

# Potencial de geração de biogás a partir de resíduos sólidos urbanos da região noroeste paulista por diferentes modelos técnicos de previsão

Silva, Thaise Fernanda da  
Freitas, Irene Rodrigues

## Resumo

As fontes de energia não renováveis são altamente poluidoras e tem contribuído para a adoção de métodos alternativos para produção de energia. O biogás, mistura de gases gerados a partir da decomposição anaeróbica de material orgânico, depende do teor de gás metano em sua composição, sendo diretamente utilizado na produção de energia elétrica ou mecânica através da queima. Diante desse contexto, este trabalho estudou os aspectos técnicos, que estão associados à captação do biogás e o seu aproveitamento a partir dos resíduos sólidos urbanos, pois a matéria orgânica é abundante e possui um grande potencial energético. Este projeto teve como objetivo estimar a produção de biogás, utilizando modelos técnicos de estimativa como ferramenta de previsão do volume de metano. Para isso foi considerado como objeto de estudo os aterros sanitários da região noroeste paulista no período de 2015-2016. Foi realizado um mapeamento dos municípios que possuem aterros sanitários, e junto com a CETESB foram coletados dados das quantidades depositadas, e realizada a estimativa através dos modelos USEPA e IPCC. Foram aplicadas as metodologias propostas pelo United States Environment al Protection Agency (USEPA) e Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) para a estimativa de geração de CH<sub>4</sub>. O percentual de biogás gerado nos aterros durante este período foi igualmente avaliado, de forma que os resultados apontaram para um aumento de 0,51% na geração de biogás para o aterro com maior volume de resíduos sólidos urbanos. Ao avaliar os resultados obtidos pelos diferentes métodos de previsão de biogás, os modelos apresentados mostraram diferenças entre os valores obtidos devido aos parâmetros adotados. Portanto, os modelos pode ser usado como um pressuposto para a avaliação da viabilidade de geração de gás metano.

**Palavras-chave:** Energia, gás metano, potencial energético.

## Abstract

Non-renewable energy sources are highly polluting and have led to the adoption of alternative energy production methods. Biogas, a mixture of gases generated from the anaerobic decomposition of organic material, depends on the content of methane gas in its composition, being directly used in the production of electric or mechanical energy through burning. In this context, the present research studied the technical aspects associated with the capture of biogas and its use from municipal solid waste, because organic matter is abundant and has a great energetic potential. The objective of this project was to estimate the biogas production using technical estimation models as prediction tool of methane volume. For this purpose, the sanitary landfills of northwest São Paulo during the period 2015-2016 were considered as the object of study. A mapping of the municipalities that have sanitary landfills was carried out, and together with CETESB data were collected of the deposited quantities, and the estimation was done using USEPA and IPCC models. The methodologies proposed by the United States Environment Protection Agency (USEPA) and the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) for estimating CH<sub>4</sub> generation were applied. The percentage of biogas generated in the landfills during this period was also evaluated, such that the results pointed to a 0.51% increase in the biogas generation for the landfill with the largest volume of urban solid waste. When evaluating the results obtained by the different methods of biogas forecasting, the presented

models showed differences between the values obtained due to the parameters adopted. Therefore models can be used as a prerequisite for assessing the viability of methane gas generation.

