

Dimensionamento de Diferentes Cenários na Destinação de Resíduos Sólidos no Aterro Sanitário – CPGRS¹

Amanda Maria Coura Dias Costa², Ana Michelle Gomez Constante², Maísa Mello Ribeiro², Naja Scarlat Honorio² e Silva e Nycollas Matheus de Oliveira²

¹Aceito para Publicação no 3º Trimestre de 2016.

²Acadêmicas do Curso de Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Itajubá-UNIFEI, ivanfelpedeice@hotmail.com.

Resumo

Este artigo apresenta os resultados obtidos através dos programas WARM e LandGEM, na previsão da geração de gases do efeito estufa (GEE) e biogás, e uma conclusão sobre a eficiência ambiental e econômica do aterro sanitário do consórcio CPGRS, responsável pelos resíduos sólidos dos municípios de João Monlevade, Bela Vista de Minas, Rio Piracicaba e Nova Era, em Minas Gerais.

Palavras-chave: Resíduos sólidos, WARM, LandGEM.

Abstract

This paper shows the results obtained by WARM and LandGEM programs, to forecast greenhouse and biogas generation, and a environmental and economic conclusion about the CPGRS landfill, responsible for solid waste of the municipalities of João Monlevade, Bela Vista de Minas, Rio Piracicaba e Nova Era, Minas Gerais.

Keyword: Solid waste, WARM, LandGEM

Introdução

Com o crescente aumento da produção, consumo e conseqüentemente da geração de resíduos sólidos, tem-se também, o aumento na geração de biogás, oriundo do processo de decomposição, predominantemente anaeróbia. Os gases produzidos nesse processo são altamente inflamáveis e energéticos, além de serem grandemente poluidores e contribuir para o aumento do efeito estufa, principalmente, no último caso, o metano (CH₄).

Além do expressivo crescimento da geração desses resíduos, observam-se, ainda, ao longo dos últimos anos, mudanças significativas em sua composição e características e o aumento de sua periculosidade. Essas mudanças decorrem especialmente dos modelos de desenvolvimento pautados pela obsolescência programada dos produtos, pela descartabilidade e pela mudança nos padrões de consumo baseados no consumo excessivo e supérfluo. (JACOB e BESEN, 2011, p. 136)

Devido ao seu alto poder calorífico, a utilização desses gases pode ser alternativa, que além de produzir energia, fazem com que a emissão de gases contribuintes para o efeito estufa, seja atenuada, uma vez que o metano, grande contribuinte para esse processo, é consumido e o produto liberado é o CO₂. A geração de energia ou a recuperação desta, é de suma importância, uma vez que essa decomposição, que produz biogás é considerada uma energia renovável pois a geração de resíduos é contínua.

Para se estimar a geração de energia e/ou a quantidade de biogás gerado em aterros faz-se uso de alguns modelos que estimam a geração de metano, utilizando dados como massa de resíduos sólidos, taxa de geração de metano, precipitação, entre outros.

No presente trabalho, fez-se uso de dois softwares, um para estimar a geração de gases de efeito estufa (GEE), WARM©¹ e um para estimar a geração de biogás em aterro sanitário LandGEM©⁹. Segundo BARROS (2013), O WARM©¹, modelo de resolução de resíduo foi criado pela agência de proteção ambiental dos EUA para estimar a redução de gases de efeito estufa a partir de várias práticas de gestão de diferentes resíduos. Esse modelo faz suas estimativas com base em diferentes gestões de resíduos sólidos, como uma reciclagem, redução na fonte, ou até mesmo combustão, entre outras.

Ele calcula a emissão desses gases através da gravimetria, ou seja, para diferentes tipos de materiais, tornando ampla a gama de cenários que podem ser utilizados.

Ainda de acordo com BARROS (2013), na estimativa de produção de biogás temos o LandGEM⁹ uma ferramenta na interface do Microsoft® Excel®, que faz uso de padrões regulamentados nos EUA. O modelo permite através de seus componentes, o cálculo do ano de fechamento do aterro, quando se insere sua capacidade. Os principais gases estimados pelo modelo são: CH₄, CO₂, compostos orgânicos não metano (NHOC) e poluentes individuais de aterro sanitários. O trabalho fez uso dos dois softwares, e podem-se estimar cenários, bem como compará-los para ver a maior eficiência entre os processos.

