

CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS VIA GASEIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE MARINGÁ - PR

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.9.26.XII-004>

Bruno Eduardo Figueiredo Fernandes (*), Pâmela Herrera Dutra, André Luis Gomes Simões

(*) Universidade Estadual de Maringá, e-mail: brunoesp13@gmail.com

RESUMO

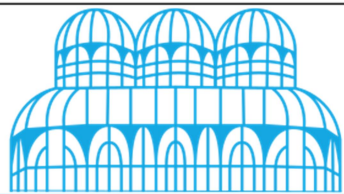
Este estudo avaliou o potencial de recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos (RSU) do município de Maringá-PR por meio da tecnologia de gaseificação, considerando o crescimento da geração de resíduos e a necessidade de integração entre gestão ambiental e planejamento energético. A metodologia baseou-se na estimativa da geração anual de RSU a partir de dados per capita e projeções populacionais, na análise da composição gravimétrica e na determinação da massa efetivamente destinada à conversão termoquímica após a exclusão de materiais inertes e etapas de pré-tratamento para produção de combustível derivado de resíduos (RDF). Adotou-se poder calorífico inferior médio de 17,17 MJ/kg para o RDF e eficiência global de conversão de 19,3%, permitindo estimar a potência instalada e a geração anual de eletricidade considerando 8.000 horas de operação por ano. Os resultados indicaram geração anual inicial de aproximadamente 113 mil toneladas de RSU em 2025, com projeção de crescimento para cerca de 135 mil toneladas em 2045, refletindo aumento populacional e da geração per capita. O potencial de geração elétrica foi estimado entre 35,72 e 42,77 GWh/ano ao longo do período analisado, correspondendo a potência média próxima de 5 MW e produção média anual de cerca de 39,7 GWh, capaz de suprir aproximadamente 15% da população municipal. Os resultados demonstram que a gaseificação apresenta potencial significativo como alternativa de valorização energética, contribuindo simultaneamente para a redução da disposição em aterros sanitários, diversificação da matriz energética local e fortalecimento da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: Recuperação energética; Poder calorífico inferior; Combustível derivado resíduos; Valorização energética; Gestão de resíduos

ABSTRACT

This study evaluated the energy recovery potential of municipal solid waste (MSW) in the municipality of Maringá-PR through gasification technology, considering the growing generation of waste and the need to integrate environmental management with energy planning. The methodology was based on estimating the annual generation of MSW using per capita data and population projections, analyzing the gravimetric composition, and determining the mass effectively directed to thermochemical conversion after excluding inert materials and applying pre-treatment stages for the production of refuse-derived fuel (RDF). An average lower heating value of 17.17 MJ/kg was adopted for RDF and a global conversion efficiency of 19.3%, enabling the estimation of installed capacity and annual electricity generation considering 8,000 operating hours per year. The results indicated an initial annual generation of approximately 113 thousand tons of MSW in 2025, projected to increase to around 135 thousand tons by 2045, reflecting population growth and increased per capita waste generation. The electricity generation potential was estimated between 35.72 and 42.77 GWh/year over the analyzed period, corresponding to an average power of approximately 5 MW and an average annual production of about 39.7 GWh, capable of supplying approximately 15% of the municipal population. The findings demonstrate that gasification presents significant potential as an energy valorization alternative, simultaneously contributing to the reduction of landfill disposal, diversification of the local energy matrix, and strengthening of integrated municipal solid waste management.

KEY WORDS: Energy recovery; Lower heating value; Refuse-derived fuel; Energy valorization; Waste management



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



INTRODUÇÃO

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) constitui um dos principais desafios ambientais enfrentados pelas cidades, especialmente em países em desenvolvimento. O crescimento populacional, aliado ao aumento do consumo e à urbanização acelerada, tem elevado significativamente a quantidade de resíduos gerados, pressionando os sistemas de gestão e ampliando os impactos ambientais associados à disposição inadequada, como contaminação do solo e das águas subterrâneas, emissão de gases de efeito estufa e proliferação de vetores de doenças (ABRELPE, 2023).