**Keywords:** Energy, methane gas, energy potential.

## **Resumen**

Las fuentes de energía no renovables son altamente contaminantes y han contribuido a la adopción de métodos alternativos para la producción de energía. El biogás, mezcla de gases generados a partir de la descomposición anaeróbica de material orgánico, depende del contenido de gas metano en su composición, siendo directamente utilizado en la producción de energía eléctrica o mecánica a través de la quema. En este contexto, este trabajo estudió los aspectos técnicos, que están asociados a la captación del biogás y su aprovechamiento a partir de los residuos sólidos urbanos, pues la materia orgánica es abundante y posee un gran potencial energético. Este proyecto tuvo como objetivo estimar la producción de biogás, utilizando modelos técnicos de estimación como herramienta de previsión del volumen de metano. Para ello se consideró como objeto de estudio los rellenos sanitarios de la región noroeste paulista en el período de 2015-2016. Se realizó un mapeo de los municipios que poseen rellenos sanitarios, y junto con la “Compañía de Saneamiento del Estado de São Paulo” (CETESB) fueron recolectados datos de las cantidades depositadas, y se realizó la estimación a través de los modelos USEPA e IPCC. Se aplicaron las metodologías propuestas por la “United States Environment al Protection Agency” (USEPA) y el “Panel Intergubernamental de Cambio Climático” (IPCC) para la estimación de generación de CH<sub>4</sub>. El porcentual de biogas generado en los rellenos sanitarios durante este periodo fue igualmente evaluado, de forma que los resultados apuntaron a un aumento de 0.51% en la generación de biogas para el relleno sanitario con mayor volumen de residuos sólidos urbanos. Al evaluar los resultados obtenidos por los diferentes métodos de previsión de biogas, los modelos presentados mostraron diferencias entre los valores obtenidos debido a los parametros adoptados por lo tanto los modelos puede ser usado como un pre-supuesto para la evaluación de la viabilidad de generación de gas metano.

**Palabras clave:** Energía, gas metano, potencial energético.

## INTRODUÇÃO

As principais fontes de energia do mundo são representadas pelos combustíveis fósseis, tais como petróleo, carvão e gás natural. No entanto, por não serem renováveis, estas fontes de energia são finitas e, portanto, a busca por outras fontes de energia em substituição aos combustíveis fósseis tem se tornado evidente, não só sob o aspecto sustentável, mas também sob o ponto de vista ambiental. Neste contexto, as fontes de energia renováveis como hídrica, nuclear, eólica, fotovoltaica e a proveniente da biomassa (como lenha, biodiesel e biogás) se apresentam como alternativas potenciais nos âmbitos energético, ambiental e estratégico para substituição dos combustíveis fósseis (VIEIRA et al. 2015).

O biogás é o gás natural produzido pela ação das bactérias nos resíduos. Trata-se de uma mistura gasosa, combustível, resultante de fermentação anaeróbica da matéria orgânica. A natureza das matérias-primas e o funcionamento condições utilizadas durante a digestão anaeróbica determinam composição química do biogás. O biogás cru consiste principalmente de metano (40-75%) e CO<sub>2</sub> (15-60%). E uma quantidade de outros componentes, como água (5-10%), sulfeto de hidrogênio (0,005-2%), amônia (1%), oxigênio (0,1%), monóxido de carbono (0,6%) e nitrogênio (0-2%). Essa energia contribui para a redução de CO<sub>2</sub> na atmosfera e conseqüentemente redução do efeito estufa (MARTINS et al. 2015).

Em função deste contexto, é crescente o desenvolvimento de biogás, produzido nos aterros sanitários por ser uma opção de aproveitamento, devido ao seu poder energético e à quantidade disponível. A captação do gás produzido em aterros é de grande importância, pois diferentes fontes de energia alternativa podem diversificar ou incrementar a geração do biogás em aterros sanitários. O aproveitamento energético do biogás gerado em aterro constitui-se numa alternativa interessante, uma vez que o crescimento econômico do país demanda cada vez mais a disponibilização de energia. Comparativamente a outros combustíveis fósseis, a queima do metano (CH<sub>4</sub>) gera menos poluentes atmosféricos por unidade de energia gerada, por isso, é caracterizado como um combustível limpo e o seu uso em equipamentos, veículos, aplicações industriais e geração de energia tende a aumentar (BRAZ, 2014).

Sob estas condições, estimativas teóricas de geração de biogás são realizadas por meio de modelos matemáticos que dependem de reações bioquímicas que modelam a conversão dos resíduos em gases, líquidos e compostos bioestabilizados. Estas reações estão relacionadas com o tipo de resíduo (ex.: composição, idade, tamanho) e com a forma de deposição (ex.: compactação,

eficiência de captação do metano), fatores que influenciam na temperatura, na umidade e no pH do meio (ANDRADE et al. 2016).

Em IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change), é um método de decomposição de primeira ordem, que permite um perfil de emissões e tem dependência do tempo transcorrido e reflete as reais pautas do processo de degradação ao longo do tempo (ABIOGÁS, 2014). Este método admite que a taxa de produção de metano dependa apenas da quantidade de carbono remanescente nos resíduos, uma vez que a emissão de metano a partir de resíduos depositados em um aterro são mais altas nos primeiros anos após a disposição, em seguida, diminui gradualmente conforme o carbono degradado no resíduo pelos microrganismos responsáveis (ABRELPE, 2013).

