

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS NO MUNICÍPIO DE ERECHIM (RS)

ANALYSIS OF ECONOMIC VIABILITY FOR ELECTRICITY GENERATION FROM BIOGAS IN THE MUNICIPALITY OF ERECHIM (RS)

Rúbia Carla Passaglia^a, Carlos Alberto Frantz dos Santos^a, Cibele Lúcia Bombardelli^a

^aUniversidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS)

rubia-passaglia@uergs.edu.br, carlos-santos@uergs.edu.br, cibele-bombardelli@uergs.edu.br

Submissão: 15 de fevereiro de 2024

Aceitação: 29 de julho de 2024

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi analisar a viabilidade econômica da implantação de uma usina destinada ao aproveitamento do biogás para a geração de energia elétrica, utilizando a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos do município de Erechim (RS). Para avaliar a viabilidade econômica, procedeu-se ao cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR), do *Payback*, do *Payback* Descontado (PBD) e do Fluxo de Caixa Total (FCT). Estimou-se uma produção diária de biogás em 7.998 m³ e de energia elétrica em 16.795 kW, a partir do processamento de 50 toneladas de resíduos sólidos urbanos diariamente. As projeções demonstraram resultados positivos para um horizonte temporal de 10 anos com um VPL positivo de R\$ 12.531.026,00 e a taxa interna de retorno em 28,90%. O *Payback* foi calculado em aproximadamente 3 anos e 3 meses, enquanto o *Payback* descontado foi estimado em cerca de 2 anos e 2 meses, e o *payback* descontado em aproximadamente 2 anos e 8 meses. Dessa forma, foi possível concluir a viabilidade financeira do empreendimento. Estes resultados permitem prever uma diminuição do volume de resíduos encaminhados para aterros sanitários. Adicionalmente, observa-se a oportunidade de produção de energia elétrica renovável através da utilização do biogás. Estes resultados permitem prever uma diminuição do volume de resíduos encaminhados para aterros sanitários e uma redução nos custos públicos de aproximadamente R\$ 3.528.200,00 referente a economias nos custos de transbordo e economias com o custo anual de energia elétrica.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos; digestão anaeróbia; energia renovável; Valor Presente Líquido.

Abstract

The objective of this research was to analyze the economic feasibility of establishing a plant for biogas recovery and electricity generation using the organic fraction of Urban Solid Waste (USW) from the municipality of Erechim (RS). To assess economic feasibility, calculations were performed for the Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period, Discounted Payback Period (DPB), and Total Cash Flow (TCF). It was estimated that daily biogas production would be 7,998 m³ and electricity generation would be 16,795 kW from processing 50 tons of USW daily. Projections demonstrated positive results over a 10-year horizon, with a positive NPV of R\$ 12,531,02.00 and the internal rate of return at 28.90%. The Payback Period was calculated to be approximately two years and two months, while the Discounted Payback Period was estimated to be two years and eight months. Therefore, the financial viability of the project was concluded. These results allow for the prediction of a reduction in the volume of waste sent to sanitary landfills and a reduction in public costs of approximately R\$ 3,528,200 due to savings in transshipment costs and annual electricity costs.

Keywords: urban solid waste; anaerobic digestion; renewable energy; Net Present Value.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e o processo de urbanização têm desempenhado um papel significativo no aumento e na diversificação da geração de resíduos sólidos, bem como nos desafios relacionados à sua disposição final de maneira ambientalmente adequada. Em 2022, a geração *per capita* de resíduos atingiu 381 kg/ano, resultando em uma produção anual de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil de 81 milhões de toneladas; e mais de 61% desse total foi direcionado para aterros sanitários (ABRELPE, 2023). Quando depositados em aterros, esses RSU se decompõem e geram gases, além de um líquido com alta concentração de demanda química de oxigênio e ácidos graxos voláteis (Malinowsky, 2016).