Nesse contexto, a recuperação energética de resíduos sólidos urbanos tem sido amplamente discutida como alternativa capaz de integrar gestão ambiental e produção de energia. Entre as tecnologias disponíveis, destacam-se rotas termoquímicas, como incineração, pirólise e gaseificação, além de processos biológicos, como digestão anaeróbia e aproveitamento do biogás de aterros sanitários (CHERNICHARO, 2016; SPEECE, 2007; MATA-ALVAREZ, 2023). Dentre essas alternativas, a gaseificação tem se destacado por permitir a conversão da fração seca dos resíduos em gás de síntese, que pode ser utilizado para geração de energia elétrica ou produção de combustíveis, apresentando vantagens ambientais em relação a formas convencionais de disposição final (HELION, 2024).

Dessa forma, este trabalho tem por objetivo avaliar o potencial teórico de geração de energia elétrica a partir da gaseificação de resíduos sólidos urbanos no município de Maringá (PR).

OBJETIVOS

Avaliar o potencial de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos via gaseificação para o município de Maringá-PR.

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo baseou-se em modelos consolidados na literatura para estimativa da produção de biogás a partir da digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, conforme descrito por Speece (2007), Chernicharo (2016), Mata-Alvarez (2023) e Dalmo (2019).

Inicialmente, estimou-se a massa total anual de RSU gerados no município, a partir de dados de geração per capita e projeções populacionais. A partir desse valor, foi determinada a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU), com base na composição gravimétrica disponível em estudos municipais de caracterização de resíduos. A massa anual da fração orgânica foi calculada utilizando a Equação (1):

$$M_{org} = M_{RSU} \times f_{org} \quad \text{Equação (1)}$$

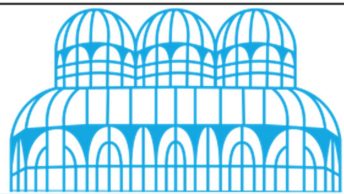
Onde M_{org} representa a massa anual de resíduos orgânicos (t/ano), M_{RSU} corresponde à massa total de resíduos sólidos urbanos gerados (t/ano) e f_{org} indica a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. A estimativa da produção de metano foi realizada considerando valores médios de produção específica de metano reportados na literatura para resíduos orgânicos urbanos. Diversos estudos indicam valores típicos entre 90 e 200 m³ CH₄ por tonelada de resíduo orgânico (MATA-ALVAREZ, 2023). A produção anual de metano foi estimada pela Equação (2):

$$V_{CH_4} = M_{org} \times Y_{CH_4} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde V_{CH_4} representa o volume anual de metano produzido (m³/ano) e Y_{CH_4} corresponde à produção específica de metano (m³ CH₄/t). Para estimar a produção de biogás total, considerou-se que o metano representa aproximadamente 60% da composição volumétrica do biogás (SPEECE, 2007). Assim, pela equação (3):

$$V_{biogás} = \frac{V_{CH_4}}{0,6} \quad \text{Equação (3)}$$

A conversão energética do biogás em eletricidade foi estimada considerando o poder calorífico inferior do metano, aproximadamente 35,8 MJ/m³, e eficiência elétrica média de sistemas de geração baseados em motores a biogás, estimada entre 30% e 40% (CHERNICHARO, 2016).



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



A metodologia adotada neste trabalho baseou-se no modelo proposto por Dalmo (2019), amplamente utilizado em estudos de avaliação do potencial energético de resíduos sólidos urbanos. Inicialmente, foi estimada a massa total anual de resíduos sólidos urbanos (MRSU) gerados no município a partir de dados de geração per capita e projeções populacionais. Em seguida, realizou-se a análise da composição gravimétrica dos resíduos, permitindo identificar as frações efetivamente aproveitáveis para conversão termoquímica. Frações sem potencial energético significativo, como metais, vidro, materiais inertes e rejeitos sanitários, foram excluídas do processo, sendo a massa efetiva destinada à gaseificação determinada conforme a Equação 1.

$$M_{gaseificação} = M_{RSU, total} \times (1 - \%_{inertes}) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde $M_{gaseificação}$ representa a massa de resíduos destinados ao processo de gaseificação (t/ano), $M_{RSU, total}$ corresponde à massa total de resíduos sólidos urbanos gerados no município (t/ano), e indica a fração gravimétrica de materiais não combustíveis presentes nos resíduos.

