onde a matéria orgânica constitui aproximadamente da metade dos resíduos sólidos urbanos, entre 140 a $190 \text{ m}^3/t$ (CEPEA, 2004 *apud* GONÇALVES, 2007). O L_0 pode ser calculado através da equação 2:

$$L_0 = FCM \times COD \times COD_f \times F \times \frac{16}{12} \quad \text{Equação (2)}$$

L_0 : potencial de geração de metano do lixo (Gg de CH_4/Gg de RSU); FCM: fator de correção de metano (%); COD: carbono orgânico degradável (Gg de C/ Gg de RSU); COD_f : fração de COD dissociada (%); F : fração em volume de metano (%); $\frac{16}{12}$: fator de conversão de carbono em metano (Gg de CH_4/Gg de C).

A unidade do potencial de geração de metano para essa metodologia é dada em m^3 de CH_4/t de RSU. Assim, utilizou-se o peso específico do metano igual a $0,740 \text{ kg/m}^3$ (CEGAS, 2005 *apud* MENDES; SOBRINHO, 2005) como fator de conversão.

O parâmetro FCM é definido como sendo o fator de correção de metano e varia de acordo com o tipo da disposição final. Cada categoria recebe um valor, conforme mostra a Tabela 2 (IPCC, 1996).

Tabela 2: Valores de FCM.

Tipo de disposição	FCM
Gerenciado	1
Não gerenciado – profundo ($\geq 5m$ resíduo)	0,8
Não gerenciado – raso ($< 5m$ resíduo)	0,4
Não categorizado	0,6

A quantidade de COD depende da composição e da quantidade de carbono presente no resíduo. A composição do resíduo é definida pelo IPCC (1996), conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Teor de COD para cada componente do resíduo.

Componente	COD (% em massa)
Papel/Papelão	40
Resíduos de parques e jardins	17
Restos de alimento	15
Têxteis	40
Madeira	30

O COD pode ser calculado conforme equação 3.

$$\text{COD} = (0,40 \times A) + (0,17 \times B) + (0,15 \times C) + (0,40 \times D) + (0,30 \times E) \quad \text{Equação (3)}$$

COD: carbono orgânico degradável (Gg de C/Gg de RSU); A: fração de papel e papelão no lixo; B: fração de resíduos de parques e jardins; C: fração de restos de alimentos no lixo; D: fração de tecidos no lixo; E: fração de madeira no lixo.

Para a fração de carbono orgânico degradável (COD_p), adotou-se o valor de 0,50, de acordo com o sugerido pelo IPCC (2006).

O biogás gerado pelos resíduos sólidos nos aterros sanitários possui uma porcentagem de cerca de 50% de metano (IPPC, 2006). Portanto, o valor de F utilizado é igual a 0,5.

RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS GERADOS

A quantidade de RSU gerado ao longo dos 20 anos de vida útil do aterro sanitário de Maceió é estimada a partir da geração per capita de resíduos, considerada igual 0,71 kg de RSU/hab.dia (JUCÁ, 2002), e da estimativa populacional do município.

A estimativa do crescimento populacional do município de Maceió foi realizada a partir de dados dos censos fornecidos pelo IBGE (IBGE, 2000 *apud* CALHEIROS et al., 2004), para os anos de 1950, 1960, 1970, 1980, 1991, 1996, 2000 e 2010, e a partir desses dados, fez-se uma previsão da população urbana de Maceió baseada no método logístico, determinando a equação para o método. O ajuste da curva foi feito com uso do programa CurveExpert.

A curva de ajuste logístico (equação 4) da evolução da população (Tabela 4) de Maceió é dada por:

Tabela 4: Ajuste logístico para evolução da população de Maceió.

Ano	x	População (P)	Erro (%)
1950	0	88.781,00	-14,34
1960	10	157.808,00	2,94
1970	20	267.456,00	-0,73
1980	30	422.104,00	3,16
1991	41	626.244,00	-0,32
1996	46	719.501,00	-0,52
2000	50	789.952,00	-0,98
2010	60	938.907,00	0,66

$$A = 1188999,8$$

$$B = 12,39$$

$$C = 0,06400$$

$$R = 0,999612 \text{ (coeficiente de correlação)}$$

$$P = \frac{A}{1 + B e^{-Cx}}$$

Equação (4)

A partir dos dados obtidos com o ajuste da curva, foi feito um gráfico mostrado na Figura 1.