A disposição dos RSU em aterros sanitários elimina a possibilidade de sua reutilização, o que contraria as diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), conforme regulamentado pela Lei nº 12.305/2010. A PNRS preconiza a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e a disposição final adequada dos resíduos, fazendo distinção entre resíduos (materiais passíveis de reaproveitamento ou reciclagem) e rejeitos, ou seja, materiais que não podem ser reaproveitados (Brasil, 2010). Além disso, o consumo de energia elétrica no Brasil tem crescido de forma expressiva na última década, impulsionando a busca por fontes alternativas como uma medida para mitigar os impactos ambientais associados às fontes de energia convencionais (Edwiges, 2017). A demanda energética nacional aumentou significativamente nos últimos anos. Em 2013, o consumo foi de 463.142,4966 GWh, aumentando para 509.364,1029 GWh em 2022 (Brasil, 2023), registrando uma tendência consistente de aumento (9,98 %) ao longo deste período.

Nesse contexto, a fração orgânica dos resíduos sólidos tem sido reconhecida como um recurso potencial para a conversão em produtos energéticos por meio de transformações microbianas (Khairuddin *et al.*, 2015). Dada a grande quantidade de RSU gerados no Brasil, estudos têm demonstrado o alto potencial metanogênico da fração orgânica dos RSU por meio do tratamento de digestão anaeróbia. Nesse sentido, a utilização de biodigestores é apontada como uma abordagem promissora, especialmente por representar uma oportunidade de reduzir a poluição ambiental e, ao mesmo tempo, minimizar

os impactos da crise energética mediante o aproveitamento do biogás (Edwiges, 2017).

O biogás é gerado pela decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos, transformando-se em uma alternativa de energia renovável, pois os resíduos deixam de ser um passivo ambiental e tornam-se um ativo econômico. O biogás consiste em uma mistura de gases, predominantemente composta por 55% a 65% de metano e 30% a 40% de dióxido de carbono (Oliveira, 2017). Devido à maior proporção de metano em sua composição, o biogás pode gerar valor econômico por meio de sua conversão em energia elétrica utilizando-se um grupo motogerador adaptado. Outra fonte de valor econômico está na produção de biometano, que é um substituto do gás natural veicular (GNV) obtido através da purificação do biogás, ou ainda na geração de energia térmica mediante o processo de combustão. A utilização de biodigestores é uma alternativa que combina o tratamento adequado da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos com a diversificação da matriz energética, sendo aplicável em várias situações e no contexto atual da crise energética e da problemática dos RSU (Rocha, 2016).

Diversas pesquisas nacionais têm analisado a viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás, como em contextos de propriedades rurais (Silva *et al.*, 2023) e em processos industriais (Pereira; Zavarise; Pinotti, 2021). O aproveitamento do biogás proveniente de RSU foi analisado no município de Fortaleza (CE) por Oliveira (2015), em Ijuí (RS) por Gehm (2019), em Toledo (PR) por Jacobowski *et al.* (2020), na região de Ouro Preto (MG) por Gomes (2022) e em Ilhéus (BA) por Faria, Leite e Oliveira (2022). Os resultados destes estudos convergem para a viabilidade econômica dos projetos. Dessa forma, novos estudos são justificados pelo fato que os indicadores econômicos, como Taxa Interna de Retorno (TIR) e o período de *Payback*, podem variar conforme o contexto específico de cada projeto, considerando-se fatores como investimento inicial, taxas de retorno e custos. No entanto, os estudos sugerem que os projetos de aproveitamento energético do biogás apresentam resultados econômicos favoráveis, além de contribuir significativamente para a sustentabilidade ambiental. O município de Erechim (RS) é um exemplo de cidade que justifica a necessidade de novas pesquisas sobre a viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás, pois os RSU de Erechim são transportados por aproximadamente 100 km até o

aterro sanitário de Ipumirim (SC).

Considerando-se a importância dos estudos sobre viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás, o objetivo deste artigo é analisar a viabilidade econômica da implantação de uma usina destinada ao reaproveitamento do biogás e à geração de energia elétrica, utilizando a fração orgânica dos RSU do município de Erechim (RS). Além disso, o estudo realiza um diagnóstico do gerenciamento dos RSU no município de Erechim.