Materiais e metodologia

Para auxiliar a previsão de geração de biogás em aterro sanitário e dos gases de efeito estufa há vários modelos e softwares, no desenvolvimento da presente pesquisa utilizou-se de três ferramentas computacionais, que foram: o Excel, o Warm e o LandGEM.

Para efeitos da análise de gases efeito estufa é estabelecida a área de estudo que inclui os municípios de João Monlevade, Bela Vista de Minas, Rio Piracicaba e Nova Era; baixo a construção da associação pública chamada Consórcio Público de Gestão de Resíduos Sólidos, com o fim do gerenciamento adequado de resíduos sólidos domiciliares, comerciais e os provenientes de postos de saúde. O aterro sanitário se encontra no município de João Monlevade e apresenta uma área total de 25 ha e 5 ha de área construída. Está localizado a 5,5 km do centro de João Monlevade, 15 km de Bela Vista de Minas, 20 km de Nova Era e 7 km de Rio Piracicaba (MATOS; DIAS, 2011, p. 510.).

Figura 1. Imagem satélite da ubicação do aterro sanitário de estudo



Fonte: https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=zxGi8wcib_gk.k555-Ne9yoX0&hl=en_US

O processo foi dividido em três etapas, a projeção da população e a geração do índice per capita, a estimativa de reduções de gases efeito estufa com o software WARM e a previsão de geração de biogás no aterro com o software LandGEM.

1. Projeção da população

Na fundamentação do gerenciamento dos Resíduos Sólidos é necessário a realização da projeção da população e de quantidade de resíduo sólidos em um intervalo futuro de 20 a 30 anos. Essas estimativas são desenvolvidas por modelos matemáticos, que utilizam de alguns fatores como sociais, econômicos e geográficos para sua obtenção. A validação matemática considera uma saturação no crescimento depois de dado tempo, tal fenômeno pode vir a ocorrer em função da restrição territorial ou de ofertas de empregos, e a maioria dos modelos de crescimentos partem desse princípio.

Existem alguns tipos de modelo de crescimento como o logístico, exponencial e com taxa decrescente. Para a escolha do modelo ideal faz-se necessário conhecimento sobre a série histórica de dados da região de estudos. De início utilizou-se do modelo de crescimento logístico para todas as cidades do consorcio, no entanto no desenvolvimento do trabalho notou-se que para as cidades de Bela Vista e João Mondeleave que o crescimento observado não era condizente com a realidade, uma vez

que apresentava crescimento populacional ínfimo. Somente para estas cidades utilizou-se o modelo de crescimento com taxa decrescente, encontrando assim valores mais tangíveis.

A taxa de crescimento logístico é dada através da equação:

$$\frac{dN}{dt} = K_1 * P * \left(\frac{P_s - P}{P_s} \right)$$

Onde:

P_s : Coeficiente de saturação

P_0 , tamanho da população no tempo $t=0$

Utilizou-se das seguintes equações para cálculo do coeficiente de saturação (P_s) e obtenção da população ($P(t)$) estimada.

$$P_s = \frac{2 * P_0 * P_1 * P_2 - P_1^2 (P_0 + P_2)}{P_0 * P_1 - P_1^2}$$

Onde,

P_1 , tamanho da população no tempo $t=1$.

P_2 , tamanho da população no tempo $t=2$.

Para cálculo do coeficiente de regressão linear (K_d):

$$K_d = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \ln \left[\frac{P_0 (P_s - P_1)}{P_1 (P_s - P_0)} \right]$$

E por fim para obtenção da população estimada [$P(t)$]:

$$P(t) = \frac{P_s}{1 + e^{-K_d * (t - t_0)}}$$

Para desenvolvimento da projeção da população com taxa decrescente de crescimento utilizou-se das seguintes equações para cálculo do coeficiente de saturação (P_s) e obtenção da população ($P(t)$) estimada.

$$P_s = \frac{2 * P_0 * P_1 * P_2 - P_1^2 (P_0 + P_2)}{P_0 * P_1 - P_1^2}$$

Onde

P_1 , tamanho da população no tempo $t=1$.

P_2 , tamanho da população no tempo $t=2$.