Após a definição da massa de resíduos aproveitáveis, considerou-se a etapa de pré-tratamento descrita por Dalmo (2019), que inclui separação, redução do tamanho das partículas e ajuste do teor de umidade para aproximadamente 15%, resultando na produção de combustível derivado de resíduos (RDF). Para estimar o potencial energético desse material, adotou-se o valor médio do Poder Calorífico Inferior (PCI) indicado por Dalmo (2019), conforme a Equação (2).

$$LHV_{RDF} = \frac{17,17 \text{ MJ}}{\text{kg}} \quad \text{Equação (2)}$$

Com base nesses parâmetros, foi realizada a estimativa da potência elétrica potencial gerada pelo sistema de gaseificação. O cálculo da potência instalada foi realizado utilizando a relação apresentada na Equação (3), adaptada do modelo utilizado por Dalmo (2019).

$$P = \frac{M_{RDF} \times LHV_{RDF} \times \eta \times 0,28}{8760} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde P representa a potência elétrica estimada da planta (MW), M_{RDF} corresponde à massa anual de combustível derivado de resíduos alimentada no sistema (t/ano), LHV_{RDF} indica o poder calorífico inferior do RDF (MJ/kg) e η representa a eficiência global da planta de gaseificação.

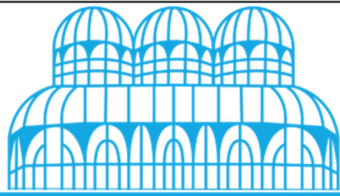
A eficiência global do sistema de gaseificação adotada neste estudo foi de 19,3% ($\eta = 0,193$), valor que considera as perdas energéticas do processo, o consumo interno da planta e as etapas de pré-tratamento do combustível, conforme parâmetros operacionais apresentados por Dalmo (2019). A energia elétrica anual gerada foi estimada considerando uma operação média de 8.000 horas por ano, sendo o cálculo realizado a partir da potência elétrica estimada da planta, conforme a Equação (4).

$$E = P \times 8000 \quad \text{Equação (4)}$$

Onde E representa a energia elétrica anual gerada (MWh/ano), P corresponde à potência elétrica instalada (MW) e 8.000 indica o número de horas efetivas de operação anual. A aplicação dessas equações permitiu estimar o potencial de geração de energia elétrica a partir da gaseificação dos resíduos sólidos urbanos, conforme a metodologia proposta por Dalmo (2019).

RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia baseada no modelo proposto por Dalmo permitiram estimar o potencial de recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Maringá – PR. Inicialmente foi realizada a estimativa da geração anual de resíduos sólidos urbanos para o ano base de 2025, resultando em aproximadamente 113.068,42 toneladas por ano. Esses dados foram obtidos a partir de projeções populacionais e de geração per capita de resíduos sólidos urbanos, seguindo parâmetros utilizados em estudos nacionais de gestão de resíduos sólidos urbanos (IBGE, 2023).



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026



De acordo com a Figura 1, a análise da composição gravimétrica indicou que aproximadamente 46,10% da massa total de resíduos corresponde à fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU), resultando em cerca de 52.124,54 toneladas anuais dessa fração. Esses valores estão dentro das faixas observadas em estudos brasileiros de caracterização de resíduos sólidos urbanos, nos quais a fração orgânica representa parcela significativa da composição gravimétrica dos resíduos domiciliares (ABRELPE, 2023).

