

PROJETO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS PARA O CONSÓRCIO DAS CIDADES DE PONTA GROSSA E CARAMBEÍ, NO PARANÁ

Aline Carvalho Ribeiro¹, Ana Clara Salles Pereira², Cássia Natucci Cruz³, Fernando Henrique da Silva Fernandes⁴, Hugo Maciel da Cruz⁵, Mylena Sales Moreira⁶, Patricia Ferreira⁷, Rhayenne Gabriela da Silva Vasconcelos⁸, Thayla Francisca Vilas Boas⁹

¹Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá Itajubá, Brasil
alineacr30@gmail.com

²Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá Itajubá, Brasil
anaclarasalles123@gmail.com

³Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá Itajubá, Brasil
natucci.cruz@gmail.com

⁴Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá Itajubá, Brasil
fernando_060301_@hotmail.com

⁵Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá Itajubá, Brasil
hugomaciel.unifei@gmail.com

⁶Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá Itajubá, Brasil
mylenasalesm@hotmail.com

⁷Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá Itajubá, Brasil
p.ferreiraferreira.11@gmail.com

⁸Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá Itajubá, Brasil
rhayenne.vasconcelos@gmail.com

⁹Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá Itajubá, Brasil
thaylavirusboas013@hotmail.com

RESUMO

A região de estudo deste artigo foi o consórcio das cidades de Ponta Grossa e Carambeí no Paraná. Primeiramente, foi projetado a quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados nos próximos 20 anos, partindo de 2019 e com os dados gerados, dimensionou-se um aterro sanitário com e sem o pátio de compostagem. Com o aterro dimensionado, foi estimado a emissão de biogás gerado por ano com o auxílio do software LandGem, sendo que o aterro seria fechado no final dos 20 anos, em 2039. Após a análise dos resultados pode-se concluir que é viável a construção deste aterro, pois a população favorecida é de mais de 200.000 habitantes, gerando cerca de 155.000 t/ano de RSU. Este resíduo proporciona a geração de biogás de potência superior a 3 MW.

Palavras chave: Resíduos sólidos, aterro sanitário, biogás.

SOLID WASTE INTEGRATED MANAGEMENT PROJECT FOR THE CONSORTIUM OF PONTA GROSSA AND CARAMBEÍ CITIES IN PARANÁ ABSTRACT

The region of study in this article was the consortium of the cities of Ponta Grossa and Carambeí in Paraná. First, the amount of municipal solid waste (MSW) generated in the next 20 years was projected, starting in 2019, and with the data generated a sanitary landfill was designed with and without the composting yard. With the landfill dimensioned, the emission of biogas generated each year with the aid of the LandGem software was estimated and the landfill would be closed at the end of 20 years, in 2039. After analyzing the results, it is possible to conclude that the construction of this landfill is favored, since the population is more than 200,000 inhabitants, generating about 155,000 t /yr of MSW. This residue provides the generation of biogas of more than 3 MW.

Key words: Solid waste, landfill, biogas.

1. INTRODUÇÃO

Em 2008, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi coletado no Brasil um volume total de resíduos sólidos de 183.488(t/dia), englobando os resíduos sólidos coletados em domicílios e em vias e logradouros públicas, sendo 14.639 (t/dia) na região Norte; 47.206 (t/dia) na região Nordeste; 37.432 (t/dia) na região Sul; 16.120 (t/dia) na região Centro-Oeste e 68.181 (t/dia) na região Sudeste. Observa-se que a região Sudeste apresenta o maior volume coleta, estando esse resultado possivelmente relacionado com a maior densidade populacional. Assim, a fim de minimizar esses problemas decorrentes da falta de gestão e direcionamento no país, foi estabelecido através da lei federal 12.305 de agosto de 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual torna obrigação dos estados, municípios e empresas privadas praticarem o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, através dos planos de resíduos sólidos; incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; a pesquisa científica e tecnológica; a educação ambiental; a avaliação de impactos ambientais dentre outros instrumentos presente no Art 8º da PNRS. Dentre esses instrumentos, o sistema de descarte ambientalmente corretos desses resíduos, através de aterros sanitários, podem ser complementados com a drenagem e utilização dos gases oriundos da decomposição anaeróbia dos resíduos, os quais são constituídos majoritariamente por metano, composto altamente energético. Segundo CHERNICHARO (2007, apud FERREIRA, 2015), nos sistemas anaeróbios de tratamento, cerca de 80% da matéria orgânica presente no substrato é convertida em biogás. A fim de proporcionar a destinação ambientalmente correta dos resíduos sólidos, o presente trabalho avaliou a viabilidade do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos para o consórcio das cidades de Ponta Grossa e Carambeí no Paraná.

