



POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS E BIOMETANO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE SÃO LUÍS-MA

DANIELE PEREIRA SILVA

RESUMO

A urbanização acelerada e a diversificação de serviços e atividades nas cidades impulsionam a mudança nos hábitos de consumo da população, o que influencia diretamente no volume de resíduos gerados nesse ambiente. Cientes de que o valor dos resíduos não se limita à produção do produto, mas contempla o valor econômico intrínseco alcançado mediante uma gestão eficiente de conversão dessa matéria em um novo produto ou fonte energética limpa de produção. Este estudo busca apresentar um panorama dos resíduos sólidos urbanos gerados em São Luís, assim como identificar o respectivo potencial de produção de Biogás e Biometano. O panorama foi elaborado com dados secundários disponíveis mediante pesquisas bibliográficas, documentais e plataforma eletrônica como: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Sistema Nacional de Informação sobre a Gestão de Resíduos Sólidos e Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São Luís-MA. A partir da projeção populacional de 2023 a 2029 estimou-se o Potencial de Biogás, Biometano e emissões de carbono desses processos, por meio da aplicação de metodologias largamente adotadas em produções técnico científicas, Ferramenta de Cálculo de Emissões de Gases de Efeito Estufa e *Intergovernmental Painel on Climate Change*. Desse modo, as tipologias de resíduos produzidos em São Luís são os recicláveis, os orgânicos, os de construção civil e os domésticos. Onde, destes, mais 7 mil t/dia são do tipo domésticos, os quais são encaminhados ao Centro de Gerenciamento Ambiental - Titara. Desse volume, neste estudo, o potencial de geração de Biogás e Biometano respectivamente identificados foram 81,401,5 m³ de CH₄ /t e 8.195,57 m³ de Biometano /t. Desses potenciais a fração respectivamente equivalente em emissões de carbono são 4.267 Kg CO₂ e em toneladas de carbono equivalente 3.030,81 4.267 KgCO₂ e 104.017,93 tCO₂eq./ano e 245.282,44 tCO₂eq./ano. Com isso, este estudo possibilitou a identificação de estratégias alinhadas com as metas ambientais, climáticas de São Luís e ainda sugeriu a incorporação do Biogás/Biometano à matriz energética local como fonte energética limpa para o cenário maranhense.

Palavras-chave: Biogás; Biometano; Maranhão; Energia; Resíduos.

1 INTRODUÇÃO

A gestão eficiente dos resíduos sólidos é um desafio global que exige abordagens inovadoras e sustentáveis para minimizar os impactos ambientais Santos (2009); Fernandes, A. S.A.et al, (2023).

Em meio a esse contexto, a cidade de São Luís destaca-se como uma área urbana que enfrenta crescentes desafios relacionados à gestão de seus resíduos sólidos, Santos (2009); Oliveira (2021). A quantidade de resíduos gerados diariamente não apenas representa uma

ameaça ao meio ambiente, mas também é uma fonte potencialmente valiosa de recursos renováveis, como o biogás e o biometano Milanez A. Y.; Maia G.B. S.; Guimarães D. D. (2021).

No entanto, o aproveitamento do potencial de biogás e biometano a partir dos resíduos sólidos em São Luís enfrenta obstáculos significativos que merecem uma análise aprofundada. Questões relacionadas à infraestrutura, tecnologias adequadas e políticas públicas desempenham papéis cruciais nesse cenário desafiador. Compreender os desafios específicos enfrentados pela cidade nesta área é fundamental para desenvolver estratégias eficazes que permitam a transição para uma gestão de resíduos mais sustentável, Santos (2009); Milanez A. Y.; Maia G.B. S.; Guimarães D. D. (2021).

Este estudo visa, portanto, explorar o potencial de biogás e biometano nos resíduos sólidos de São Luís, para a implementação da primeira rede de distribuição de Gás Natural Veicular (GNV) do Estado. A justificativa para essa investigação reside na necessidade premente de encontrar soluções inovadoras para lidar com a quantidade crescente de resíduos urbanos área metropolitana de São Luís, ao mesmo tempo, da expansão dos negócios da Companhia Maranhense de Gás (GASMAR), concessionária maranhense Abegás (2023). A qual pretende agregar ao seu portfólio de produto, o GNV, e abastecer os postos da capital e outras indústrias, no mercado regulado. Ao abordar esse problema, pretendemos contribuir para o desenvolvimento de estratégias que possam transformar os resíduos sólidos de São Luís em uma fonte sustentável de energia, promovendo assim um ambiente urbano mais equilibrado e ecologicamente consciente.

