

## ANÁLISE COMPARATIVA DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOMETANO A PARTIR DA FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM DOIS CENÁRIOS: ATERRO SANITÁRIO E BIODIGESTORES

Katherine Benites Bonato Marana (\*), Graziella Colato Antonio, Juliana Tófano de Campos Leite Toneli

\* Universidade Federal do ABC

katherine.marana@gmail.com

### RESUMO

Dado o atual cenário de necessidades concomitantes nos setores ambiental e energético de preservação ambiental e de diversificação da matriz energética brasileira, os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) apresentam-se como obstáculo à manutenção ambiental, bem como à saúde pública, ao passo que são materiais cujo potencial de produção de energia é elevado, sendo assim uma alternativa interessante para ambos setores. Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa do potencial de produção de biometano a partir de dados de análise gravimétrica e de caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos do município de Santo André por meio de ensaios laboratoriais (cenários de biodigestor) com a literatura a partir de modelo preditivo. A metodologia empregada foi o do Ensaio de Potencial Bioquímico de Metano (PBM) da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU) do município de Santo André em equipamento Automatic Methane Potential Test System II (AMPTS II) responsável pela medida de geração de biometano de forma automatizada. Os trabalhos de literatura foram selecionados pela aplicação do critério do método de decomposição de primeira ordem em municípios pertencentes à Região Metropolitana de São Paulo. Os resultados experimentais mostraram que a partir de um dado montante da FORSU de Santo André é possível gerar 5,91 milhões de Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/ano em biodigestore, enquanto de acordo com a literatura é possível gerar cerca de 55,49% a menos em aterro sanitário quando a fração destinada ao aterro é apenas a FORSU (sem mistura com demais frações combustíveis passíveis de biodigestão). Evidencia-se numericamente a importância da segregação dos resíduos na fonte geradora, uma vez que ao separar a fração orgânica, não há outras frações combustíveis que comprometem negativamente o processo de biodigestão anaeróbia, corrobora com a PNRS reduzindo os impactos ambientais oriundos da destinação de resíduos ao aterro, ao invés de apenas rejeitos, bem como aumentando a participação de fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biodigestão Anaeróbia, FORSU, biometano, gás de aterro, modelo preditivo

### INTRODUÇÃO

A temática dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) abrange um amplo espectro de setores, destacando-se o meio ambiente e o energético, estando ambos fortemente interligados. Tendo em vista que atualmente o cidadão brasileiro gera em torno de 1,035 kg de resíduo ao dia e que esta variável se relaciona com o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* do país, vislumbra-se a dimensão das possíveis problemáticas a serem enfrentadas em um país como o Brasil. Em função do PIB também se relaciona a demanda energética brasileira que vem aumentando nas últimas décadas, sinalizando as incertezas de uma matriz fundamentalmente dependente das hidrelétricas, e mais que isso, a necessidade da diversificação da matriz energética baseada em outras fontes renováveis de energia (ABRELPE, 2018).

Neste sentido, visando uma solução alternativa integrada dos dois setores no que tange tal temática e respeitando as diretrizes estabelecidas pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), os RSU apresentam-se com elevado potencial de aproveitamento energético ao passo que minimizam a quantidade de resíduos destinados aos aterros sanitários, prolongando a vida útil destes espaços, reduzindo vetores de doenças, em especial, nas áreas circundantes dos espaços, mantendo assim a preservação do meio ambiente.

A conversão energética de resíduos pode se dar por meio de dois processos: termoquímicos e bioquímicos. Neste trabalho, o enfoque é dado ao processo bioquímico que consiste basicamente na degradação da fração orgânica por microorganismos na ausência de oxigênio, produzindo majoritariamente um gás energético denominado biometano. Este processo, a biodigestão anaeróbia, ocorre naturalmente em aterros sanitários nestas condições ou em reatores que funcionam sob condições controladas de pH e temperatura e sob ação de microorganismos presentes em inóculos, os biodigestores.

Ao considerar que, em um aterro sanitário, resíduos compostos de diversas frações combustíveis como plásticos, papéis, têxteis restos alimentares, entre outros, são destinados sem segregação na fonte geradora, do ponto de vista do setor energético, o processo de biodigestão anaeróbia que ocorre de forma natural *in loco* conta com a presença indesejada de materiais inorgânicos que comprometem o andamento deste tipo de conversão energética, reduzindo a quantidade de biometano a ser produzido. Pela óptica do setor ambiental, a não segregação dos resíduos na fonte impacta negativamente na quantidade de resíduo destinado ao processo de reciclagem, e conseqüentemente, no aumento de resíduos que são

destinados ao aterro sanitário sem que sejam previamente aproveitados como matéria prima em seus processos de produção. Esta quantidade exorbitante de resíduos destinados aos aterros acarreta ainda na superação da capacidade de recebimento destes locais que atualmente encontram-se processos inviáveis de ampliação de sua capacidade e/ou implantação de novos espaços em outras regiões.