Para cálculo do coeficiente de regressão linear (K_d):

$$K_d = -\ln \left[\frac{(P_5 - P_2)}{(P_5 - P_0)} \right] * \frac{1}{(t_2 - t_0)}$$

A taxa decrescente de crescimento é dada através da equação:

$$\frac{dN}{dt} = K_d * (P_5 - P)$$

E por fim para obtenção da população estimada [$P(t)$]:

$$P(t) = P_0 + (P_5 - P_0) * [1 - e^{-K_d * (t - t_0)}]$$

2. WARM©

O modelo foi usado para calcular uma possível redução de resíduos no aterro sanitário consorciado, estabelecendo uma linha base e designando dois cenários de alternativas na gestão de resíduos sólidos que inclui a redução na fonte, reciclagem, combustão, compostagem e destinação dos mesmos no aterro sanitário. As emissões líquidas de GEE são calculadas no software WARM conforme à equação (WARM, s.d.).

Emissões líquidas de GEE = Geração bruta de emissões de GEE - (aumento nos estoques de Carbono + emissões úteis evitadas de GEE)

Consideramos a composição gravimétrica atual que correspondera à composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados (linha base) tomados como base das informações do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) do Ministério das Cidades/Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, em sua publicação anual sobre o Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos. O ano-base para os dados é 2014 (BRASIL/MINISTERIO DAS CIDADES, 20016), e foi considerada a quantidade de resíduos sólidos coletadas para o ano mencionado anteriormente. Além disso, para o cenário atual se determino que a quantidade total de resíduos sólidos é disposta no aterro sanitário, enquanto para o cenário 1 se supõe que há preferência na redução de resíduos na fonte sendo o restante destinado para a reciclagem e para o aterro sanitário, e no cenário 2 que há preponderância de reciclagem com quantias

menores em aterro sanitário e redução na fonte. Logo, foram feitas as simulações com o WARM para os cenários hipotéticos.

3. *LANDGEM*

O modelo LandGEM foi utilizado para estimar as emissões de biogás proveniente do consorcio. Para a realização das estimativas foi inserido dos dados de ano de abertura e fechamento do aterro, parâmetros de índice de geração de metano, capacidade de geração de metano do resíduo, percentual de metano em relação ao volume de biogás e o total de resíduo depositado no aterro a cada ano de funcionamento.

Os parâmetros utilizados seguiram o padrão Clean Air Act(CAA) baseados em regulamentos federais CAA dos EUA e padrão de inventário baseado em fatores de emissões da Compilação de Fatores de Emissão de Poluentes do Ar da USEPA.

Resultados e discussão

Na Tabela 1 é representada a quantidade da população que se espera ter nos próximos anos, e o contagem de resíduos que vai ser gerados pela mesma, levando em consideração a geração per capita das cidades consorciadas que vai mudar em cada cidade de acordo com a quantidade diária de resíduos sólidos coletados em uma cidade dividida pela população atendida pelo serviço de asseio; por conseguinte podem ser alterados por fatores culturais, hábitos de consumo, padrão de vida e renda familiar que vai definir o poder de compra (CAMPOS, 2012, p. 172).

1. Projeção de Resíduos Sólidos Urbanos do CPGRS

Tabela 1. Projeção RSU

<p>Projeção de RSU CPGRS (Todas as cidades)</p>
--

Tempo (tn, anos)	População (Pn, habitantes)	Quantidade diária coletada de Resíduos Sólidos Urbanos (kg/d)	Quantidade anual coletada de Resíduos Sólidos Urbanos (kg/ano)	Quantidade anual coletada de Resíduos Sólidos Urbanos (t/ano)	Quantidade acumulada anual coetada de Resíduos Sólidos Urbanos (t/ano)
2016	116.561,34	50.096,46	18.285.207,92	18.285,21	18.285,21
2017	116.632,16	50.630,27	18.480.046,79	18.480,05	36.765,25
2018	116.690,95	51.164,04	18.674.873,06	18.674,87	55.440,13
2019	116.739,79	51.698,67	18.870.014,57	18.870,01	74.310,14
2020	116.780,42	52.234,92	19.065.747,17	19.065,75	93.375,89
2021	116.814,26	52.773,43	19.262.303,51	19.262,30	112.638,19
2022	116.842,49	53.314,74	19.459.880,42	19.459,88	132.098,07
2023	116.866,08	53.859,30	19.658.645,03	19.658,65	151.756,72
2024	116.885,82	54.407,51	19.858.739,78	19.858,74	171.615,46
2025	116.902,38	54.959,69	20.060.286,67	20.060,29	191.675,74
2026	116.916,30	55.516,14	20.263.390,74	20.263,39	211.939,14
2027	116.928,03	56.077,10	20.468.142,93	20.468,14	232.407,28
2028	116.937,94	56.642,80	20.674.622,55	20.674,62	253.081,90
2029	116.946,34	57.213,42	20.882.899,22	20.882,90	273.964,80
2030	116.953,49	57.789,14	21.093.034,56	21.093,03	295.057,83
2031	116.959,59	58.370,09	21.305.083,58	21.305,08	316.362,92
2032	116.964,81	58.956,43	21.519.095,80	21.519,10	337.882,01
2033	116.969,31	59.548,26	21.735.116,22	21.735,12	359.617,13
2034	116.973,20	60.145,72	21.953.186,12	21.953,19	381.570,32
2035	116.976,59	60.748,89	22.173.343,71	22.173,34	403.743,66
2036	116.979,54	61.357,88	22.395.624,65	22.395,62	426.139,28