Os objetivos deste trabalho incluem a análise detalhada do atual panorama de resíduos sólidos em São Luís e a identificação do potencial de produção de biogás e biometano da região metropolitana. Ao alcançar esses objetivos, visamos fornecer percepções valiosas que contribuam para a construção de uma base sólida para a implementação bem-sucedida de iniciativas que transformem os resíduos sólidos em uma fonte eficiente de energia renovável em São Luís.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Panorama dos Resíduos Sólidos de São Luís

Neste estudo a pesquisa teve caráter descritivo, baseada em dados secundários, obtidos por meio de pesquisas bibliográficas e documentais, coletados em plataformas eletrônicas, tais como Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema Nacional de Informação sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR) e Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) de São Luís- MA.

2.2 Potencial Teórico de Biogás e Biometano

A estimativa do Potencial Teórico de Biogás e Biometano do CGA Titara foi determinada a partir da projeção populacional de São Luís. Para isso, os dados populacionais disponíveis na plataforma eletrônica do IBGE, realizou-se a projeção populacional para o recorte temporal de 2023 a 2029 apresentados na curva de Decrescimento de Crescimento. A partir disso, esses dados foram aplicados a metodologia *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC e Brasil (2020), Figueredo (2007).

Além disso, calculou-se a fração de carbono contida nos RSUs passíveis de degradação orgânica através da aplicação de Estudos Técnicos Científicos de Dias (2016) e da Ferramenta de Cálculo de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A capital maranhense possui 583,06 hab/Km² de extensão territorial e população

estimada em 1037,775 habitantes, segundo IBGE (2022). Segundo informações consolidadas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) a capital maranhense vem apresentando um aumento gradativo no volume de resíduo destinado ao Centro de Gerenciamento Ambiental (CGA-Titara) como observado no Quadro 1. De igual modo, segundo Oliveira (2021) a taxa de recuperação dos resíduos também vem aumentando, de 0,46 em 2015, para 5,57 em 2019.

Quadro 1. Perfil de Geração de Resíduos Sólidos de São Luís 2019 a 2022.

Ano de Referência	Destinado ao Aterro	População Urbana
2019	436.771,20	1.040.739
2020	294.784,30	1.108.975
2021	387.472,00	1.115.932
2022	418.735,90	1.037.775

Fonte: Elaborado pela autora baseado em dados do SINIR e IBGE.

A taxa de recuperação dos resíduos reflete o desenvolvimento da Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos de São Luís, mas também implica em proporções mais elevadas de resíduos biodegradáveis mediante a eficiência dos serviços de coleta da região metropolitana Oliveira (2021). No Quadro 2, podemos observar a composição dos resíduos gerados na capital maranhense e seus respectivos destinos. Ressaltando assim, os resíduos domésticos, os quais seguem para o CGA, passam a ser denominados de rejeitos.

Quadro 2: Tipologias de RSUs de São Luís-MA.

Tipologia de Resíduo	Descrição	Local	Destino	Capacidade
Recicláveis	Plásticos, papel/papelão, metais, vidros	Galpão de Triagem	Centro Ambiental da Ribeira	10 t/dia
Orgânicos	frutas, legumes, verduras, sobras de feiras livres e mercados públicos, poda e capina	Pátio de Compostagem	Centro Ambiental da Ribeira	90 t/mês
Construção Civil	Agregados, tijolos, blocos de concreto, solos, telhas, argamassa, meio-fio, tubos de concreto	Usina de Beneficiamento	Centro Ambiental da Ribeira	7 mil t/mês
Domésticos	Inclui resíduos orgânicos, recicláveis em geral		CGA Titara	+ de 7 mil t/dia

Fonte: Elaborado pela autora baseado em dados de VITAL Engenharia Ambiental e CGLU. O CGA possui área total de 190 hectares, capacidade total de recebimento de 25.788.635,00 m³ e vida útil estimada em 60 anos. Contudo, os RSUs de São Luís são depositados no Aterro Sanitário e Industrial Classe II, a área possui capacidade de recebimento até 2.200 t/dia e apresenta vida útil de 32 anos. No Quadro 3, observamos as respectivas tipologias de rejeitos aceitas nesta área CGA (2023).