United States Environment al Protection Agency – USEPA, é usado para uma avaliação preliminar para aproveitamento de gás metano nos aterros. Porém, não há considerações da redução da quantidade de gás ao longo do tempo (REGATTIERI, 2009). Diante das informações obtidas, o objetivo deste trabalho foi verificar o potencial de geração do biogás a partir de resíduos de sólidos urbanos na Região Noroeste Paulista por diferentes modelos técnicos de previsão.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente trabalho foi conduzido, com base em dados referentes à quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos depositados em aterros sanitários na Região Noroeste Paulista referente ao ano de 2015-2016, obtidos junto a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), onde foi feito o levantamento das cidades que possuem aterros e a quantidade de sólidos depositados (Figura 1).

Figura 1 - Microrregiões que possuem aterro sanitário na Região Noroeste Paulista.



Fonte: Adaptado de Arranjo Educacional Paulista, 2013.

A partir da quantidade de resíduos gerados foram utilizados diferentes modelos USEPA (2005) e IPCC (2006) para quantificar o potencial de geração de biogás através da biodigestão de resíduos sólidos. Esses modelos variam em sua complexidade, e de acordo com os dados que necessitam, apresentam vantagens como resultados rapidamente observáveis.

Para estimativa preliminar de produção de gás metano, foi utilizado o método conhecido como Aproximação Simples da United States Environment al Protection Agency (USEPA, 2005), modelo de primeira ordem que utiliza: potencial de geração ( $L_0$ ), que depende unicamente do tipo de composição do resíduo; e a constante de geração de  $CH_4$  ( $k$ ), que varia em função da umidade, temperatura, pH, tipo de resíduo, disposição de nutrientes para o processo anaeróbio, influenciando na geração do biogás conforme a Equação 1.

$$E_{CH_4} = Gr.MSWd \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

$E_{CH_4}$  = geração anual de gás metano ( $m^3$ /ano);

Gr = geração de gás metano por quantidade de resíduos de 0,7805 ( $m^3$ /kg ano).

MSWd = quantidade de resíduo disposto (kg).

O modelo de primeira ordem de Scholl Canyon que é o método recomendado pelo Banco Mundial para estimar a geração de metano no aterro, foi utilizado conforme a Equação 2.

$$Q_{(CH_4)_i} = k \times L_o \times m_i \times e^{-k \cdot t_i} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

$Q_{(CH_4)_i}$  = metano produzido do ano  $i$  a partir da seção  $i$  do resíduo, ( $m^3$ /ano).

$k$  = taxa de geração de metano (anos<sup>-1</sup>).

$L_o$  = potencial da geração de metano ( $m^3$  CH<sub>4</sub>/t resíduo).

$m_i$  = massa de resíduo despejada no ano  $i$  (t/ano).

$t_i$  = anos após o fechamento.

O potencial de geração de metano ( $L_o$ ) que representa a produção total por tonelada de lixo foi utilizado o recomendado pelo Banco Mundial, cujo valor preestabelecido de  $L_o$  é de 170  $m^3$  de metano/tonelada de resíduos.

A metodologia Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC, 2006), que tem como base a suposição de que o total de metano liberado durante o ano em que se produz a disposição de resíduos, foi utilizada de acordo com as equações 3,4 e 5.

$$CH_4(t/\text{ano}) = (RSU_T \cdot RSU_F \cdot L_o - R(t)) \cdot (1 - OX) \quad \text{(Equação 3)}$$

$$CH_4 \text{ gerado (t/ano)} = \sum [A \cdot k \cdot RSU_T(x) \cdot RSU_F(x) \cdot L_o(x)] \cdot e^{-k(t-x)} \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

$t$  = ano de realização do inventário.

$x$  = ano de contribuição (desde início de atividade até  $t$ ).

$A = (1-e-k)/k$ ; fator de normalização para corrigir soma.

$k$  = constante de geração, ano<sup>-1</sup>.

$RSU_T(x)$  = total de RSU gerados no ano  $x$ , t/ano.