Portanto, este trabalho se justifica pela importância da segregação dos RSU na fonte geradora e seu impacto na produção de biometano, corroborando com a PNRS, reduzindo os impactos ambientais e questões de saúde pública, bem como complementa a matriz energética brasileira.

## **OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho é comparar o potencial de produção de biometano em duas diferentes conjecturas: fração orgânica em aterro sanitário e biodigestores, a partir de dados retirados da literatura e do Ensaio de Potencial Bioquímico de Metano (PBM) da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU) do município de Santo André, na região metropolitana de São Paulo, respectivamente.

## **METODOLOGIAS**

A metodologia utilizada neste trabalho consistiu em uma análise comparativa de um ensaio laboratorial (cenário de biodigestor) com dados encontrados na literatura (cenário de aterro).

Para o Ensaio de Potencial Bioquímico de Metano em escala laboratorial foram utilizados os materiais a seguir:

- Cinco composições distintas de Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos do município de Santo André, de acordo com a gravimetria realizada pelo município na campanha 2015/2016 oriundos da coleta indiferenciada (resíduos úmidos – doméstico/urbano, comercial/central e industrial/suburbano), da Companhia Regional de Abastecimento Integrado de Santo André (CRAISA) e das Feiras Livres;
- Inóculo oriundo de reator UASB que trata esgoto de indústria alimentícia de uma empresa de refrigerantes (Coca-Cola FEMSA).

As etapas que compuseram a metodologia do ensaio experimental foram:

- Amostragem

Estudos estatísticos realizados por Drudi *et al* (2014), consideraram a geração de resíduos e o tamanho da população como as principais variáveis para projetar a amostragem dos RSU destinados ao aterro sanitário, uma vez que a coleta no município em questão era dividida em zonas/setores, interferindo diretamente na composição gravimétrica municipal. Baseado na ASTM D 5231 – 92, foi definido uma amostragem de 36 caminhões de coleta de resíduos (24 toneladas), considerando intervalo de confiança entre 90% e 95% e margem de erro de 10%, bem como resíduos oriundos de feiras livres e CRAISA (DRUDI *et al*, 2014).

- Preparo das amostras

O preparo das amostras foi realizado seguindo as etapas de homogeneização dos RSU, quarteamento, separação de uma determinada porção, novo quarteamento, trituração, resfriamento, secagem, embalagem e armazenamento para a etapa posterior de ensaios laboratoriais, conforme apresentado na Figura 1.

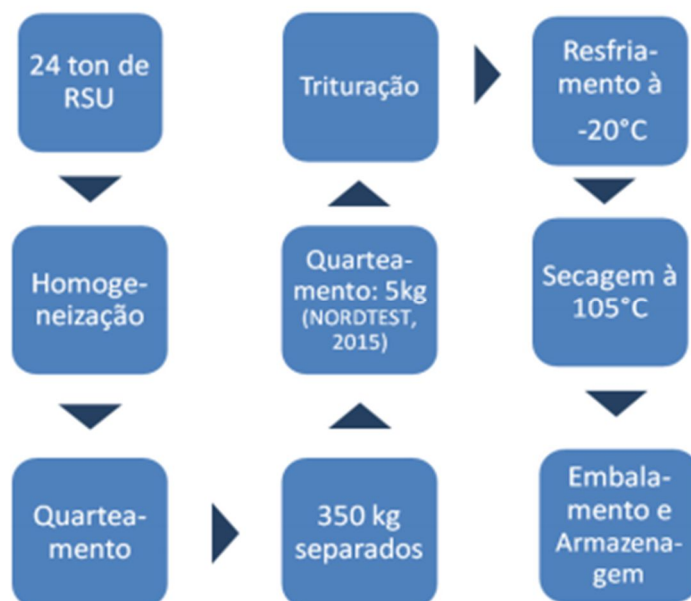


Figura 1: Fluxograma metodológico da etapa de preparo de amostra. Fonte: MARANA, 2017.

- Ensaio Laboratoriais

Os principais ensaios laboratoriais foram os teores de sólidos totais, voláteis e umidade, pH e alcalinidade anteriores e posteriores ao processo de biodigestão anaeróbia visando a caracterização da FORSU e da mistura (substrato + inóculo), utilizando metodologias padrões para tal como a EPA 2540B, EPA 2540 G e VDI 4630.