A prática de instalação de aterros capazes de atender a necessidades de diversas cidades simultaneamente é comum do Brasil e de grande interesse dos municípios. Esse sistema pode ser complementado com a drenagem e utilização do biogás gerado pela decomposição anaeróbia o qual segundo FERREIRA (2015, apud MATA-ALVAREZ e CECCHI, 1990), em condições favoráveis à metanização, apresenta cerca de 60% de CH₄, podendo ser efetivamente transformado em energia elétrica capaz de suprir as necessidades energéticas do aterro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Projeção Populacional

Foi utilizado o método logístico de projeção populacional, e para esse método primeiramente é necessário verificar duas condições, sendo elas:

- Condição 1: $P_0 < P_1 < P_2$
- Condição 2: $P_0 * P_2 < P_1^2$

Visto que ambas as condições foram aceitas para ambas as cidades, foram aplicadas as fórmulas 1, 2, 3 e 4 a seguir:

$$K_s = \frac{2P_0P_1P_2 - P_1^2(P_0 + P_2)}{P_0P_2 - P_1^2} \quad (1)$$

$$a_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{[P_0(K_s - P_1)]}{[P_1(K_s - P_0)]} \quad (2)$$

$$c = \frac{K_s - P_0}{P_0} \quad (3)$$

$$P_t = \frac{K_s}{1 + ce^{-a_1(t - t_0)}} \quad (4)$$

Sendo P_t a população a ser projetada.

Fazendo os cálculos, foram obtidos os seguintes valores das variáveis das equações 1, 2 e 3 (Tabelas 01 e 02). Dessa forma, as projeções foram realizadas até 2039 (considerando 20 anos de projeto) assim como pedido.

2.2. Índice per capita de massa coletada com acréscimo de 1% ao ano

Para realizar a projeção do índice per capita de massa coletada, inicialmente para se obter a quantidade de resíduos sólidos urbanos foi utilizado o SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Foi utilizado o dado de resíduos em toneladas disponível da cidade Ponta Grossa. Como os dados da cidade de Carambeí não foram encontrados adota-se um valor proporcional ao de Ponta Grossa considerando a população. Somando a quantidade

de resíduos gerados por ambas as cidades foi possível calcular a produção per capita (I) de RSU pela equação 05.

$$I = t / \text{hab} \quad (5)$$

Onde:

t = produção de resíduos por dia

hab = número de habitantes naquele ano

I = produção per capita em Kg/hab*dia

Para o cálculo da produção per capita foi adotado a quantidade de resíduos sólidos coletada no ano de 2010 como base.

O índice de geração per capita recebeu um acréscimo de 1% por ano até 2039 para que a estimativa de produção de resíduos possa ser mais representativa já que conforme Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais além do aumento populacional tem se verificado um aumento na geração per capita de resíduos sólidos domiciliares (ABRELPE, 2015).

A partir disso, foi adicionado à projeção populacional para 2039 o índice per capita de massa coletada considerando um acréscimo de 1%.

2.3. Geração anual populacional e Quantidade acumulada anual de resíduos

Para calcular a geração anual populacional, em kg, de resíduos, foi utilizada a operação 6.

$$\text{População obtida pela projeção daquele ano} * \text{o índice per capita de massa coletada considerando um acréscimo de 1\% do mesmo ano} \quad (6)$$

Essa multiplicação foi feita para os 20 anos, com início em 2019 e término em 2039, para as duas cidades.

Para calcular a quantidade anual acumulada de resíduos, efetuou-se a soma da quantidade anual populacional daquele ano (2019) mais a geração anual populacional do ano seguinte. Dessa forma foi calculada a quantidade acumulada de RSU nos próximos 20 anos, a partir do ano corrente (2019).