Quadro 3. Perfil de Resíduos Sólidos encaminhados ao Aterro Sanitário de São Luís.

Aterro Sanitário e Industrial Classe II
Resíduos domiciliares e urbanos
Resíduos da construção civil

Lodos, borrachas, solos
Madeira e Plástico
Resíduos orgânicos, não recicláveis e de varrição

Fonte: Elaborado pela autora baseado em dados do CGA.

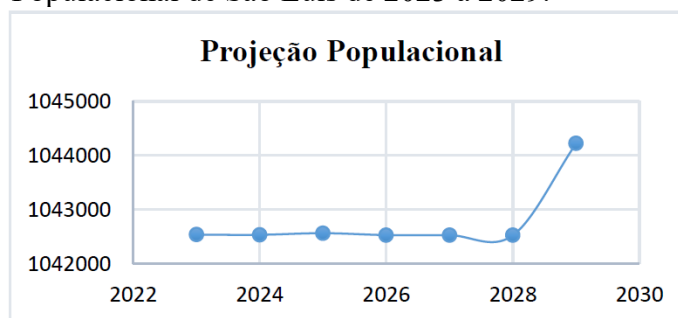
Nesta área é implantado o sistema de drenagem e tratamento do chorume, enquanto o biogás é queimado em *flares* e posteriormente utilizado para geração elétrica.

O Biogás é resultado da digestão anaeróbica de microrganismos que degradam a matéria orgânica Milanez et.al., (2021); Silva et.al., (2020). Desse modo, uma vez devidamente aterrados, os rejeitos sofrem decomposição organiza capaz de formar uma mistura de dois principais gases de efeito estufa: metano (CH_4), que consiste em cerca de 55-75% do volume, e dióxido de carbono (CO_2), composto por cerca de 25- 45% do volume Ogunjuyigbe et al., (2017), e outros gases como o nitrogênio (N), de 0 a 7%, o oxigênio (o), de 0 a 2%, o ácido sulfídrico (H_2S), de 0 a 3%, a amônia (NH_3), de 0 a 3% Possa, (2013); Silva et.al., (2020).

A concentração dos gases e a qualidade do Biogás em aterros sanitários variam conforme os tipos, características, volumes dos resíduos, o método construtivo e operacional, vida útil do aterro, clima da região, entre outras contribuições Callegario (2014); Silva et.al., (2020); Milanez et.al., (2021). Por sua vez, a obtenção do Biometano, surge a partir da elevação da concentração de CH_4 através de processos de purificação do Biogás Milanez et.al., (2021).

Um dos fatores que influi na disponibilidade e escalabilidade do Biogás reside no aumento populacional. À medida que a sociedade evolui seus processos produtivos, as necessidades humanas modificam-se e influenciam diretamente na quantidade de RSUs e impactos ambientais provenientes de alterações nos padrões de consumo Callegario (2014). No Gráfico 1 é possível observar que, a partir de 2029, São Luís apresentará um crescimento populacional significativo através da curva de Decrescimento de Crescimento de São Luís.

Gráfico 1. Projeção Populacional de São Luís de 2023 a 2029.



Fonte: Elaborado pela autora 2023 baseada nos dados do IBGE.

Um dos fatores que influi na disponibilidade e escalabilidade do Biogás reside no aumento populacional. À medida que a sociedade evolui seus processos produtivos, as necessidades humanas modificam-se e influenciam diretamente na quantidade de RSUs e impactos ambientais provenientes de alterações nos padrões de consumo Callegario (2014). No Gráfico 1 é observar que, a partir de 2029, São Luís apresentará um crescimento populacional significativo através da curva de Decrescimento de Crescimento de São Luís.