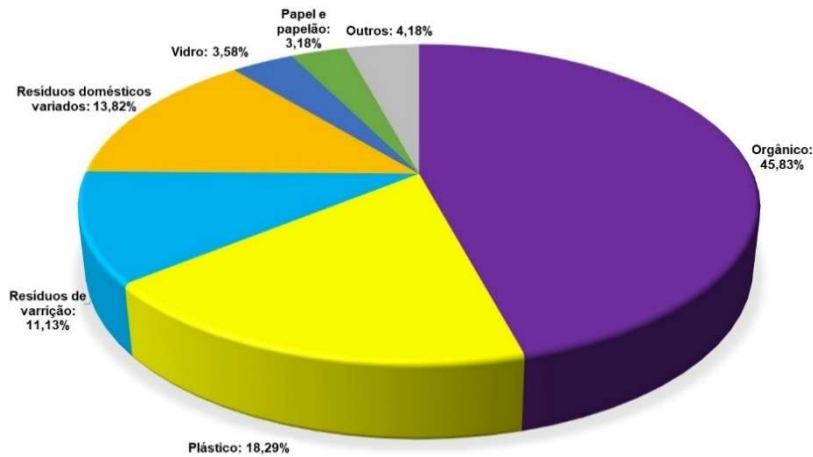


Figura 1: Composição gravimétrica dos RSU de Maringá. Adaptado de Longhini (2017)

A Figura 2 demonstra a projeção da geração de resíduos ao longo do horizonte de 20 anos que indicou crescimento gradual da massa total gerada, atingindo aproximadamente 135.407,38 toneladas por ano em 2045, das quais 62.422,80 toneladas correspondem à fração orgânica. Esse aumento representa aproximadamente 19,7% de crescimento na geração total de resíduos, refletindo principalmente o crescimento populacional e o aumento da geração per capita de resíduos sólidos urbanos ao longo do período analisado (IBGE, 2023).

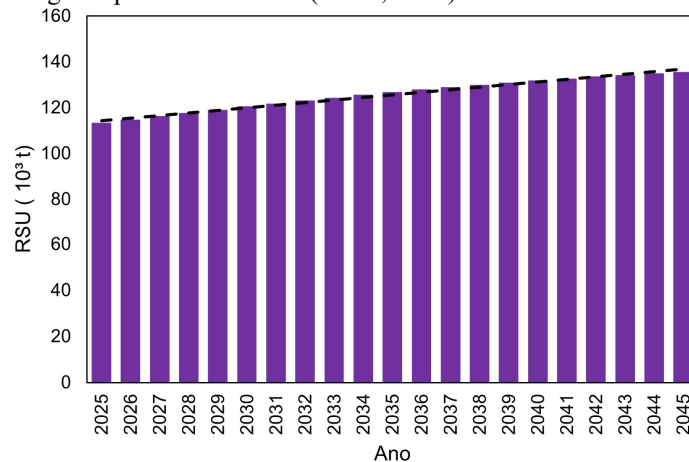
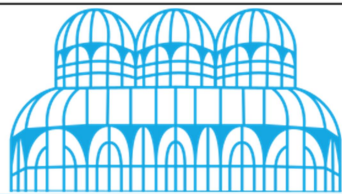


Figura 2: Projeção da geração anual de resíduos sólidos urbanos no município de Maringá (PR) no período de 2025 a 2045

Diferentemente de abordagens que destinam a fração orgânica a processos biológicos, neste estudo foi considerado que toda a massa de resíduos sólidos urbanos, incluindo a fração orgânica, pode ser utilizada como matéria-prima no processo de gaseificação. Essa abordagem é compatível com a literatura técnica sobre conversão termoquímica de resíduos, que indica que diferentes frações dos resíduos sólidos urbanos podem ser processadas em sistemas de gaseificação após etapas adequadas de preparação do combustível, como secagem, homogeneização e redução do teor de umidade (DALMO, 2019).

A partir da massa total de resíduos disponível e adotando um poder calorífico inferior médio ponderado de 7,31 MJ/kg, foi possível estimar o potencial energético contido no fluxo de resíduos do município. Esse valor de poder calorífico encontra-se dentro da faixa reportada para resíduos sólidos urbanos em estudos de aproveitamento energético no Brasil, considerando misturas contendo frações orgânicas, papel, plásticos e materiais lignocelulósicos (DALMO, 2019).



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Com base nesses parâmetros e considerando as eficiências típicas de sistemas de conversão energética por gaseificação, foi estimada uma produção em 2025 de 35,72 GWh/ano e em 2045 de 42,77 GWh/ano de energia elétrica, conforme Figura 3. Considerando uma operação média de 8.000 horas por ano, esse valor corresponde a uma potência elétrica média próxima de 5 MW, valor compatível com instalações de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos de porte municipal (DALMO, 2019).