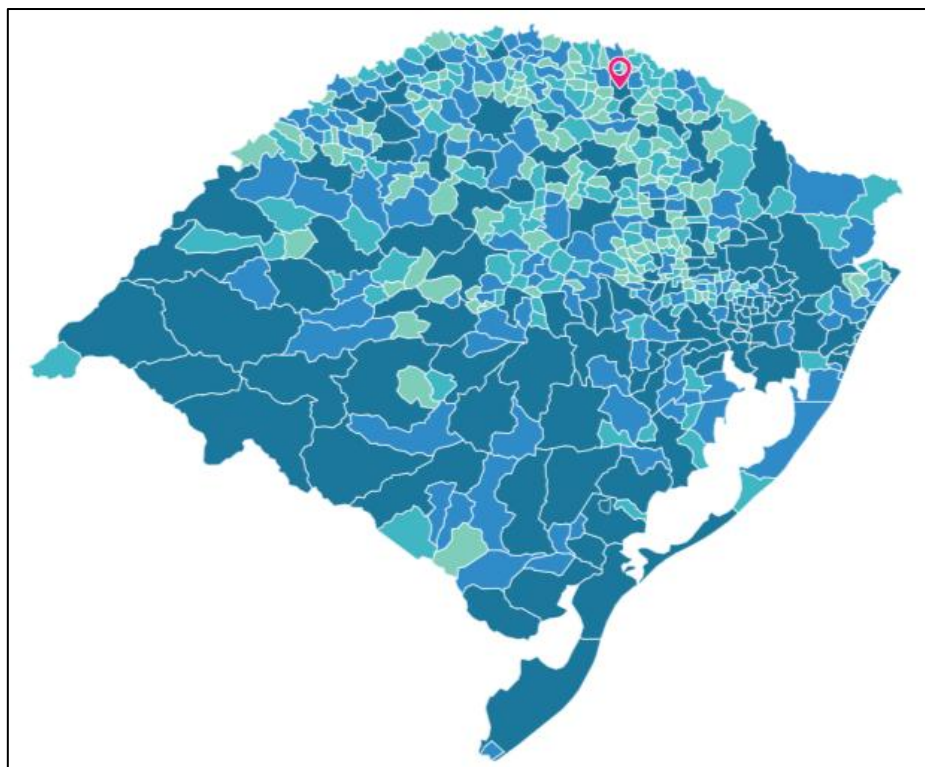
2 MÉTODO

Para atingir o objetivo, foi realizado um estudo de caso (Yin, 2010) de abordagem quali-quantitativa. A pesquisa foi conduzida no município de Erechim, localizado na região norte do estado do Rio Grande do Sul. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município é considerado o polo da região do Alto Uruguai gaúcho e é a segunda cidade mais populosa do norte do Estado. O Município de

Erechim fica localizado a 363 km da capital do estado Rio Grande do Sul, possui uma área total de 429,164 km² e conta aproximadamente com 105.705 habitantes e índice de desenvolvimento humano municipal de 0,776 (IBGE, 2022). Além disso, do total da população residente no município, 100.736 pessoas (95,3%) residem no meio urbano (SEBRAE/RS, 2020). Identifica-se, portanto, que a população reside majoritariamente no perímetro urbano e, com isso, o aproveitamento do biogás proveniente de RSU tem aderência ao perfil de Erechim, pois existe uma concentração populacional no perímetro urbano do município.

A escolha do município foi baseada em três motivos: a possibilidade de redução dos custos para os cofres públicos com as despesas de destinação dos RSU, a posição de município de referência para a região do Alto Uruguai e o fato de atualmente enviar os RSU gerados no município para um aterro sanitário localizado no estado de Santa Catarina. A Figura 1 apresenta a localização do município no estado do Rio Grande do Sul.

Figura 1 – Localização de Erechim (RS)



Fonte: IBGE (2022).