De posse dessas informações, aplicou-se na Eq. (1), adotada pela metodologia empregada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas IPCC (1996); Figueredo (2007) identificou-se o Potencial Energético de $81,401,5 \text{ m}^3$ de CH_4 /t.

$$Lo = MCF * DOC * DOCF * F * 16/12 \quad \text{Eq (1)}$$

Onde:

Lo: potencial teórico de metano (m³ Biogás/t);
MCF: fator de correção do CH₄ (1%) Aterro bem gerenciado;
DOC: fração de carbono degradável (Kgc) = 0,174;
DOCF: fração de carbono degradável (Kgc)=0,174;
DOCF: papel, alimentos e outros resíduos orgânicos =0,77;
F: fração de CH₄ no Biogás=40%;
 $\frac{16}{12}$: conversão do C para o CH₄;
P: projeção populacional de 2023 a 2029.

A partir desse volume de entrada, aplicou-se na Eq.2 para determinar o potencial de entrada com uma relação de 30% de perda na purificação do CH₄ para 70% de Biometano Brasil (2020). Dessa forma, obteve-se PTMentrada de 25.641,47 Nm³ CH₄/t e consequentemente o valor encontrado na Eq. 3, obtém-se o Potencial Teórico de 8.195,57 m³ de Biometano /t.

$$PTM_{entrada} = BSV * LFG_{biogás} \quad \text{Eq. (2)}$$

$$PT_{biometano} = PTM_{entrada} * 70\% \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

PTMentrada: Potencial teórico de Metano Nm³CH₄/t;
BSV: taxa de biogás por sólidos voláteis (0,45 m³ biogás/t);
LFGbiogás: vazão do Metano (m³ CH₄);
PTbiometano: Potencial teórico de Biometano Nm³CH₄/t;
Rendimento Energético: 90%.

A contribuição na redução dos impactos ambientais oriundos da diminuição de emissões de CH₄ é indiscutível, pois o metano, um dos gases do efeito estufa com maior potencial poluidor, 21 vezes, maior do que o CO₂ Dias (2016); Callegario (2014). De acordo com Dias (2016) a quantidade de carbono equivalente pode ser calculada a partir da equivalência de 1 Kg de resíduos para o correspondente de emissão de CO₂, ou seja, se 1 Kg de Carbono 0,2727, e o Metano tem potencial nocivo de 21 vezes o carbono, implica dizer que 1kg de metano equivale a 5,7267 kg de emissão de carbono Dias (2016). Logo, utilizando o potencial teórico do Biogás e o potencial teórico do Biometano na Eq. 4 respectivamente, encontram-se 4.267 Kg CO₂ e 3.030,81 4.267 KgCO₂. De posse desses resultados, aplica-se na Eq, 5 e obtém-se respectivamente 104.017,93 tCO₂eq./ano e 245.282,44 tCO₂eq./ano.

$$CO_{equivalente} = Lobiogás * 5,7267 \quad \text{Eq. (4)}$$

$$tCO_2 = (MCH_4 * GWPC_{CH_4} * 0,2727) + MCO_2 * 0,2727 \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde:

CO equivalente: carbono equivalente (Kg);
Lo: potencial teórico de metano ou biometano;
tCO₂: carbono equivalente (tCO₂eq./ano);
MCH₄: massa de metano contida no biogás (Kg);
GWPC_{CH₄}: potencial de dano global do metano = 21;

MCO₂: massa de CO₂ contida no biogás (Kg);

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho limitou-se a buscar, dentro da conceituação teórica, discutir elementos que sirvam de apoio/base para formulação de estratégias alinhadas com as metas ambientais e climáticas de São Luís.

O panorama dos resíduos de São Luís ligado ao potencial de produção do biogás oportuniza a implementação de políticas públicas mais assertivas de coleta e destinação dos resíduos domiciliares ao CGA- Titara, pode torna-se um catalisador para promover mudanças comportamentais e de sensibilização ambiental no meio da população.

Os investimentos/negócios voltados para este nicho, podem reverter-se em aumento no fluxo de caixa de empresas público-privadas por transformar um passivo ambiental em um ativo econômico, melhorar a percepção/visibilidade dessas empresas frente aos seus consumidores e Mercado Financeiro através do fortalecimento do compromisso socioambiental que detém.

