

GERAÇÃO DE METANO UTILIZANDO PARÂMETROS CINÉTICOS ESTIMADOS PARA ATERRO SANITÁRIO EM CAMPINA GRANDE-PB

Maria Josicleide Felipe Guedes¹

Francisco Gleson dos Santos Moreira²

Luís Antônio Oliveira Nunes³

Rosires Catão Curi⁴

Veruschka Escarião Dessoles Monteiro Monteiro⁵

^{1,2,3,4,5} Grupo de Geotecnia Ambiental (GGA), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande – PB, Brasil, mjosicleide@ufersa.edu.br
glesongm@gmail.com; luisoliveiranunes@hotmail.com
rosirescuri@yahoo.com.br; veruschkamonteiro@hotmail.com

Introdução

No âmbito do gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) os aterros sanitários se configuram como uma tecnologia ambientalmente adequada para a disposição final dos RSU. Nesse contexto, um Aterro Sanitário em Campina Grande (ASCG), implantado no ano de 2015, trata aproximadamente 500 tonRSU.dia⁻¹, dos quais mais de 95% são provenientes do município de Campina Grande - PB. Esses resíduos apresentam um elevado percentual de Material Biodegradável (MB), superior a 60%, a exemplo de restos de comida, resíduos de poda, têxteis sanitários, papel e papelão etc. (ECOSAM, 2014; ARAÚJO NETO, 2016), caracterizando-se como um cenário favorável à geração de biogás.

O biogás gerado pela decomposição anaeróbia do MB é formado, principalmente, por metano e dióxido de carbono, com composição de 45-60% de CH₄ e 40-60% de CO₂ (TCHOBANOGLIOUS et al., 1983). Para subsidiar projetos de aproveitamento energético do CH₄, no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), faz-se necessário conhecer a geração de biogás no ASCG. A geração de biogás tem sido amplamente estimada por meio de modelos matemáticos de primeira ordem, baseados na hipótese de que a formação de biogás, a partir de um determinado montante de resíduos, decai exponencialmente com o tempo. Esses modelos apresentam dois parâmetros principais: i) potencial de geração de CH₄ (L) e constante de decaimento (k). A determinação de L pode ser realizada por meio de ensaios do Potencial Bioquímico de Metano (BMP), modelos matemáticos cinéticos e medidas de geração de CH₄ em aterros. A obtenção de k depende do monitoramento da biodegradação de todo o resíduo depositado no aterro, o que é de difícil mensuração, uma vez que este tempo compreende décadas (CANDIANI, 2011; FEI et al., 2016).

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi determinar a geração de metano para um Aterro Sanitário em Campina Grande (ASCG) por meio da utilização dos parâmetros cinéticos potencial de geração de metano (L) e constante de decaimento (k).

Material e Métodos

Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Os resíduos utilizados neste estudo foram oriundos de duas células de um ASCG. Uma amostra foi retirada de uma célula em operação (resíduos frescos) com o auxílio de uma retroescavadeira, em diferentes pontos da frente de operação dessa célula, que continham resíduos de até 3 dias. A outra amostra foi proveniente de uma célula com idade de 2 anos, coletada de um ponto de sua base. Também com o auxílio de uma retroescavadeira foi retirada a camada de cobertura de solo compactado e, posteriormente, a amostra de RSU. Os resíduos coletados nessa célula passaram por uma triagem, descartando-se aqueles misturados com solo.

Após a coleta, os resíduos foram encaminhados a um galpão, no aterro, formando duas pilhas de resíduos, frescos e com 2 anos. Os resíduos passaram por um processo de homogeneização e quarteamento, segundo a NBR 10.007 (ABNT, 2004), para retirada de amostras, sendo segregadas em função das categorias: i) Material Biodegradável Fresco (MBfresco) e ii) Material Biodegradável com 2

anos (MB2anos). A composição gravimétrica utilizada para compor as amostras foi a obtida por Araújo Neto (2016) para Campina Grande-PB, a qual indicou um percentual de material putrescível de 46,5%; papel e papelão de 11,0% e têxteis sanitários de 7,9%; totalizando uma fração de MB de 65,4%. Essa composição foi adotada visto que mais de 95% dos RSU dispostos no ASCG são provenientes do município de Campina Grande (ECOSOLO, 2016). Foram determinadas a umidade e o teor de Sólidos Voláteis (SV) para as duas categorias de resíduos estudados, de acordo com APHA (2012).

Determinação do potencial de geração de CH₄ (L) e constante de decaimento (k)

O potencial de geração de CH₄ (L) foi determinado pela metodologia da aproximação simplificada, que considera os materiais com maior potencial para geração de biogás sendo: resto de comida, papel e papelão, restos de jardim, tecidos, couro e madeira (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993). Por esse método, L, em Nm³CH₄.ton⁻¹ de RSU, é dado pela Eq. (1):

$$L = \sum_{i=1}^n c_i b_i f_i \quad (1)$$

Onde: c_i é a máxima capacidade estequiométrica que uma tonelada do material, na base seca, pode decompor-se para gerar CH₄, em Nm³CH₄.ton⁻¹RSU; b_i é a fração mássica que efetivamente sofre o processo de biodegradação e f_i é a fração mássica do i -ésimo componente presente na massa total de resíduos.