Os dados foram adquiridos tanto de fontes primárias, por meio de questionários, quanto de fontes secundárias, como documentos públicos e contratos relacionados aos RSU. Foi desenvolvido

um questionário específico aplicado à Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA) e à Secretaria Municipal de Planejamento, Gestão e Orçamento Participativo (SMPGOP) para esta

finalidade. Além disso, como fonte de dados primários, foram solicitados orçamentos a fabricantes, fornecedores ou representantes dos equipamentos necessários para a implementação de uma usina de biogás utilizando biodigestores. Os dados secundários foram obtidos por meio de consulta a sites oficiais e acesso a documentos públicos, normas e contratos relacionados à gestão de RSU do município.

A análise dos dados secundários foi realizada por meio de análise de conteúdo e estatística descritiva. A análise dos cálculos de viabilidade econômica incluiu a avaliação dos indicadores financeiros, como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback*, Método de *Payback* Descontado (PBD) e Fluxo de Caixa Total (FCT), conforme definem ou preconizam Gitman e Zutter (2017). O VPL consiste em trazer ao tempo presente um fluxo de caixa esperado (Cruz; Andrich, 2013). Se ele for positivo, a proposta é aceita; caso contrário, se for negativo, a proposta pode ser desconsiderada (Terra, 2020). Ao calcular o VPL de cada ano, foi utilizada uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 14,00% ao ano, considerando-se que essa taxa é superior à taxa SELIC, que atualmente está em 11,75% ao ano (BCB, 2024). O VPL é expresso pela Fórmula 1.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - FC_0$$

Fonte: Gitman e Zutter (2017)

Onde,

VPL: Valor Presente Líquido

FC₀: Investimento inicial do projeto

FC_t: valor presente de suas entradas de caixa

r: momento em que o fluxo de caixa ocorreu

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que torna o VPL de uma oportunidade de investimento igual a zero, representando a taxa de retorno esperada, se a empresa investir no projeto e receber as entradas de caixa previstas (Gitman; Zutter, 2017). A interpretação da TIR envolve compará-la à Taxa Mínima de Atratividade (TMA): se a TIR for maior que a TMA, o projeto é viável e continua em análise ou é aceito; se for menor, o projeto é inviável e pode ser rejeitado (Cruz; Andrich, 2013). A TIR é expressa pela Fórmula 2.

$$0 = VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - FC_0$$

Fonte: Gitman e Zutter (2017)

Onde:

FC_n: Valor presente das entradas de caixa;

FC₀: Investimento Inicial;

R: Taxa de desconto (igual ao custo de capital da empresa);

t: Tempo de desconto de cada entrada de caixa;

n: Tempo de desconto do último fluxo de caixa.

A análise do *Payback* consiste em determinar em quanto tempo o capital investido no momento zero do projeto será recuperado (Guedes, 2020). De acordo com Gitman e Zutter (2017), a interpretação dos resultados do *Payback* envolve critérios de decisão, em que o período máximo aceitável de recuperação do investimento é determinado pela administração: se o *Payback* for menor que esse período máximo, o projeto é aceito; se for maior, o projeto é rejeitado. A demonstração de fluxos de caixa resume os movimentos de entrada e saída de caixa durante um período específico, oferecendo uma visão dos fluxos operacionais, de investimento e de financiamento, além de conciliar esses fluxos com as variações dos saldos (Gitman; Zutter, 2017). O resultado do fluxo de caixa é o saldo disponível, ou seja, a diferença entre o valor total recebido e os pagamentos realizados no mesmo período.