2.4. Cálculo de aterro sanitário

O aterro foi dimensionado a partir do último ano de geração de resíduos sólidos, considerando 60% de matéria orgânica na composição gravimétrica. Assim, foram dimensionados um aterro com pátio de compostagem e outro sem. Para tal, fez-se uso de uma planilha eletrônica. Primeiramente, foi necessário realizar o cálculo do volume de lixo gerado por 20 anos, correspondente a densidade média de lixo compactado multiplicada pela massa de lixo gerada por dia, número de dias e anos. E soma-se 20%, que irá corresponder à argila de cobertura das camadas de lixo. Então, finalmente encontrou-se as dimensões necessárias para o aterro, adotou-se a solução por aterro em trincheira, com altura útil de 5 m e taludes laterais de 1:1. Logo, fixando a largura da base do aterro em 140 m, a largura útil na superfície foi calculada a partir da equação (7) e através da equação (8) se obteve o comprimento da trincheira (Str), como pode-se observar abaixo.

$$L \text{ útil} = L(\text{base}) + 2 * H(\text{útil}) \quad (7)$$

$$\text{Str} = (L(\text{base}) + (L(\text{útil})/2)) * H(\text{útil}) \quad (8)$$

A área superficial ocupada pela trincheira e o volume de argila gasto foram determinadas através das equações (9) e (10).

$$\text{Ssu} = L(\text{adotado}) * L(\text{útil}) \quad (9)$$

$$\text{Var} = \text{Ar}(20\%) - V20 + \text{Ssu} * 0,6 \quad (10)$$

A fim de permitir melhores condições de instalação e operação decidiu-se dividir o aterro em 10 células iguais.

2.5. Dimensionamento do pátio de compostagem

Considerou-se que o material orgânico perfaz 60% do total de resíduos coletados e que a sua densidade é levemente superior, 0,800 t/m³. Com as seguintes equações foi possível realizar o cálculo das dimensões das leiras de compostagem, como comprimento e volume da leira de compostagem

$$\text{Sst} = C * H \quad (11)$$

$$\text{VL} = Q * 1000 / \sigma * 1000 \quad (12)$$

$$Q = 0,6 * \text{Massa de resíduo gerado} \quad (13)$$

Onde:

Sst = Comprimento da Leira

C = Largura

H = altura

VL = Volume da leira

Q = Quantidade de matéria orgânica

Em seguida, foi realizado o dimensionamento do pátio de compostagem através das seguintes equações.

$$S_{ba} = C * L(\text{adotado}) \quad (14)$$

$$S_{fo} = S_{ba} * 2 \quad (15)$$

$$A_{total} = S_{ba} * 2 \quad (16)$$

$$Sup = A_{total} * 120 \quad (17)$$

$$Sup = A_{total} * 120 + 10\% \text{ área de circulação} \quad (18)$$

Onde:

S_{ba} = Área da base da leira (m²)

S_{fo} = Área de folga para o reviramento da leira (m²)

A_{total} = Área total ocupada pela leira (m²)

Sup = Área do pátio de compostagem (m²)

2.6. Modelo de LandGEM

Os dados de fração da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos do município foram obtidos a partir da busca pelo grupo no Sistema Nacional de Informações sobre gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. No caso de ausência de informações, foi realizada a busca de dados gerais do Brasil no relatório mais recente da ABRELPE. Com base na projeção da produção da quantidade de resíduos sólidos, foi aplicado o modelo de LandGEM. Os dados de entrada utilizados para as estimativas de geração de biogás de aterro sanitário estão apresentados na tabela 03.

Por meio dos dados de estimativa de emissões de gases de aterro sanitário, utilizados no software LandGEM foi possível gerar os gráficos.

O LandGem utiliza a equação de primeira ordem para estimar a taxa de emissões pela decomposição anual em relação a um período de tempo especificado pelo usuário. Os parâmetros do modelo, k e L, são utilizados pela equação de decomposição e estão abaixo definidos:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k \cdot L_0 \left(\frac{M}{10} \right) \cdot e^{-k \cdot t_{1,j}} \quad (19)$$

Onde:

Q = Geração anual de metano no ano do cálculo (m³/ano); CH₄

i = incremento de tempo de 1 ano;

n = (ano do cálculo) - (ano inicial do cálculo);

j = incremento de tempo de 0,1 ano;

k = taxa de geração de metano (ano⁻¹)

L = capacidade potencial de geração de metano (m³/Mg); 0

M = massa de resíduos aceita do enésimo ano (Mg); t

t = idade da j-ésima seção de massa de resíduo, aceita no enésimo ano (anos em número decimal, p. ex. 3,2 anos).