- Determinação do potencial de produção de biometano

Para os biodigestores, foram utilizados dados experimentais dos autores, considerando apenas a FORSU oriunda da coleta indiferenciada (resíduos úmidos), CRAISA e feiras livres. O Ensaio de Potencial Bioquímico de Metano foi realizado utilizando o equipamento Automatic Methane Potential Test System II (AMPTS II), conforme a Figura 2, que conta com um sistema de agitação mecânica e permite o monitoramento do perfil de produção de biometano automaticamente e sob controle do software do equipamento.



Figura 2: Unidades do AMPTS II. Fonte: MARANA, 2017.

Para a estimativa do potencial de produção de biometano experimental, utilizou-se a equação 1:

$$Q_{CH_4} = m_{RSU} * FORSU * SV * PBM \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

$Q_{CH_4}$  é o volume de metano gerado ao ano, expresso em [Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/ano];

$m_{RSU}$  é a massa de RSU coletada por ano, expressa em [ton/ano];

FORSU é a fração orgânica na análise gravimétrica do RSU, expresso em [%];

SV é o teor de sólidos voláteis, expresso em [%];

PBM é o potencial de produção de metano da FORSU, expresso em [Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/tonelada de RSU].

Para a estimativa do potencial de produção de biometano *in loco*, ou seja, no cenário de aterro sanitário, foi realizado um levantamento bibliográfico cujos critérios de seleção de trabalhos da literatura foram aqueles que calcularam tal potencial para municípios pertencentes à Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e que utilizaram como método de cálculo o método do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) publicado em 1996.

Este método denominado de decomposição de primeira ordem, estima a geração de metano, de maneira simplificada conforme a equação 2:

$$Q_{CH_4} = m_{RSU} * RSU_f * L_0 \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

$Q_{CH_4}$  é o volume de metano gerado ao ano, expresso em [m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/ano];

$m_{RSU}$  é a massa de RSU gerada por ano, expressa em [ton/ano];

$RSU_f$  é a fração de RSU destinado ao aterro, expresso em [%];

$L_0$  é o potencial de geração de metano do RSU, expresso em [kg de CH<sub>4</sub>/kg de RSU].

O termo  $L_0$  pode ser calculado conforme a equação 3:

$$L_0 = FCM * COD * COD_f * F * \frac{16}{12} \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

FCM é o fator de correção de metano, expresso em [%];

COD é o carbono orgânico degradável, expresso em [kg de C/kg de RSU];

$COD_f$  é a fração de COD dissociada, expresso em [%];

F é a fração em volume de metano no biogás em aterro sanitário, expresso em [%];

(16/12) é um fator de conversão de carbono em metano, expresso em [kg de CH<sub>4</sub>/kg de C]

## RESULTADOS

A partir do ensaio experimental de Ensaio Bioquímico de Metano, foi possível obter os resultados apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Potencial de geração de biometano experimental. Fonte: Adaptado de MARANA, 2017.**

	Composição A	Composição B	Composição C	Feiras	Craisa
Nm <sup>3</sup> de CH <sub>4</sub> /ton RSU	264,83	191,48	194,52	170,85	163,93
SV	0,6478	0,7926	0,726	0,8766	0,8438
ST	0,4415	0,362	0,3206	0,2812	0,1839
<b>TOTAL [Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/ton de RSU]</b>	<b>48,70</b>				

Considerando o resultado apresentado, a geração anual de RSU do município de Santo André que, segundo SEMASA (2016) gira em torno de 750 toneladas/dia e o teor de FORSU presente na gravimetria da campanha de 2015-2016 de 44,3%, foi possível calcular o volume de biometano gerado anualmente a partir da FORSU coletada do município, conforme a equação 1, resultando em 5,91 milhões de Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/ano.

Este resultado foi bastante expressivo quando comparado com os valores encontrados na literatura para a geração de gás no aterro. Gomes (2012), ao estudar o mesmo município, realizou os cálculos de acordo com as equações 2 e 3, entretanto com dados de geração de resíduos do ano de 2008. Seu estudo, considerou, o fator de correção de metano igual a 1 (FCM característico do tipo de local de destinação final – aterro sanitário), o COD levando em conta todas as frações combustíveis passíveis de biodegradação gerando metano (40% de papel e têxtil, 16% de resíduos de jardins, outros resíduos orgânicos putrescíveis e restos alimentares e 30% de madeira e palha), COD<sub>f</sub> igual a 77% de acordo com dados propostos pelo IPCC, F igual a 50% e, resultou em 16,44 milhões de Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/ano. Entretanto, em seu trabalho, diferente dos dados experimentais anteriormente apresentados, todas as frações combustíveis que poderiam ser transformadas em biometano foram levadas em consideração no cálculo, enquanto no ensaio laboratorial foi considerada apenas a fração orgânica dos RSU. Sendo assim, ao considerar que no estudo de Gomes (2012) apenas 16% diz respeito à FORSU, tem-se então que a geração de metano em aterro em seu estudo correspondeu a 2,63 milhões de Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/ano.