Na Eq. (1) as frações mássicas f_i referem-se à massa seca em relação à massa total incluindo a umidade. Entretanto, é comum as medidas das frações mássicas na base úmida (h_i), isto é, massa úmida em relação à massa total incluindo a umidade; caso da composição gravimétrica determinada por Araújo Neto (2016). Sendo assim, a fração mássica f_i foi corrigida de acordo com a Eq. (2):

$$f_i = h_i (1 - f_{w_{categoria}}) \quad (2)$$

Onde: $f_{w_{categoria}}$ é a fração mássica de água da categoria do RSU.

Na Tabela 1 são apresentados os valores de c_i e b_i utilizadas neste trabalho.

Tabela 1. Valores da capacidade máxima estequiométrica de geração de CH₄ e a fração mássica que efetivamente sofre o processo de biodegradação para diversas categorias de materiais

Classes de materiais	C_i (Nm ³ CH ₄ .ton ⁻¹ RSU)	b_i
Resto de comida	505,0	0,64
Papel	418,5	0,40
Papelão	438,7	0,40

Fonte: Tchobanoglous et al. (1993); Machado et al. (2009).

Para os resíduos frescos, provenientes da célula em operação, o potencial de geração de CH₄ (L(0)) foi determinado utilizando-se a Eq. (1). No caso dos resíduos com 2 anos de idade, foi acrescido um fator de correção a L, que relaciona o teor de sólidos voláteis num determinado instante SV(t) e o teor inicial SV(0). Esse fator foi utilizado para corrigir a fração MB das categorias de resíduos no tempo (MACHADO et al., 2009). De posse do potencial de geração de CH₄ para o resíduo fresco (L(0)) e para o resíduo de 2 anos (L(t)), a constante de decaimento (k) foi determinada pela Eq. (3):

$$\frac{L(t)}{L(0)} = e^{-k.t} \quad (3)$$

Estimativa da geração de metano para um Aterro Sanitário em Campina Grande (ASCG)

Dispondo dos parâmetros L e k, determinados para o ASCG, O fluxo de resíduos no aterro foi estimado a partir de dados populacionais, considerando: i) ano de início (2015) e fechamento estimado (2040) do aterro; ii) taxa de crescimento populacional de 0,81% (ECOSAM, 2014); iii) população atual

de 461.387 hab., para os municípios que dispõem RSU no ASCG (IBGE, 2017); iv) taxa de geração de RSU de 0,388 ton.hab.ano⁻¹, determinado por meio do fluxo de resíduos conhecido para o ano de 2016 no ASCG (ECOSOLO, 2016) e v) taxa de coleta de resíduos, de 95%.

Delimitou-se três cenários, denominados de otimista, moderado e pessimista, de acordo com a eficiência da coleta e queima do biogás. No cenário otimista, a eficiência da coleta e queima de biogás foi de 75 e 95%, respectivamente, valores sugeridos pela CETESB (2006). Para os cenários moderado e pessimista, os percentuais foram reduzidos para 60 e 80% e 45 e 65%, respectivamente. Em cada cenário foram realizadas duas simulações (A e B), utilizando valores de L e k determinados neste estudo para o ASCG, bem como parâmetros default de L e k sugeridos pela CETESB (2006).

Resultados e Discussão

Na Tabela 2 são apresentadas as características do MBfresco e MB2 anos, bem como os valores de L determinados por meio do método da aproximação simplificada.

Tabela 2. Caracterização das categorias de resíduos

Categoria	Umidade (%) [*]	SV (%)	SV (g)	L (Nm ³ CH ₄ .ton ⁻¹ RSU)
MBfresco ^{**}	55,32	70,68	15,87	75,79
MB2anos ^{**}	54,15	75,71	10,36	41,67

*f_{wcategoria}; **categoria MB incluiu as frações de material putrescível, papel e papelão e têxteis sanitários

As umidades dos resíduos em ambas as categorias apresentaram valores próximos (Tabela 2). Os valores de SV foram expressos, também, em unidade de massa, visto o teor de sólidos voláteis para os resíduos com 2 anos ter sido superior ao dos resíduos frescos. Segundo Firmo (2013), os valores de SV em percentual podem induzir a um equívoco de que houve aumento desse teor nos resíduos com maior idade. De fato, em MB2anos, houve uma redução no valor de SV em torno de 35% em virtude do processo de biodegradação.