2. WARM

Tabela 2. Resultados na Redução de GEE

Simulação	Operação	Cenário	Emissões totais de GEE (MTCE)	Emissões totais de GEE (MTCO2E)	Alteração total no uso energético (milhões de BTU)
Simulação 1	Geração e	Linha de base	112	412	5863

(cenário atual versus Cenário 1)	gerenciamento de resíduos sólidos	Cenário 1	4770	17491	-254918
		Emissões incrementais de GEE	1692	6204	-195939
Simulação 2 (Cenário atual versus Cenário 2)	Geração e gerenciamento de resíduos sólidos	Linha de base	112	412	5863
		Cenário 2	7063	25898	-257091
		Uso incremental de energia	6951	25486	-262955

Os resultados ministrados pelo WARM©, são descritos na Tabela 2, são passíveis de auxiliar aos diferentes gestores para a formulação e desenho de cenários mais favoráveis de gerenciamento integrado de resíduos sólidos, para a diminuição de GEE e sobre todo o potencial energético que tem os aterros sanitários.

3. LandGEM

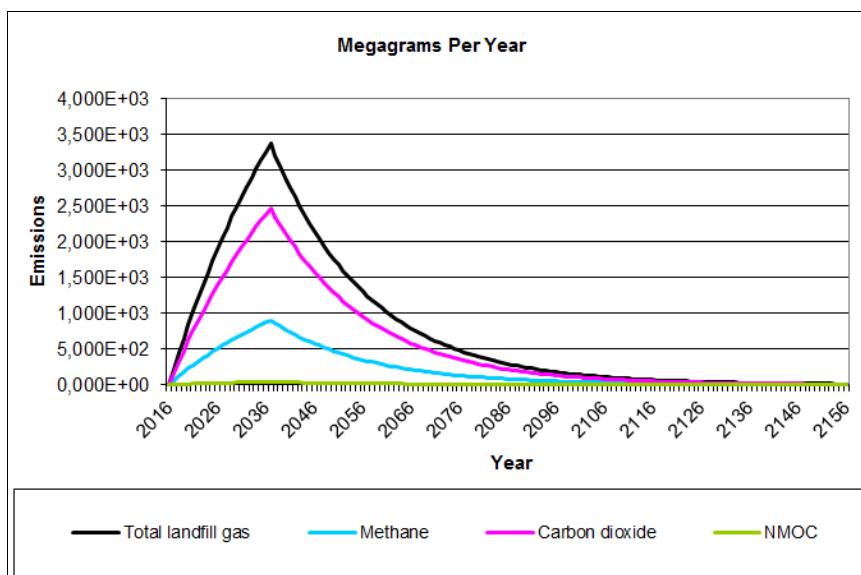
Tabela 3. Estimativa de Emissões de Gases

Ano	População (habitantes)	Quantidade e anual coletada de resíduos sólidos urbanos (t/ano)	Emissões			
			Gás total do aterro (t*ano ⁻¹)	Metano (t*ano ⁻¹)	Dióxido de carbono (t*ano ⁻¹)	NMOC (t*ano ⁻¹)
2016	116.561,34	18.285,21	-	-	-	-
2017	116.632,16	18.480,05	223,29	59,64	163,65	2,56
2018	116.690,95	18.674,87	438,07	117,01	321,06	5,03
2019	116.739,79	18.870,01	644,76	172,22	472,54	7,40
2020	116.780,42	19.065,75	843,75	225,37	618,37	9,69
2021	116.814,26	19.262,30	1.035,42	276,57	758,85	11,89
2022	116.842,49	19.459,88	1.220,15	325,91	894,23	14,01