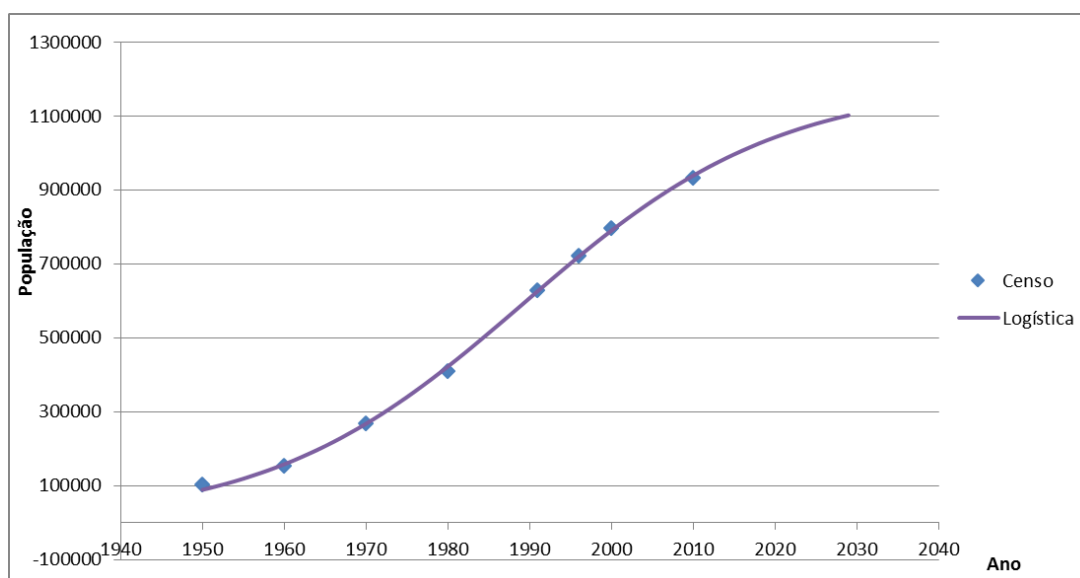


Figura 1: Ajuste da curva para o método logístico.

EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA DO BIOGÁS

O potencial energético do biogás está relacionado com a quantidade de metano presente no gás. A conversão do biogás em energia elétrica é feita a partir do uso de um motor de combustão interna acoplado a um gerador e possui uma eficiência que varia de 20 a 50%.

A estimativa da produção de energia do biogás gerado pelos resíduos sólidos do município de Maceió pode ser calculada através da equação 5 (GONÇALVES, 2007).

$$P_{ot} = Q_{CH_4} \times PCI_{CH_4} \times E \times E_{cap} \times 0,8$$

Equação (5)

P_{ot} : potência gerada em kWh; Q_{CH_4} : vazão de metano (m^3/h); PCI_{CH_4} : poder calorífico inferior do metano (kWh/m^3); E : eficiência energética do conjunto motor-gerador (adimensional); E_{cap} : eficiência de captação (adimensional); 0,80: fator de operação do aterro adotado.

RESULTADOS

CÁLCULO DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS GERADOS

O cálculo da quantidade de RSU gerado no município de Maceió foi feito a partir da população para cada ano de vida útil do aterro sanitário e da geração per capita de RSU. Foi considerado que a geração per capita de RSU é igual a 0,71 kg de RSU/hab.dia (JUCÁ, 2002). A Tabela 5 mostra os resultados obtidos.

Tabela 5: Estimativas da população e da geração de RSU.

Ano	População	Geração per capita (kg/hab.dia)	RSU(Gg/ano)	RSU (t/ano)
2010	938.907,00	0,71	243,32	243.317,85
2011	951.312,00	0,71	246,53	246.532,60
2012	963.251,00	0,71	249,63	249.626,49
2013	974.723,00	0,71	252,6	252.599,48
2014	985.736,00	0,71	255,45	255.453,52
2015	996.295,00	0,71	258,19	258.189,86
2016	1.006.407,00	0,71	260,81	260.810,39
2017	1.016.082,00	0,71	263,32	263.317,54
2018	1.025.325,00	0,71	265,71	265.712,96
2019	1.034.150,00	0,71	268	268.000,08
2020	1.042.568,00	0,71	270,18	270.181,48
2021	1.050.589,00	0,71	272,26	272.260,19
2022	1.058.226,00	0,71	274,24	274.239,30
2023	1.065.491,00	0,71	276,12	276.122,05
2024	1.072.397,00	0,71	277,91	277.911,74
2025	1.078.957,00	0,71	279,61	279.611,69
2026	1.085.183,00	0,71	281,23	281.225,26
2027	1.091.089,00	0,71	282,76	282.755,82
2028	1.096.688,00	0,71	284,21	284.206,71
2029	1.101.992,00	0,71	285,58	285.581,25
2030	1.107.014,00	0,71	286,88	286.882,72

ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE METANO PRODUZIDO

Para a estimativa da quantidade de metano gerado pelos resíduos sólidos no aterro sanitário de Maceió através do programa LandGEM, foram utilizados como dados de entrada os descritos a seguir:

- Ano de abertura do aterro (2010) e ano de encerramento (2030);
- Taxa de geração de metano (k): $0,17 \text{ ano}^{-1}$;
- Potencial de geração de metano (L_0): $68,29 \text{ m}^3/\text{Mg}$;
- Quantidade de resíduos sólidos gerados no município ao longo dos anos em Mg;
- Foi considerado que o biogás gerado é composto por 50% de metano;
- Foi considerado que a concentração dos compostos orgânicos não-metano (NMOC) é de 4 ppm (parte por milhão).

Os resultados obtidos após a simulação do programa podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6: Estimativa da geração de metano através do programa LandGEM.

Ano	CH ₄ (Mg/ano)	CH ₄ (Gg/ano)	CH ₄ (m ³ /ano)
2010	0	0	0
2011	1.747,82	1,75	2.619.835,87
2012	3.245,49	3,25	4.864.712,84
2013	4.531,24	4,53	6.791.948,90
2014	5.637,34	5,64	8.449.900,78
2015	6.591,02	6,59	9.879.386,20
2016	7.415,26	7,42	11.114.855,36
2017	8.129,47	8,13	12.185.392,82
2018	8.750,03	8,75	13.115.562,40
2019	9.290,78	9,29	13.926.105,52
2020	9.763,42	9,76	14.634.557,96
2021	10.177,84	10,18	15.255.741,87
2022	10.542,41	10,54	15.802.194,54
2023	10.864,20	10,86	16.284.526,84
2024	11.149,20	11,15	16.711.725,49
2025	11.402,51	11,4	17.091.407,70
2026	11.628,42	11,63	17.430.035,80
2027	11.830,61	11,83	17.733.097,96
2028	12.012,18	12,01	18.005.260,56
2029	12.175,79	12,18	18.250.496,53
2030	12.323,69	12,32	18.472.193,39
2031	12.457,82	12,46	18.673.244,33
2032	10.510,23	10,51	15.753.959,25
2033	8.867,11	8,87	13.291.061,14
2034	7.480,87	7,48	11.213.200,66
2035	6.311,35	6,31	9.460.182,88
2036	5.324,66	5,32	7.981.223,45
2037	4.492,23	4,49	6.733.477,42
2038	3.789,94	3,79	5.680.797,99
2039	3.197,44	3,2	4.792.689,40
2040	2.697,56	2,7	4.043.423,42
2041	2.275,84	2,28	3.411.294,08
2042	1.920,05	1,92	2.877.988,79
2043	1.619,87	1,62	2.428.057,89
2044	1.366,63	1,37	2.048.467,01
2045	1.152,98	1,15	1.728.219,55
2046	972,73	0,97	1.458.038,03
2047	820,66	0,82	1.230.095,38
2048	692,36	0,69	1.037.788,20
2049	584,12	0,58	875.545,39
2050	492,8	0,49	738.666,84

Ano	CH ₄ (Mg/ano)	CH ₄ (Gg/ano)	CH ₄ (m ³ /ano)
2051	415,76	0,42	623.187,22

Continuação da Tabela 7: Estimativa da geração de metano através do programa LandGEM.

O programa também gera os resultados para a estimativa de emissão de metano em forma de gráfico (Figura 2).