Candiani (2011) também se debruçou sobre os cálculos de geração de gás de aterro de acordo com o método do IPCC (1996), entretanto com resíduos destinados ao aterro sanitário privado, operado pela Essencis, localizado no município de Caieiras. Em seu trabalho considerou FCM igual a 1, F igual a 50%, COD igual a 157,68 kg de C/ton de RSU e COD<sub>f</sub> igual a 77%, segundo apontado no IPCC (1996), estimando o potencial de geração baseado na geração de uma célula experimental piloto construída no aterro, resultando em 13,2 milhões Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/ano. Comparando os trabalhos de Candiani (2011) e de Gomes (2012), os valores obtidos, embora referentes a municípios distintos foram mais aproximados uma vez que ambos consideraram a mistura de frações combustíveis cujo carbono é degradável no mesmo equacionamento.

A discrepância de 55,49% do ensaio experimental para o calculado de geração de gás de aterro apresentado por Gomes (2012), por exemplo, pode ser também justificada pela presença do inóculo na biodegradação anaeróbia da fração orgânica de RSU, uma vez que é composto de microorganismos que aceleram as etapas envolvidas no processo de biodigestão anaeróbia. Outro fator relevante é o controle das condições em um biodigestor, divergindo do cenário de aterro sanitário em que mesmo empregado de forma adequada, está sujeito às intempéries como pluviosidade, temperatura e umidade, por exemplo. Além disso, ao considerar todas as frações combustíveis com a FORSU como Gomes (2012) e Candiani (2011) apresentaram em seus trabalhos, há outros materiais não biodegradáveis que retardam o processo de biodigestão, devendo ser contabilizado nas estimativas de geração de resíduos. Modelos preditivos como os de segunda ordem levam tais fatores em consideração, mas estes não foram estudados no escopo deste trabalho.

## CONCLUSÕES

Com o estudo realizado neste trabalho e a partir da análise comparativa entre os cenários de biodigestão anaeróbia em reatores do tipo biodigestores e em aterro sanitário, a geração de metano em biodigestores se mostra 55,49% mais produtiva que a geração de gás de aterro, quando analisada apenas a FORSU. É possível inferir que a implementação da coleta seletiva, separando resíduos recicláveis de resíduos orgânicos, é benéfica nos âmbitos energéticos, ambientais e de saúde pública, uma vez que desvia dos aterros sanitários um montante de resíduos que de fato não são rejeitos para serem destinados ao aterro, corroborando com a PNRS já que os resíduos devem passar por todas as etapas de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamentos para que apenas rejeitos sejam aterrados de maneira adequada.

Encaminhando a FORSU coletada no programa de coleta seletiva municipal como matéria prima para processo de conversão energética a partir de rota bioquímica, não apenas colaboraria para aumentar a vida útil dos aterros sanitários, mas também reduziria a quantidade de gases do efeito estufa nocivos à população gerados no interior de um aterro que podem expor a população ao entorno a riscos de explosões, deslizamentos e contaminação. Para além disso, em relação à questão energética, contribuiria para a geração de energia, participando assim da diversificação da matriz energética brasileira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil – 2018**. São Paulo, 2018.
2. Candiani, Giovano. **Estudo da geração de metano em uma célula de aterro sanitário**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do ABC. Santo André, 2011

3. Drudi, K.C.R., Drudi, R., Martins, G., Antonio, G.C., Toneli, J.T.C.L. – **Physical analysis methods of Municipal Solid Waste of Santo André**. Apresentação de Trabalho/Simpósio. Santo André, 2015.
4. EPA – **Standard Methods EPA 2540B – Total Solids Dried at 103 – 105°C** – Approved by SM Committee: 1997.
5. EPA – **Standard Methods EPA 2540G – Total, Fixed and Volatile Solids in Solid and Semisolid Samples** – Approved by SM Committee: 1997.
6. Gomes, F. C. **Levantamento do potencial energético dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Santo André – SP**. Trabalho de Graduação. Universidade Federal do ABC. Santo André, 2012.
7. IPCC – International Panel on Climate Change. In: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook. Vol.3. 1996.
8. Marana, K. B. B. Caracterização da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos do município de Santo André (SP) para avaliação do potencial de produção de biometano. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do ABC. Santo André, 2017.