$RSU_F(x)$  = fração de RSU depositada no aterro no ano- $x$ .

$RSU_T(x) \cdot RSU_F(x)$  = massa de resíduos despejada no ano  $x$ , t/ano.

$L_o$  = potencial de geração de metano (t CH<sub>4</sub>/t RSU).

$$L_o = F_{CH_4} \cdot COD \cdot COD_F \cdot F \cdot 16/12 \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde:

$L_o$ : Potencial de geração de metano. ( $m^3$ /tRSU)

$F_{CH_4}$ : Fator de correção de metano. (%)

COD: Carbono orgânico degradável. (t C / t RSU)

COD<sub>F</sub>: Fração de carbono orgânico degradável dissociado. (%)

16/12 = conversão de carbono a metano.

F = fração de metano no gás do aterro, na ausência de dados é utilizado 0,5.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Modelo técnico de previsão da United States Environment al Protection Agency

Para estimar a geração de metano e não as emissões, pois parte do metano em sua migração para a atmosfera é captado e degradado nas camadas mais superficiais do terreno, com isso considera-se que todo o metano gerado é emitido à atmosfera através de fissuras ou vias de evacuação existente no local (SOUZA et al. 2014). Os resultados do potencial de geração de biogás pelo modelo da United States Environment al Protection Agency (USEPA) para o cenário do ano de 2015 e 2016, estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Potencial de geração de biogás pelo modelo USEPA (2005)

| Municípios     | Ano de 2015   |                  |  | Ano de 2016   |                  |  |
|----------------|---------------|------------------|--|---------------|------------------|--|
|                | ton/dia       | ton/ano          | E <sub>CH4</sub> (m <sup>3</sup> /ano) | ton/dia       | ton/ano          | E <sub>CH4</sub> (m <sup>3</sup> /ano) |
| Adolfo         | 2,28          | 832,20           | 649,53                                 | 2,28          | 832,20           | 649,53                                 |
| Bálsamo        | 5,62          | 2.051,30         | 1.601,04                               | 5,67          | 2.069,55         | 1.615,28                               |
| Catanduva      | 106,67        | 38.934,60        | 30.388,42                              | 107,22        | 39.135,30        | 30.545,10                              |
| Catiguá        | 4,91          | 1.792,15         | 1.398,77                               | 4,94          | 1.803,10         | 1.407,31                               |
| Elisiário      | 2,21          | 806,65           | 629,59                                 | 2,24          | 817,60           | 638,13                                 |
| Ibirá          | 7,65          | 2.792,25         | 2.179,35                               | 7,73          | 2.821,45         | 2.202,14                               |
| Icém           | 4,80          | 1.752,00         | 1.367,44                               | 4,84          | 1.766,60         | 1.378,83                               |
| Irapuã         | 4,85          | 1.770,25         | 1.381,68                               | 4,89          | 1.784,85         | 1.393,07                               |
| Marapoama      | 1,69          | 616,85           | 481,45                                 | 1,71          | 624,15           | 487,14                                 |
| Mirassolândia  | 2,76          | 1.007,40         | 786,28                                 | 2,68          | 978,20           | 763,48                                 |
| Onda Verde     | 2,31          | 843,15           | 658,08                                 | 2,33          | 850,45           | 663,77                                 |
| Poloni         | 3,63          | 1.324,95         | 1.034,12                               | 3,67          | 1.339,55         | 1.045,51                               |
| Potirendaba    | 10,51         | 3.836,15         | 2.994,12                               | 10,60         | 3.869,00         | 3.019,75                               |
| Sales          | 3,78          | 1.379,70         | 1.076,86                               | 3,83          | 1.397,95         | 1.091,09                               |
| Tanabí         | 16,11         | 5.880,15         | 4.589,46                               | 16,19         | 5.909,35         | 4.612,24                               |
| Uchoa          | 6,48          | 2.365,20         | 1.846,04                               | 6,51          | 2.376,15         | 1.854,58                               |
| União Paulista | 0,94          | 343,10           | 267,79                                 | 0,95          | 346,75           | 270,63                                 |
| <b>Total</b>   | <b>187,20</b> | <b>68.328,05</b> | <b>53.330,00</b>                       | <b>188,28</b> | <b>68.722,20</b> | <b>53.637,58</b>                       |

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Baseado nos resultados obtidos pode ser observado que o aterro sanitário da cidade de Catanduva possui a maior quantidade de resíduos sólidos depositados, onde houve uma crescente na quantidade desses resíduos de aproximadamente 208 toneladas em relação ao ano de 2015. No ano de 2016 foi estimada uma geração de 30545,10 m<sup>3</sup>/ano de CH<sub>4</sub>, o que corresponde um aumento de 0,51 % no potencial de geração de gás metano em comparação com o ano de 2015.