Além disso, a incorporação do Biogás/Biometano à matriz energética local reduz a dependência do óleo diesel que o Maranhão apresenta, assim como os danos ambientais causados pela emissão dos gases poluentes desse combustível.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se apresentar uma abordagem prática de aplicação do Biogás/Biometano, por meio da utilização da infraestrutura já existente de distribuição de Gás Natural da concessionária maranhense GASMAR. Assim como da mistura do Biometano ao Gás Natural para o abastecimento da rede de transporte público de São Luís.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira das Empresas distribuidoras de Gás Canalizado -ABEGÁS. Gasmar e Eneva assinam contrato para distribuição de GNV no Maranhão, 2023. Disponível: <https://www.abegas.org.br/arquivos/87976> Acesso em: 14 de janeiro de 2024.

BRASIL. Recursos Energéticos Distribuídos: Potencial Técnico do Metano da Pecuária Bovina. **Nota Técnica EPE DEA 013/2020**. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2020.

CALLEGARIO R. P.C. Requisitos para a geração de energia através do biogás no Aterro Sanitário da Ribeira em São Luís - MA. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção. **Universidade CEUMA-UNICEUMA**. p. 67, São Luís, 2014.

Centro de Gerenciamento Ambiental (CGA- Titara). Disponível: www.cgatitara.com.br Acesso em: 19 de janeiro de 2024.

Comitê Gestor de Limpeza Pública-CGLU. Cartilha Municipal Centro Ambiental da Ribeira. **Prefeitura de São Luís**, São Luís- MA p. 8, 2020.

DIAS M. A. G. Avaliação do Potencial Produtivo de Biogás: Estudo Aplicado à uma Granja Produtora de Suínos do oeste paranaense. Monografia (Graduação) – Bacharel em Engenharia de Energia. **Universidade de Brasília -UnB, Faculdade UnB Gama - FGA**. p. 47, Brasília, 2016.

FERNANDES, A. S.A.; SAMPAIO, G.; NASCIMENTO, A. B. F. M.; TEIXEIRA, M. A.; C.

Intermunicipal Public Consortia for Solid waste in metropolitan regions in Brazil: contextual institutional factors of collective action. *Urbe Revista Brasileira de Gestão Urbana*, São Paulo, v. 15, p. 22, 2023.

MILANEZ A.Y.; MAIA G.B.S.; GUIMARÃES D.D.; Biogas: Recent evolution and Potential of a new frontier for renewable energy in Brazil. **National Bank for Economic and Social Develop- BNDES**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 53, p. 177-216, 2021.

OGUNJUYIGBE, A. S. O.; AYODELE, T. R.; ALAO, M. A..Electricity generation from municipal solid waste in some selected cities of Nigeria: an assessment of feasibility, potential and technologies Renew. Sustain. **Energy Rev.**, v.80, p.149-162, 2017.

OLIVEIRA, J. M. F. A Gestão dos Resíduos Sólidos no município de São Luís- MA: principais avanços e desafios uma década após a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2021, 116 f. Dissertação (Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente/CCET). **Universidade Federal do Maranhão**. São Luís, 2021.

POSSA, R. D..Tecnologia alternativa para purificação do metano contido no biogás proveniente da digestão anaeróbica de dejetos de suínos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - **Universidade Estadual do Oeste do Paraná**, Toledo, 2013.

SANTOS, J. V. A Gestão dos Resíduos Sólidos: um desafio. 2009, 271 f. Dissertação (Doutorado em Direito do Estado). **Faculdade de Direito do Lago São Francisco**. São Paulo, 2009.

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; MARDER, M.; ARAÚJO, L. G. S.. Geração quantitativa e qualitativa da emissão de biogás no aterro sanitário de Maceió. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.5, p.401-408, 2020.

VITAL Engenharia Ambiental. Centro Ambiental da Ribeira é inaugurado em São Luís, 2020. Disponível: <https://www.vitalambiental.com.br/centro-ambiental-ribeira-e-inaugurado-em-sao-luis/> Acesso em: 19 de janeiro de 2024.