Após o cálculo da geração de metano, foi possível realizar o cálculo da potência utilizando os dados da tabela 04 e a fórmula a seguir.

$$P = Q_{CH_4} \cdot E \cdot Ec \cdot PC_{CH_4} \cdot (1 \div 31536000 \times (1 \div 1000)) \quad (20)$$

Onde:

P = Potência disponível a cada ano (kW)

31536000 = número de segundos em 1 ano (s/ano)

1/1000 = transformação de J/s para kW

3. Resultados e Discussão

3.1. Geração de RSU

Os resultados referentes à população do consócio dos municípios de Ponta Grossa (PR) e Carambeí (PR), a quantidade anual coletada e acumulada de RSU para o período de 2019 a 2039 estão apresentados na tabela 09.

3.2. Resultados do cálculo do aterro

3.2.1. Aterro sem compostagem

A partir da quantidade acumulada foi possível dimensionar o aterro sem área de compostagem, considerando-se uma altura útil de 5 metros, taludes 1:1 e base de 140 metros.

Com esses valores adotados pode-se calcular as dimensões do aterro, que seguem expostos na tabela 10.

3.2.2. Aterro com compostagem

Para uma segunda opção de aterro, foi preciso dimensionar o pátio de compostagem e as dimensões seguem na tabela 12.

3.2.2.1 Tabela com compostagem

De posse das dimensões calculadas na tabela 12, foi realizado o dimensionamento do aterro sanitário descontando-se a porção de resíduo orgânico, os resultados estão expostos na tabela 13.

3.3. Estimativas de produção de biogás

Como o uso do programa excel, através da interface Landgem, foi possível estimar a produção de biogás no aterro. As emissões foram calculadas em emissões totais de carbono, de metano e compostos orgânicos não metânicos. A tabela 14 mostra as estimativas em tonelada por ano.

O programa Landgem fornece gráficos relativos à emissão de biogás (gráfico 01).

3.4. Estimativa da produção de energia

Com os valores da produção anual de metano foi possível estimar a geração de energia desse gás, em quilowatts, disposto na tabela 14. O gráfico 02 apresenta a potência gerada em função do tempo.

3. CONCLUSÃO

O Brasil tem uma expressiva produção de RSU que ainda têm destino inadequado sendo vetores de doenças e de poluição do meio ambiente. Entretanto, a gestão eficiente dos RSU orientada ao seu uso energético, contribui para geração de energia elétrica, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis. Além disso, reduz a emissão de metano e demais gases poluentes para a atmosfera. Conclui-se que existe viabilidade econômica e ambiental no uso de biogás de aterro, para auxiliar na geração de energia do país. Conforme mostrado neste trabalho, e de acordo com BARROS (2014), o aproveitamento energético do biogás gerado por ano no aterro sanitário do consórcio mostrou-se eficiente e economicamente viável.

REFERÊNCIAS

BRASIL, Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

ATLAS DE SANEAMENTO 2011. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas. São Paulo, 2011.

Ferreira, Bernardo Ornelas. "Avaliação de um sistema de metanização de resíduos alimentares com vistas ao aproveitamento energético do biogás." Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte (2015).

ANEXOS

Tabela 01 - Valores das variáveis para a cidade de Ponta Grossa (PR)

Table 01 – Values of the variables for the city of Ponta Grossa (PR)

Variáveis	Valores obtidos
Ks	484503,092
a1	-0,03286852
C	1,070667617

Fonte: Os autores

Tabela 02 - Valores das variáveis para a cidade de Carambeí (PR)

Table 02 - Values of the variables for the city of Ponta Grossa (PR)

Variáveis	Valores obtidos
Ks	519120,316
a1	-0,02628782
C	44,13697209

Fonte: Os autores

Tabela 03 - Dados de entrada para o uso do software LandGEM na estimativa de emissões de biogás de aterro sanitário.

Table 03 – Input data for use of the LandGEM software in the estimation of landfill biogas emissions

Parâmetro/Conjunto de parâmetros	Valor	Unidade	Referências
Característica dos aterros sanitários			
Ano de abertura	2019		
Ano de fechamento	2039		
Parâmetros do LandGEM			
Taxa de geração de metano, k	0,05	Ano ⁽⁻¹⁾	USEPA (2005)
Capacidade potencial de geração de metano, L0	170	M ³ .Mg ⁽⁻¹⁾	Faour et alli (2007)
Concentração NOMC	4000	ppmv como hexano	USEPA (2005)
Conteúdo de metano	50	% por volume	Marciel e Jucá (2011)
Gases poluentes selecionados			
Gás total de aterro, Metano, Dióxido de Carbono e NMOC			