O aterro sanitário da região Noroeste Paulista que menos recebeu resíduos sólidos é o da cidade de União Paulista, mas houve aumento na quantidade de lixo depositado comparado com o ano de 2015.

Pela Tabela 1 a quantidade de material depositado nos aterros da região pesquisada foi de 68.328,00 e 68.722,20 toneladas para os referidos anos de estudos, sendo que a emissão do gás metano (CH<sub>4</sub>) pelo modelo técnico utilizado foram 53.330,00 e 53.637,58 m<sup>3</sup>/ano, o que corresponde a 0,57 % a mais na geração de gases que contribuiu para o efeito estufa.

- Modelo técnico de previsão pelo Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC)

Uma vez que o método envolve a estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável que está presente no resíduo, e utiliza características dos resíduos sólidos urbanos (NECKER; ROSA, 2013), a composição gravimétrica de Resíduos Sólidos Urbanos da Região Noroeste Paulista, obtida através de quarteamento e sua relação com o carbono orgânico degradável presente nos resíduos (COD) presente em cada componente do lixo, está representada na Tabela 2.

**Tabela 2 - Composição gravimétrica de Resíduos Sólidos Urbanos**

| Componentes      | Total (%) | % COD (massa) |
|------------------|-----------|---------------|
| Papel / Papelão  | 6,92      | 40            |
| Matéria Orgânica | 79,64     | 15            |
| Têxtil           | 1         | 40            |
| Madeira          | 1         | 30            |

**Fonte:** Jaco (2015).

## CÁLCULO DO COD



O valor de COD é obtido a partir da composição do material depositado no aterro e da Tabela 2.5 do Módulo 5 – Resíduos, do Guia do IPCC de 2006, volume 2: Geração de Resíduos, conforme apresentado na Tabela 2.

$$\text{COD} = \sum (\text{COD}_i * W_i)$$

$$\text{COD} = 0,15414$$

#### CÁLCULO DO $L_0$

A unidade de  $L_0$  calculado a partir da Equação 5, será  $\text{kg CH}_4/\text{kg RSD}$ . Portanto, para que a unidade seja transformada para  $\text{m}^3/\text{ton}$  biogás, deve-se dividir pela densidade do metano, que corresponde a  $0,0007168 \text{ ton}/\text{m}^3$ .

$$L_0 = \text{FMC} \cdot \text{COD} \cdot \text{COD}_F \cdot F \cdot 16/12$$

$$L_0 = 88,2 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t RSD}$$

Para a realização do cálculo de emissão de metano, foi realizado um levantamento de dados das licenças ambientais (Tabela 3) de cada cidade da Região Noroeste Paulista, fornecidos pela CETESB (2015). Para que seja feito o cálculo dos anos de funcionamento de cada aterro, bem como para a determinação do potencial de biogás pelo modelo IPCC (2006).

**Tabela 3 - Licenças ambientais, em aspecto operacional dos aterros sanitários da Região Noroeste Paulista.**

| Municípios    | Licenças Ambientais |
|---------------|---------------------|
| Adolfo        | 12/03/2002          |
| Bálsamo       | 13/12/2010          |
| Catanduva     | 16/01/2014          |
| Catiguá       | 15/09/1999          |
| Elisiário     | 29/09/2004          |
| Ibirá         | 19/06/2001          |
| Icém          | 13/07/2012          |
| Irapuã        | 16/04/2002          |
| Marapoama     | 08/12/2002          |
| Mirassolândia | 21/09/2012          |
| Onda Verde    | 28/07/1999          |
| Poloni        | 30/09/2003          |
| Potirendaba   | 08/08/2003          |

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| <b>Sales</b>          | 17/01/2001 |
| <b>Tanabí</b>         | 02/03/1999 |
| <b>Uchoa</b>          | 03/01/2005 |
| <b>União Paulista</b> | 29/01/2001 |

Fonte: Adaptado de Inventário de resíduos sólidos urbanos (CETESB, 2015).