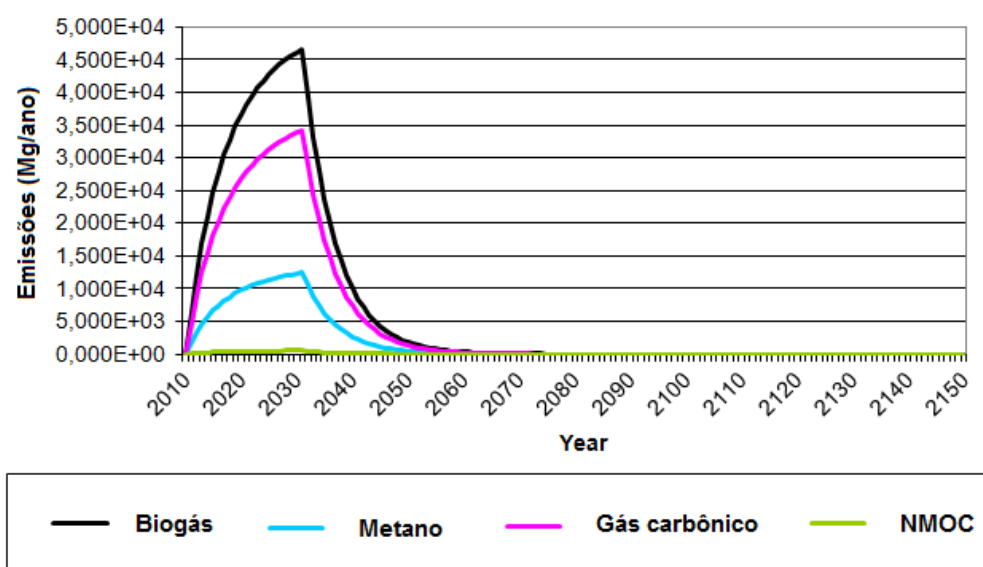


Figura 2: Produção de gases no aterro sanitário de Maceió em Mg/ano.

O pico de geração máxima de metano ocorre no ano de 2031, um ano após o fechamento do aterro, sendo igual a 18.673.244,33 m³.

O programa considera que a geração de metano vai crescendo com o passar dos anos à medida que mais resíduos sólidos são depositados no aterro sanitário, até atingir um pico de geração máxima de metano próximo ao ano de encerramento do aterro e decair continuamente.

O método utilizado no estudo foi elaborado pela EPA (2005) a partir de dados observados nos aterros sanitários dos Estados Unidos, podendo gerar estimativas que não sejam fieis à realidade de outros aterros sanitários construídos em diferentes partes do mundo. Entretanto, os dados de entrada para o cálculo das estimativas de metano foram baseados nas características do local de disposição dos resíduos sólidos e, portanto, pode ser empregado para estimativas de geração de metano no aterro sanitário do município de Maceió.

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para a estimativa da geração de energia elétrica pelos resíduos sólidos urbanos depositados no aterro sanitário de Maceió, foram utilizados os seguintes dados: Estimativa do metano emitido no aterro sanitário; PCI = 10,5 kWh/m³ (LMOP, 2004 *apud* GONÇALVES, 2007); E = 30%; E_{cap} = 80%.

A partir dos dados obtidos com o modelo LandGEM e da equação 7, foi calculado o potencial de geração de energia elétrica e construído o gráfico (Figura 3) com os resultados.

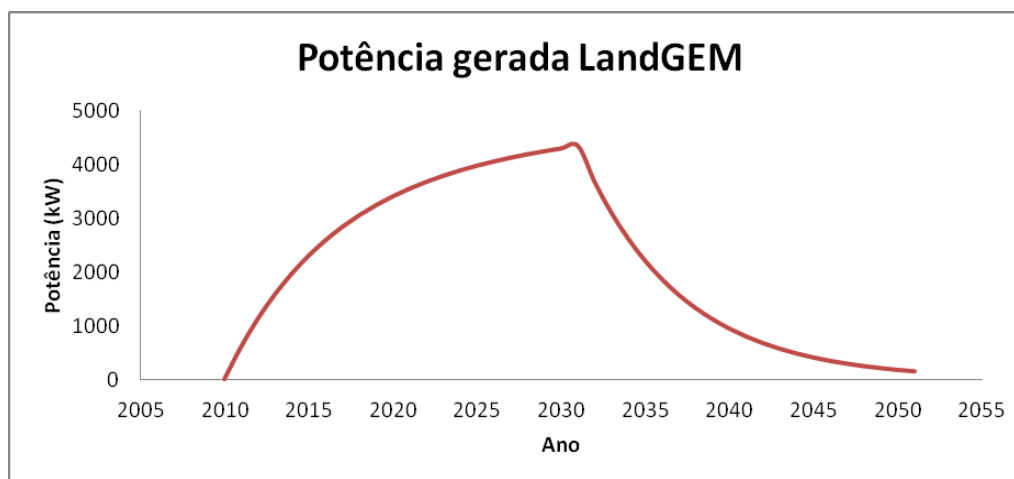


Figura 3: Potência gerada pelos RSU utilizando o método LandGEM para estimativa de metano.

A situação descrita na Figura 3 apresenta uma potência máxima de 4.357,09 kW para o ano de 2031. O ponto máximo da curva corresponde ao último ano de deposição de resíduos sólidos no aterro, sendo o seu decaimento regido pela taxa geração de metano (k), relacionada com a decomposição da matéria orgânica ao longo do tempo.