Fonte: Os autores

Tabela 04 - Dados para o cálculo da potência

Table 04 – Data of power calculation

QCH4	Vazão de metano a cada	m ³ /ano	
PcCH4	Poder calorífico do metano	J/m ³	3,55E+07
Ec	Eficiência de coleta do Biogás	%	0,75
E	Eficiência da turbina	%	0,25

Fonte: Os autores

Tabela 09 - Geração Anual de RSU e Geração Acumulada de RSU do consórcio dos municípios de Ponta Grossa e Carambeí (PR)

Table 09 – Annual MSW Generation and Accumulated Usage Generation of the consortium of the provincial of Ponta Grossa and Carambeí (PR)

Tempo (anos)	População Consórcio (hab)	Quantidade anual coletada de RSU (t/ano) Ponta Grossa	Quantidade anual coletada de RSU (t/ano) Carambeí	Quantidade anual coletada de RSU (t/ano)	Quantidade acumulada anual de RSU (t/ano) Consórcio
2019	363.079	99.289	6.854	106.143	106.143
2020	366.991	101.260	7.098	108.359	214.501
2021	370.871	103.248	7.351	110.600	325.101
2022	374.721	105.252	7.613	112.865	437.966
2023	378.539	107.272	7.884	115.155	553.122
2024	382.325	109.306	8.164	117.470	670.592
2025	386.079	111.356	8.454	119.810	790.401
2026	389.800	113.421	8.753	122.174	912.576
2027	393.489	115.500	9.063	124.564	1.037.139
2028	397.145	117.594	9.384	126.978	1.164.118
2029	400.769	119.703	9.716	129.418	1.293.536
2030	404.360	121.825	10.059	131.884	1.425.420
2031	407.918	123.961	10.413	134.375	1.559.795
2032	411.445	126.112	10.780	136.892	1.696.686
2033	414.939	128.276	11.159	139.435	1.836.121
2034	418.402	130.453	11.552	142.005	1.978.126

2035	421.834	132.644	11.957	144.601	2.122.727
2036	425.235	134.848	12.376	147.224	2.269.952
2037	428.605	137.066	12.809	149.875	2.419.827
2038	431.946	139.297	13.257	152.554	2.572.381
2039	435.257	141.541	13.720	155.261	2.727.641

Fonte: Os autores

Tabela 10 – Dimensões do aterro e células

Table 10 - Dimensions of landfill and cells

Altura Útil (m)	5	Número de células	10
Taludes laterais	01:01	Área de cada célula (m ²)	109.500,00
Largura da base (m)	140	Comprimento de cada célula (m)	730,00
Largura útil na superfície (m)	150	Volume de cada células (m ³)	529.250,00
Área da seção Transversal (m ²)	725		
Comprimento da trincheira (m)	7.249,66		
Comprimento Adotado (m)	7.300,00		

Fonte: Os autores

Tabela 11 – Cálculo das dimensões do pátio de compostagem

Table 11 – Calculation of the dimensions of the composting yard

Área da base da leira - S_{ba}	m ²	425,00
Área de folga para o reviramento da leira - S_{fo}	m ²	850,00
Área total ocupada pela leira	m ²	850,00
Período de compostagem	dias	120,00
Área do pátio de compostagem - S_{up}	m ²	102.000,00
Acréscimo de área circulação	%	0,10
Área do pátio de compostagem - S_{up}	m ²	112.200,00
Comprimento da leira		
L	m	168,38
Adotado	m	170,00
Volume da leira de compostagem		
V_L	m ³ /dia	315,71

Fonte: Os autores

Tabela 12 – Dimensões do aterro e células

Table 12 – Dimensions of landfill and cells

Altura Útil (m)	5	Número de células	10,00
Taludes laterais	01:01	Área de cada célula (m ²)	51.000,00
Largura da base (m)	140	Comprimento de cada célula (m)	340,00
Largura útil na superfície	150	Volume de cada células (m ³)	246.500,00
Área da seção Transversal (m ²)	725		
Comprimento da trincheira (m)	3434,96		
Adotado L (m)	3400		