### Cálculo da emissão de metano

Os resultados do potencial de emissão de metano pelo modelo Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC, 2006) estão apresentados na Tabela 4.

Os resultados indicam para o aterro sanitário da cidade de Catanduva onde possui a maior quantidade de resíduos sólidos depositados, e pelo modelo técnico IPCC, a emissão de gás metano foi de 282.462,18 m<sup>3</sup>/ano de CH<sub>4</sub> e 283.918,21 m<sup>3</sup>/ano de CH<sub>4</sub>, para os anos de 2015 e 2016, cujo aumento da geração de CH<sub>4</sub> foi de 0,51%, percentual semelhante ao encontrado pelo modelo USEPA, no entanto, a estimativa da produção de metano foi inferior ao encontrado por Necker e Rosa (2013) ao estimar teoricamente o potencial de um aterro sanitário de Ji-Paraná (RO) para o ano do aterro de 2015, essa diferença pode estar relacionada a população estimada e a quantidade de resíduos sólidos depositados e a fração de carbono dissociada utilizada.

Pela Tabela 4 a quantidade de material depositada nos aterros da região pesquisada foram de 68.328,00 e 68.722,20 toneladas para os referidos anos de estudos, visto que o modelo IPCC utiliza um potencial de geração de metano menor (L<sub>0</sub>), sendo a emissão do gás metano (CH<sub>4</sub>) pelo modelo técnico utilizado foram 367.604,35 e 337.714,10 m<sup>3</sup>/ano nos anos de 2015 e 2016. A comparação quantitativa entre os resultados pode ser visualizada na Tabela 5.

**Tabela 4 - Potencial de geração de biogás pelo modelo IPCC (2006)**

| Municípios       | Ano de 2015 |           |   | Ano de 2016 |           |   |
|------------------|-------------|-----------|---|-------------|-----------|---|
|                  | ton/dia     | ton/ano   | E <sub>CH<sub>4</sub></sub> (m <sup>3</sup> /ano) | ton/dia     | ton/ano   | E <sub>CH<sub>4</sub></sub> (m <sup>3</sup> /ano) |
| <b>Adolfo</b>    | 2,28        | 832,20    | 2.050,29  | 2,28        | 832,20    | 1.873,82  |
| <b>Bálsamo</b>   | 5,62        | 2.051,30  | 10.382,64   | 5,67        | 2.069,55  | 9.573,44  |
| <b>Catanduva</b> | 106,67      | 38.934,60 | 282.462,18  | 107,22      | 39.135,30 | 259.481,71  |
| <b>Catiguá</b>   | 4,91        | 1.792,15  | 3.370,55  | 4,94        | 1.803,10  | 3.099,28  |
| <b>Elisiário</b> | 2,21        | 806,65    | 2.379,28  | 2,24        | 817,60    | 2.204,01  |
| <b>Ibirá</b>     | 7,65        | 2.792,25  | 6.287,16  | 7,73        | 2.821,45  | 5.806,12  |
| <b>Icém</b>      | 4,80        | 1.752,00  | 10.616,61   | 4,84        | 1.766,60  | 9.783,70  |
| <b>Irapuã</b>    | 4,85        | 1.770,25  | 4.361,35  | 4,89        | 1.784,85  | 4.018,85  |
| <b>Marapoama</b> | 1,69        | 616,85    | 1.519,73  | 1,71        | 624,15    | 1.405,36  |