Durante os cinco primeiros anos de geração de metano no aterro sanitário, a produção de energia elétrica é crescente com uma média de 1.521,60 kW, em virtude da contínua deposição dos resíduos no aterro sanitário.

Mesmo após o encerramento do aterro sanitário ainda existe a geração de metano devido à degradação da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos, podendo ser aproveitado na geração de energia elétrica. Para o período entre 2011 (ano inicial de geração de metano) e 2051, a geração de energia elétrica calculada é igual a 89.763,23 kW.

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2013), do Ministério de Minas e Energia, o consumo de energia por habitante para a região nordeste é de 1.397 kWh/ano, referente ao ano de 2012. Quando relacionado ao número de pessoas que poderiam ser abastecidas pela energia elétrica gerada pelos resíduos sólidos do aterro sanitário de Maceió, 47.053 habitantes poderiam usufruir dessa energia durante os cinco primeiros anos de geração de metano no aterro, 387.642 habitantes durante a vida útil do aterro e, quando considerado um prolongamento de 21 anos, 555.157 habitantes.

CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou o potencial de geração de energia elétrica pelos resíduos sólidos urbanos dispostos no aterro sanitário de Maceió através do programa LandGEM.

A partir do método de estimativa de metano utilizado, é possível perceber que o aterro sanitário de Maceió possui um grande potencial de geração de metano, chegando a gerar aproximadamente 269 milhões de m³ durante 41 anos de aproveitamento, podendo ser utilizado na geração de energia elétrica.

O programa LandGEM apresentou resultados realistas uma vez que essa metodologia considera o fator tempo, a taxa de geração de metano e as características da região, como o índice pluviométrico e temperatura média anual.

A utilização do metano na geração de energia elétrica se mostrou bastante promissora, uma vez que o potencial energético dos resíduos sólidos chegou a aproximadamente 63 mil kW ao longo da vida útil do aterro, podendo chegar a 90 mil kW quando considerado um prolongamento de 21 anos.

A geração de energia no aterro sanitário de Maceió através do biogás é uma fonte renovável e limpa que pode gerar receitas para o município. Além disso, sob o aspecto ambiental e social, a produção de energia trará

benefícios e evitará a emissão de gases que contribuem para o efeito estufa, como também trará uma maior qualidade de vida à população, gerando empregos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA, J. Previsão da produção de biogás em aterros de resíduos sólidos urbanos. Coimbra, 2011. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica-Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra 2011.
- CABRAL, A. E. B. Considerações sobre resíduos sólidos. Notas de aula. Fortaleza, 2010.
- CALHEIROS, S. Q. C. (Org.). Gerenciamento Integrado para Transferência e Destino Final dos Resíduos Sólidos Urbanos de Maceió. Relatório Final. Grupo de Estudos de Resíduos Sólidos e Recuperação de Áreas Degradadas. Universidade Federal de Alagoas. 2004.
- ELETROBRAS – Programas e Fundos Setoriais – Proinfra. Disponível em: <<http://www.elektrobras.com/>>. Acessado em: 12 dez. 2014
- EPA - U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2005). *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/>>. Acessado em: 21 mai. 2014.
- GONÇALVES, A.T.T. Potencialidade energética dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais do município de Itajubá – MG. Itajubá, 2007. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá 2007.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2000). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/>>. Acessado em: 14 mai. 2014.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2008). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/> >. Acessado em: 4 mai. 2014.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013). Pesquisa de Informações Básicas Municipais. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acessado em: 15 mai. 2014.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (1996). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual*. Disponível em: < <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>>. Acessado em: 18 ago. 2014.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acessado em: 18 ago. 2014.
- JUCÁ, J. F. T. Relatório Final: Diagnóstico de resíduos sólidos do estado de Alagoas.
- MACHADO, S.; CARVALHO, M.; FIALHO, J.; SANTOS, A. Centro de Tratamento de Resíduos. Relatório Final: Caracterização dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Maceió. Maceió, 2012.
- MENDES, L.; SOBRINHO, P. Métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário. 2005.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – Anuário Estatística de Energia Elétrica 2013. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/>>. Acessado em: 12 dez. 2014.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. São Paulo, 2010.
- SLUM – Superintendência de limpeza urbana de Maceió. Maceió, 2014.
- TAVARES, J. C. L. Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Maceió. Maceió, 2008. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento-Universidade Federal de Alagoas 2008.
- TENORIO, D.; CAMPOS, R.; PERICLES, C. Enciclopédia Municípios de Alagoas. Maceió, 2008. 531p.