Fonte: Os autores

Tabela 13: Estimativas de emissão de biogás em toneladas por ano

Table 13 – Estimates of biogás emissions in tonnes per year

Gás total do aterro (m³.ano^{^(-1)})	Metano (m³.ano^{^(-1)})	Dióxido de carbono (m³.ano^{^(-1)})	NMOC (m³.ano^{^(-1)})
0	0	0	0
1.764.460	882.230	882.230	7.058
3.479.708	1.739.854	1.739.854	13.919
5.148.553	2.574.277	2.574.277	20.594
6.773.668	3.386.834	3.386.834	27.095
8.357.594	4.178.797	4.178.797	33.430
9.902.753	4.951.376	4.951.376	39.611
11.411.445	5.705.722	5.705.722	45.646
12.885.863	6.442.932	6.442.932	51.543
14.328.095	7.164.048	7.164.048	57.312
15.740.129	7.870.064	7.870.064	62.961
17.123.857	8.561.928	8.561.928	68.495
18.481.083	9.240.541	9.240.541	73.924
19.813.528	9.906.764	9.906.764	79.254
21.122.830	10.561.415	10.561.415	84.491
22.410.553	11.205.277	11.205.277	89.642
23.678.190	11.839.095	11.839.095	94.713
24.927.164	12.463.582	12.463.582	99.709
26.158.835	13.079.418	13.079.418	104.635
27.374.503	13.687.251	13.687.251	109.498
28.575.410	14.287.705	14.287.705	114.302

Fonte: Landfill Gas Emissions Model (LandGEM), adaptado pelos autores

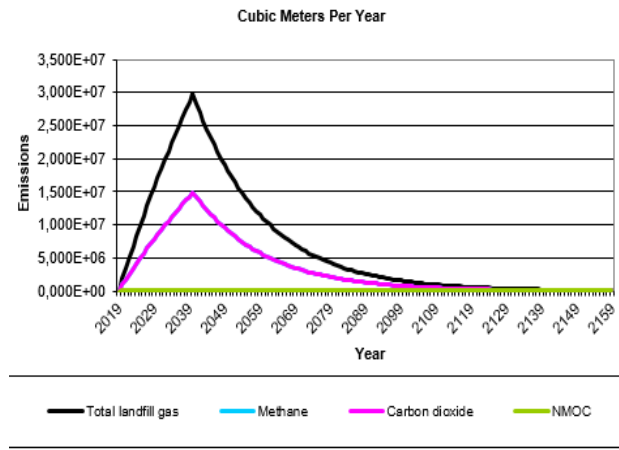
Tabela 14: Energia elétrica gerada com a queima de metano

Table 14 – Electricity generated with the burning of methane

Emissões de metano		Potência (kW)
(t ano⁻¹)	(m³ ano⁻¹)	
0	0	0
589	882.230	186
1.161	1.739.854	368
1.717	2.574.277	544
2.260	3.386.834	715
2.788	4.178.797	883
3.303	4.951.376	1.046
3.807	5.705.722	1.205
4.298	6.442.932	1.361
4.779	7.164.048	1.513
5.251	7.870.064	1.663
5.712	8.561.928	1.809
6.165	9.240.541	1.952
6.609	9.906.764	2.093
7.046	10.561.415	2.231
7.476	11.205.277	2.367
7.898	11.839.095	2.501
8.315	12.463.582	2.633
8.726	13.079.418	2.763
9.131	13.687.251	2.891
9.532	14.287.705	3.018

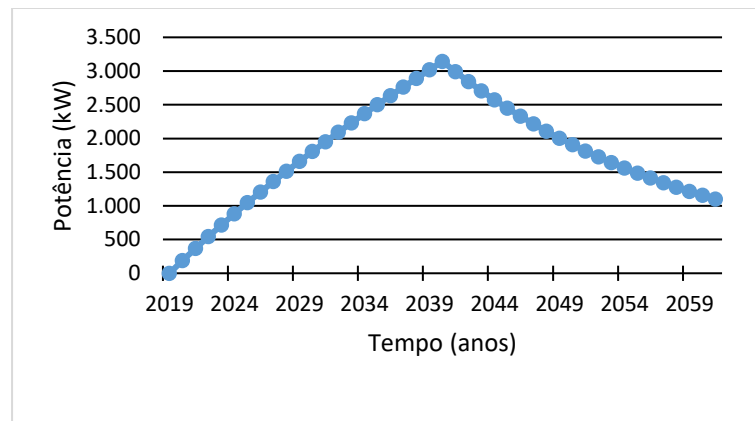
Fonte: Landfill Gas Emissions Model (LandGEM), adaptado pelos autores

Gráfico 01 - Emissões metros cúbicos



Fonte: Emission in cubic meters of gas, (LandGEM)

Gráfico 02- Potência gerada em função do tempo



Fonte: Os autores