2						
202						
3	116.866,08	19.658,65	1.398,28	373,50	1.024,78	16,05
202						
4	116.885,82	19.858,74	1.570,15	419,40	1.150,74	18,03
202						
5	116.902,38	20.060,29	1.736,08	463,73	1.272,35	19,93
202						
6	116.916,30	20.263,39	1.896,38	506,54	1.389,84	21,77
202						
7	116.928,03	20.468,14	2.051,34	547,94	1.503,41	23,55
202						
8	116.937,94	20.674,62	2.201,25	587,98	1.613,27	25,27
202						
9	116.946,34	20.882,90	2.346,36	626,74	1.719,62	26,94
203						
0	116.953,49	21.093,03	2.486,94	664,29	1.822,65	28,55
203						
1	116.959,59	21.305,08	2.623,23	700,69	1.922,54	30,12
203						
2	116.964,81	21.519,10	2.755,47	736,01	2.019,45	31,64
203						
3	116.969,31	21.735,12	2.883,86	770,31	2.113,55	33,11
203						
4	116.973,20	21.953,19	3.008,64	803,64	2.205,00	34,54
203						
5	116.976,59	22.173,34	3.129,99	836,05	2.293,94	35,94
203						
6	116.979,54	22.395,62	3.248,11	867,61	2.380,51	37,29

Ao inserir os dados no LandGEM©, é gerado o comportamento que vão ter os gases produzidos no aterro sanitário e que são injetados à atmosfera, os quais estão apresentados na Tabela 3, e de forma mais clara, são representados no Gráfico 1, onde se podem observar os picos de emissões, conferindo que a maioria no 2036 vão a ser emitidos com mais intensidade logo começa o decaimento das emissões, causado pelo fechamento do aterro.

Gráfico 1. Estimativa de emissões de gases do aterro sanitário, para o consórcio CPGRS.



Conclusão

A geração de gases de efeito estufa e biogás em aterros sanitários, sendo os mesmos geralmente queimados em flares dentro do próprio aterro, são grande foco de estudos, pois seu uso para a geração de energia é uma alternativa de grande valia tanto ambiental quanto econômica. O uso dos programas WARM e LandGEM estabelece uma forma eficiente de analisar o potencial emissor de GEE e consequentemente o potencial energético do aterro.

O artigo "*The electric energy potential of landfill biogas in Brazil*" (Barros et al, 2013), apresenta uma metodologia de análise sobre a eficiência econômica do uso do biogás gerado em aterros para geração de energia, e em resumo, constata que considerando o *payback*, a proposta seria viável para populações acima de 200 mil habitantes. Este não é o caso do aterro analisado neste artigo, em que a maior população é de 116.979 mil no ano de 2036. Contudo, o uso de biogás de aterros sanitários deve ser fortemente recomendado para consórcios e aterros de maior porte, como já vem sendo utilizado em regiões desenvolvidas como o Estados Unidos e a Europa, por ser um grande passo em direção a economia ambientalmente sustentável.

Referências

- MATOS, F; DIAS, R. A gestão de resíduos sólidos e a formação de consórcios intermunicipais. **Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v.4, n.3, p. 501-519, 2011. Disponível em: <<http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/viewFile/1935/1299>>. Acesso em: 20 abr. 2016
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-USEPA. Solid Waste and Emergency Response 5305W. **WARM BACKGROUND AND OVERVIEW**. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/background-and-overview10-28-10.pdf>> . Acesso em: 21 abr. 2016.
- BRASIL/MINISTERIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília: MCIDADES.SNSA, p., gráficos, tabelas, 2016. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2014>>. Acesso em: 21 abri. 2016.
- CAMPOS, H. K. T. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, June 2012, v. 17, n. 2, p. 171-180. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v17n2/a06v17n2>>. Acesso em: 21 abri. 2016.
- BARROS, Regina Mambeli; TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio; SILVA, Tiago Rodrigo da. The electric energy potential of landfill biogas in Brazil. **Energy Policy**, Estados Unidos, p.150-164, 5 nov. 2013.
- BARROS, R. M. Tratado sobre Resíduos Sólidos. Gestão, Uso e Sustentabilidade. Rio de Janeiro: Ed Interciência; Minas Gerais : Acta,2012. 374p

JACOB, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados** 25, São Paulo, p.135-158, 23 fev. 2011.