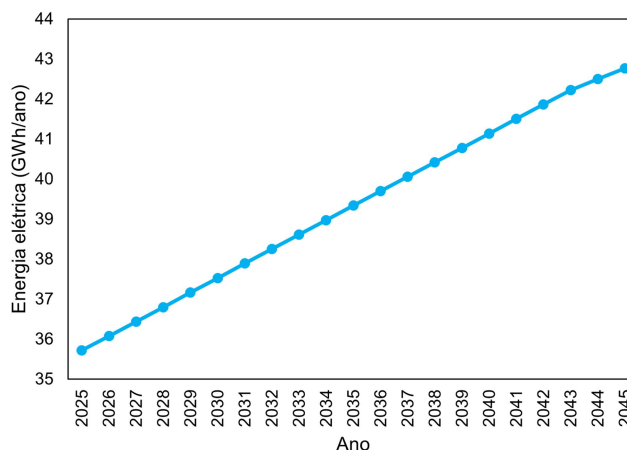


Figura 3: Projeção da geração anual de energia elétrica a partir da gaseificação de RSU no município de Maringá (PR) no período de 2025 a 2045

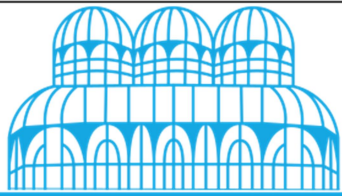
Além disso, o volume de energia elétrica estimado seria suficiente para atender aproximadamente 60.926 habitantes, o que corresponde a cerca de 15% da população do município de Maringá. Esse resultado demonstra que os resíduos sólidos urbanos podem representar uma fonte relevante de energia complementar para o sistema energético local, além de contribuir para a redução de resíduos destinados a aterros sanitários (ABRELPE, 2023).

De modo geral, os resultados indicam que a aplicação da tecnologia de gaseificação aos resíduos sólidos urbanos de Maringá apresenta potencial significativo de recuperação energética, contribuindo simultaneamente para o aproveitamento energético dos resíduos e para a melhoria da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos no município (DALMO, 2019).

CONCLUSÕES

Este estudo avaliou o potencial de recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Maringá (PR) por meio da tecnologia de gaseificação. A partir da estimativa da geração de resíduos e da análise de sua composição gravimétrica, foi possível determinar o potencial energético associado ao aproveitamento termoquímico desses materiais, considerando o aproveitamento de toda a massa de resíduos, incluindo a fração orgânica. Os resultados indicaram uma produção média estimada de aproximadamente 39,70 GWh por ano de energia elétrica, correspondente a uma potência média próxima de 5 MW.

Esse potencial seria capaz de suprir cerca de 15% da população do município (64.500 habitantes/ano), demonstrando que os resíduos sólidos urbanos podem representar uma fonte relevante de energia complementar. Dessa forma, a gaseificação se apresenta como uma alternativa promissora para o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos, contribuindo simultaneamente para a diversificação da matriz energética e para a melhoria da gestão de resíduos no município.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023**. São Paulo: ABRELPE, 2023.
2. BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 7 out. 2025.
3. CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG, 2016.
4. DALMO, F. C. **Avaliação do potencial energético de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. 2019. Tese (Doutorado) – *Federal University of Jequitinhonha and Mucuri Valleys*, 2019.
5. HELION, G. Gasification technologies for municipal solid waste energy recovery. **Energy Conversion and Management**, 2024.
6. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas populacionais e indicadores demográficos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.
7. LONGHINI, Renan Henrique Oliveira; SOARES, Ana Claudia Valério; NECKEL, Nicolas Roberto; DE ANGELIS NETO, Generoso. **Avaliação e análise dos resíduos sólidos municipais de Maringá, Paraná**. In: *Encontro Internacional de Produção Científica (EPCC)*, XII., 2021, Maringá. Anais eletrônicos... Maringá: UNICESUMAR, 2021.
8. MATA-ALVAREZ, J.; DOSTA, J.; MACÉ, S.; ASTALS, S. **Anaerobic digestion of organic solid waste**. Londres: IWA Publishing, 2023.
9. SPEECE, R. E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Nashville: Archae Press, 2007.