A estimativa de produção de biogás e de geração de energia elétrica foi feita seguindo a metodologia descrita por Gomes *et al.* (2016), com base nos dados obtidos das fontes primárias e secundárias. A determinação da concentração de matéria orgânica em substratos sólidos ou semissólidos pode ser realizada por meio da análise dos teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF). Em geral, quanto maior a proporção de sólidos voláteis em relação aos sólidos totais, maior é o potencial de produção de biogás de um determinado substrato (Gomes *et al.*, 2016). No entanto, de acordo com o mesmo autor, a melhor alternativa para uma estimativa mais precisa da produtividade real de metano para um substrato específico é a realização de ensaios de degradabilidade do material em reatores em escala de laboratório. A Tabela 1 foi elaborada a partir de dados secundários por Gomes *et al.* (2016) e detalha a caracterização de resíduos orgânicos segregados na fonte, incluindo o potencial de produção de biogás por tonelada para o substrato da fração orgânica dos RSU. De acordo com os mesmos autores (2016), os valores correspondem a estimativas adaptadas à realidade no Brasil por BN Umwelt GmbH, com base no RSU da região de Blumenau (SC).

Tabela 1 – Caracterização da fração orgânica dos RSU para potencial de produção de biogás

ST (%)	SV (%)	Potencial de Produção de Biogás /SV (Nm ³ /t SV)	Potencial de Produção de Biogás /t(Nm ³ /t)	Teor de Metano no Biogás (% CH ₄)
15-20	85-95	850	110-160	55-60

Fonte: adaptado de Gomes *et al.* (2016).

Ao utilizar o valor médio mensal da quantidade de RSU gerados no município de Erechim, juntamente com o valor médio do potencial de produção de biogás por tonelada apresentado na Tabela 1, é possível estimar o potencial de produção de biogás para o município em 246.981,15 m³/mês. Em condições normais de temperatura e pressão, 1 m³ de biogás bruto, contendo 60% de CH₄, possui um poder calorífico de 21,5 MJ, equivalente a 5,97 kWh de energia elétrica (Edwiges, 2017). Dessa forma, é possível estimar a produção de energia elétrica com base na estimativa do potencial de produção de biogás, resultando em 1,47 MWh de energia elétrica renovável por mês.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Diagnóstico do Gerenciamento dos RSU no Município de Erechim (RS)

A partir da aplicação do questionário foi possível constatar que os RSU do município de Erechim (RS) são encaminhados para um aterro sanitário situado no município de Ipumirim (SC), aproximadamente a 100 km de distância. Quanto à composição gravimétrica dos RSU municipais, a Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA)

indicou que em 2013, durante a elaboração do Plano Municipal de Resíduos Sólidos, foi realizado um estudo gravimétrico dos resíduos coletados, revelando 21% de papel/papelão, 8,4% de plástico, 4,4% de metais, 1,3% de vidro, totalizando 35,1% de resíduos recicláveis. Além destes resíduos, outros 58,6% referem-se à matéria orgânica e 6,3% de outros materiais. Portanto, apenas estes dois últimos tipos de resíduos são encaminhados atualmente para o aterro sanitário, resultando em uma estimativa de 64,9% dos resíduos gerados.

Segundo a SMMA, o levantamento do histórico de pesagens e custos dos serviços de coleta e transbordo iniciou-se em outubro de 2019, evidenciando desde então uma redução na geração de resíduos, correspondendo a 2,32%. A Tabela 2 apresenta os custos médios mensais da coleta seletiva, da coleta convencional e do custo de transporte dos resíduos entre Erechim e Ipumirim (SC), e a pesagem média mensal de RSU gerada durante o período de outubro de 2019 e setembro de 2022. Neste período, a média mensal de geração de resíduos orgânicos foi de 1.829,49 toneladas, e a geração *per capita* da fração orgânica de RSU para o município foi de 0,57 kg/hab./dia.

Tabela 2 – Custos Médios Mensais da Coleta Seletiva, Convencional e do Transbordo

Custo Mensal Médio (R\$)	2019	2020	2021	2022
Coleta Seletiva	133.362	136.398	151.851	230.658
Coleta Convencional	173.136	162.203	192.875	280.782
Custo Transbordo de Erechim (RS) a Ipumirim (SC)	24.664	24.860	20.427	50.692
Custo Médio Mensal Total	331.163	323.462	365.154	562.132
Pesagem Mensal Média de RSU Convencional (toneladas)	1.876,41	1.835,02	1.812,80	1.828,73

Fonte: Prefeitura Municipal de Erechim (2022).