O valor de L para MBfresco foi de 75,79 Nm³CH₄.ton⁻¹RSU, decaindo para 41,67 Nm³CH₄.ton⁻¹RSU em MB2anos (Tabela 2); reduzindo o potencial de geração de CH₄ em torno de 45%. O parâmetro L para MBfresco foi próximo ao determinado por Candiani (2011), de 85,80 Nm³CH₄.ton⁻¹RSU, obtido para uma célula experimental na Central de Tratamento de Resíduos (CTR-Caieiras), São Paulo-SP. No Aterro Sanitário Metropolitano Centro (ASMC), Salvador-BA, o valor de L para o resíduo fresco foi de 65,90 Nm³CH₄.ton⁻¹RSU, decrescendo para 38,53 Nm³CH₄.ton⁻¹RSU quando considerado resíduos com 1 ano (MACHADO et al., 2009). Por meio dos resíduos analisados neste estudo foi obtida uma constante de decaimento k de 0,30 ano⁻¹. Machado et al. (2009) obteve um valor de 0,21 ano⁻¹ para k, quando consideradas amostras de resíduos com até 9 anos de idade do ASMC.

Os resultados obtidos para as simulações nos cenários otimista, moderado e pessimista, em termos de geração e aproveitamento de CH₄ para o ASCG são apresentados na Tabela 3.

Em todas as simulações realizadas (Tabela 3), a estimativa da vazão máxima e do volume acumulado de CH₄, bem como da potência máxima, foi superestimada quando considerados os parâmetros da CETESB (2006). Nas simulações com os valores de L e k determinados neste estudo, mesmo no cenário pessimista, a geração de CH₄ no ASCG seria suficiente para o atendimento de 13.222 residências com consumo médio de energia de 160 kWh.mês⁻¹.

Tabela 3. Geração de metano para os cenários simulados

Cenários	Simulações	Q _{máx.} (10 ³ m ³ CH ₄ .ano ⁻¹) ³	V _{acumulado} (10 ³ m ³)	P _{máx.} (MW)	P _{disponível} (MW) ⁴	N _o de casas ⁵
Otimista	1-A ¹	13.200	318.083	14,9	4,9	22.136
	1-B ²	15.715	425.981	17,7	5,8	26.296
Moderado	2-A ¹	10.560	254.468	11,9	3,9	17.679
	2-B ²	12.572	340.784	14,2	4,7	21.096
Pessimista	3-A ¹	7.920	190.851	8,9	2,9	13.222
	3-B ²	9.429	255.591	10,6	3,5	15.748

¹L e k determinados neste estudo: 75,79 Nm³CH₄.ton⁻¹RSU e 0,30 ano⁻¹; ²L = 120 Nm³CH₄.ton⁻¹RSU e k = 0,08 ano⁻¹ (CETESB, 2006); ³ para o ano de 2040; ⁴ utilizando um motor de combustão interna a pistão, com eficiência de 33%; ⁵ considerando um consumo médio mensal de 160 kWh.mês⁻¹ (EPE, 2017).

Conclusão

Os Resíduos Sólidos Urbanos provenientes de um Aterro Sanitário em Campina Grande-PB apresentaram características favoráveis à geração de biogás. Nesse sentido, os valores dos parâmetros cinéticos potencial de geração de metano (L igual a $75,79 \text{ Nm}^3\text{CH}_4.\text{ton}^{-1}\text{RSU}$) e constante de decaimento (k de $0,30 \text{ ano}^{-1}$), determinados para as condições locais em estudo, resultaram, no cenário moderado (com eficiência de coleta e queima de biogás de 60 e 80%, quando considerada uma escala de 75 a 45% e 95 a 65%, respectivamente), em uma potência disponível de 3,8 MW, suficiente para atender uma população de mais de 17 mil residências.

Referências

- ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 10.004: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 77p. (2004)
- APHA. American Public Health Association. Standard methods for examination of water and wastewater. 20 th Edition, APHA, AWWA and WEF. 2012.
- ARAÚJO NETO, C. L. Análise do comportamento dos resíduos sólidos urbanos e desenvolvimento de modelos estatísticos para previsão das deformações de aterros sanitários. Dissertação (Mestrado em Eng. Civil e Ambiental), UFCG, Campina Grande-PB. 2016.
- CANDIANI, G. Estudo da geração de metano em uma célula de aterro sanitário Santo André – SP. Tese (Doutorado em Energia), Universidade Federal do ABC, Santo André-SP. 2011.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Biogás: geração e uso energético: Aterro. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://biogas.cetesb.sp.gov.br/software/>.
- ECOSAM. Consultoria em Saneamento Ambiental Ltda. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Campina Grande-PB. João Pessoa. 2014.
- ECOSOLO. Gestão Ambiental de Resíduos Ltda. Dados do monitoramento do Aterro Sanitário de Campina Grande. (Documento impresso). 2016.
- EPE. Empresa Brasileira Energética. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, Rio de Janeiro. 2017.
- FEI, X.; ZEKOS, D.; RASKIN, L. Quantification of parameters influencing methane generation due to biodegradation of municipal solid waste in landfills and laboratory experiments. *Waste Management*, v.55, p.276–287. 2016.
- FIRMO, A. L. B. Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 2013.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. 2017. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=25&search=paraiba>.
- MACHADO, S. L., CARVALHO, M. F.; GOURC, J. P.; VILAR, O. M.; NASCIMENTO, J. C. F. Methane generation in tropical landfills: Simplified methods and field results. *Waste Management*, v.29, p.153–161. 2009.
- TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VINIL, S. Integrated solid waste management: engineering principles and management issues. New York: MacGraw-Hill. 1993.