|                       |        |           |            |        |           |            |
|-----------------------|--------|-----------|------------|--------|-----------|------------|
| <b>Mirassolândia</b>  | 2,76   | 1.007,40  | 6.104,55   | 2,68   | 978,20    | 5.417,42   |
| <b>Onda Verde</b>     | 2,31   | 843,15    | 1.585,74   | 2,33   | 850,45    | 1.461,80   |
| <b>Poloni</b>         | 3,63   | 1.324,95  | 3.571,68   | 3,67   | 1.339,55  | 3.300,24   |
| <b>Potirendaba</b>    | 10,51  | 3.836,15  | 10.341,15  | 10,60  | 3.869,00  | 9.532,03   |
| <b>Sales</b>          | 3,78   | 1.379,70  | 3.106,60   | 3,83   | 1.397,95  | 2.876,77   |
| <b>Tanabí</b>         | 16,11  | 5.880,15  | 11.058,99  | 16,19  | 5.909,35  | 10.157,35  |
| <b>Uchoa</b>          | 6,48   | 2.365,20  | 7.633,33   | 6,51   | 2.376,15  | 7.008,63   |
| <b>União Paulista</b> | 0,94   | 343,10    | 772,54     | 0,95   | 346,75    | 713,53     |
| <b>Total</b>          | 187,20 | 68.328,00 | 367.604,35 | 188,28 | 68.722,20 | 337.714,10 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 5. Resultados do potencial de geração de biogás pelos diferentes modelos técnicos.**

| Modelos matemáticos                                       | USEPA     |           | IPCC       |            |
|---|-----------|-----------|------------|------------|
|   | 2015      | 2016      | 2015       | 2016       |
| <b>Potencial de geração de biogás (m<sup>3</sup>/ano)</b> | 53.330,00 | 53.637,58 | 367.604,35 | 337.714,10 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

A diferença observada entre os resultados apresentados na Tabela 5 pode ser justificada pelas diferentes variáveis consideradas em cada modelo técnico (composição, idade, tamanho). Considerando que a desvantagem do modelo USEPA dá-se pelo fato de não se considerar as diferenças na composição do material depositado (% COD).

Os resultados da emissão de metano pelo método de inventário desenvolvido pelo IPCC foram maiores do que o método USEPA, caso também observado por Mendes e Sobrinho (2005) ao estudar métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário. Estas variações podem ocorrer devido ao método IPCC utilizar a composição gravimétrica do resíduo depositado, e este pode ser variável (PEDOTT; AGUIAR, 2014), e no presente trabalho foi utilizado o COD estimado de 88,2 m<sup>3</sup>de CH<sub>4</sub>.

## CONCLUSÃO

As conclusões deste trabalho decorrem de um processo de ampliação das percepções por meio da quantidade de resíduos como parâmetro de entrada, principalmente pelo fato de expandir as possibilidades de representar a realidade.

Evidencia-se, portanto, que de acordo com os modelos apresentados, a geração de biogás proveniente de aterros trata-se de um pressuposto para a avaliação de viabilidade. De acordo com

as estimativas de gás produzidas, considerando-se um percentual igual na geração de biogás para a cidade de Catanduva entre os dois modelos técnicos. Entretanto, na cidade de União Paulista também avaliada, não apresentou o mesmo potencial de geração em ambos os modelos, sendo esta verificação de viabilidade facilmente comprovada por meio dos modelos técnicos de previsão propostos.

No entanto, esta estimativa é apenas teórica e pode ser utilizada como fonte de conhecimento prévio da quantidade de biogás que pode ser produzido por aterros sanitários. Ambos os modelos estudados estimaram a produção de biogás, porém, o modelo IPCC (2006) apresentou maior estimativa do potencial de geração de biogás.

## REFERÊNCIAS

ABIOGÁS. Associação Brasileira de Biogás e de Biometano. Disponível em: <http://www.abiogas.org.br/biogas-e-biometano>. Acesso em: 10 de junho 2018.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2013.

ANDRADE, F. C. A.; MEDEIROS, B. R.; LISBOA, M. H. Estimativa de potencial energético de biogás proveniente do aterro sanitário Tijuquinhas (Município de Biguaçu/SC). *Revista Monografias Ambientais – REMOA*, v. 15, n.1, jan-abr. 2016, p.189-197.

ARRANJO EDUCACIONAL PAULISTA. Disponível em: <http://arranjoeducacionalpaulista.blogspot.com/>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

BRAZ, J. A. *Avaliação do potencial energético do biogás de aterro sanitário gerado pelos resíduos sólidos domésticos do município de Rio Claro*, Rio Claro – São Paulo, 2014.

CESTESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2018.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Guia para inventários nacionais de gases de efeito estufa*. Módulo 6: Lixo. Volume 2: Livro de trabalho, 2006. Disponível em: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

JACO, R. O.; FIGUEREDO, B. L.; CLAUDINO G. O.; BEZERRA J. D. S.; CAVALCANTE R. F. *Estimativa teórica da produção de biogás do aterro controlado*. QUIXADÁ – CE, 2015.

MARTINS, S. O. L.; SILVA, T. L., DORES, O. D.; CARNEIRO, F. A. R. Potencial de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos visando o uso do biogás como fonte alternativa de energia renovável no estado da Bahia. *XXVI ENANGRAD*. Foz do Iguaçu- PR – Brasil, 2015.

NECKER, H. S.; ROSA, A.L.D. da. Estimativa teórica da geração de biogás do futuro aterro sanitário de Ji-Paraná – RO. *REGET* - v. 17 n. 17, p. 3416- 3424, 2013.

Bioenergia em revista: diálogos, ano 9, n. 1, p. 87-100, jan./jun. 2019

SILVA, Thaise Fernanda da; FREITAS, Irene Rodrigues

*Potencial de geração de biogás a partir de resíduos sólidos urbanos da região noroeste paulista por diferentes modelos técnicos de previsão*

PEDOTT, J.G.J.; AGUIAR, A.O. Biogás em aterros sanitários: comparando a geração estimada com a quantidade verificada em projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo. *HOLOS*, v. 4, 2014, p.195-211.

REGATTIERI, R. C. *Quantificação da Emissão de Biogás em Aterro Sanitário – Estudo de Caso do Aterro Sanitário de São Carlos*. São Carlos, SP, 2009.

SOUZA, R. M. de; SERRA, J. C. V. ZUKOWSKI JUNIOR, J. C.; SANTOS, D. R. R. dos. Análise do potencial energético do biogás proveniente do aterro sanitário de Palmas/TO para geração de energia elétrica. *Revista Científica da Ajes*, v. 2, n.5, 2011.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). Air Emissions from Municipal Solid Waste Landfills – Background Information for Proposed Standards and Guidelines. *Emission Standards Division*. March 2005. EPA-450/3-90-011a.

VIEIRA, G. E. G., CAMPOS, A. E. C., TEIXEIRA, F. L., COLEN, N. G. A. Produção de biogás em áreas de aterros sanitários: uma revisão. *Revista Liberato*, Novo Hamburgo, v. 16, n. 26, p. 101-220, jul./dez. 2015.

1 Irene Rodrigues Freitas. Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Fundação Universidade Federal do Tocantins (2003), mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande (2011) e doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (2015). Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de alimentos e Engenharia Química, nos temas, garantia da qualidade, segurança alimentar, tecnologia de produtos de origem animal, tecnologia de óleos, compostos bioativos, tecnologia de alimentos, operações unitárias, laboratório de engenharia. Tem experiência docente na área de Engenharia de Produção, nos temas: gestão da qualidade, qualidade em serviços, gestão de projetos, melhoria contínua, engenharia no entretenimento. Atua em projeto e pesquisa nas áreas de Operações Unitárias, Gestão da Qualidade, Engenharia de Produção e Energia Renovável. Especificamente nas linhas de desenvolvimento de projetos, processos e produtos, gerenciamento da qualidade com aplicação de sistemas de melhoria contínua em processos e serviços, gestão da qualidade, mercado e produtos em entretenimento, gestão da qualidade na agroindústria, sistema de gestão da qualidade em serviços, proposição de metodologias para processos/produtos/serviço/qualidade, análise e aplicação do gerenciamento de projetos, qualidade de sistemas energéticos, geração de biogás, planejamento energético e Engenharia de Alimentos/Engenharia Química (Extração de óleos, produção de bebidas, cobertura comestível, tecnologias não convencionais, bioprocessos e Operações Unitárias). Atua como revisora de periódicos internacionais, e é membro de corpo editorial do periódico Journal of Bioenergy and Food Science. E-mail: [irfreitas@yahoo.com.br](mailto:irfreitas@yahoo.com.br).

2 Thaise Fernanda da Silva é graduanda em Engenharia Química pelo Centro Universitário do Norte Paulista – UNORP – Brasil. E-mail: [thaise.6\\_fernanda@hotmail.com](mailto:thaise.6_fernanda@hotmail.com)