Portanto, o custo de transporte da destinação final dos RSU convencionais entre Erechim e Ipumirim representam um total de R\$ 1.072.260,92, entre outubro de 2019 e setembro de 2022. De uma forma geral, constatou-se um aumento médio mensal de 69,79% em relação aos custos médios mensais de 2019 quando

comparados com os dados de 2022. O custo médio da coleta seletiva aumentou 72,95%. O custo da coleta convencional aumentou 62,13%. E o custo de transbordo entre Erechim e Ipumirim foi de 105,66%.

Apesar da existência de coleta seletiva no município, a SMMA destacou que persistem

problemas com certos materiais, como o vidro, frequentemente descartados de forma inadequada, apesar das campanhas e publicações sobre o tema. Quanto ao aterro sanitário municipal de Erechim, verificou-se que está inoperante desde 2017, passando por manutenção devido ao tratamento do chorume gerado pela deposição dos resíduos. A administração municipal está conduzindo estudos ambientais para regularizar a área, visando sua reutilização para a disposição final dos resíduos municipais. Sobre a possibilidade de utilizar a área do aterro para a implantação de um biodigestor, a SMMA considerou a opção interessante, mas ressaltou a necessidade de um estudo mais aprofundado devido à área limitada e proximidade com as lagoas de estabilização.

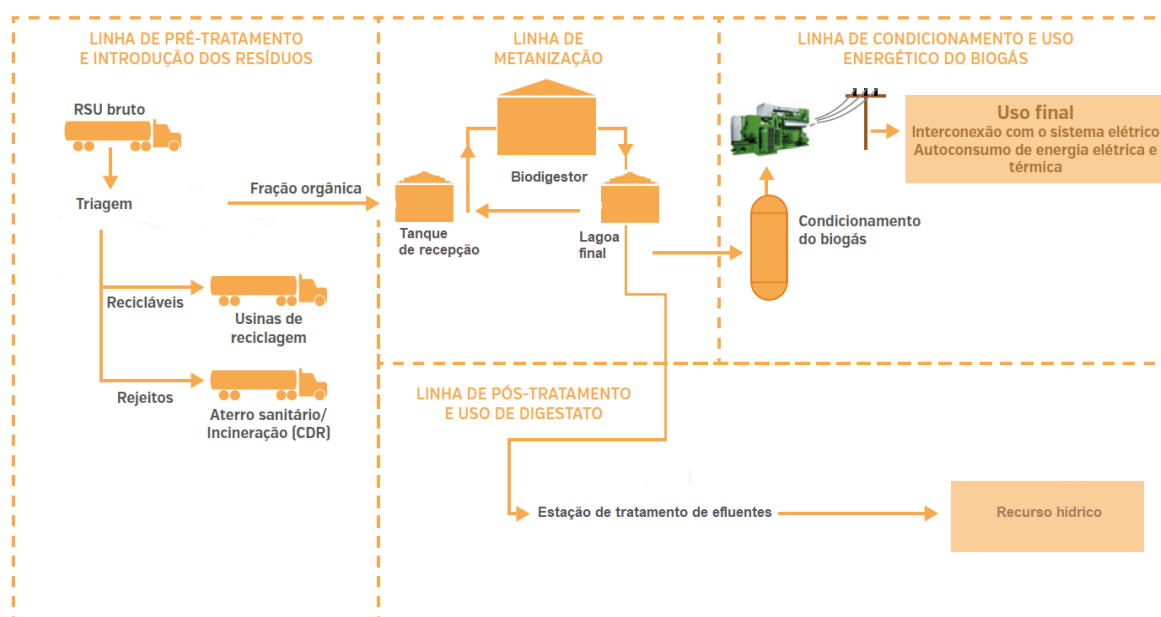
No contexto do arranjo físico e tecnológico proposto, as instalações de uma usina de biogás requerem infraestrutura específica para o recebimento e armazenamento dos substratos e produtos. No município de Erechim, onde a coleta seletiva está em vigor há cerca de 15 anos, o local já existe e pode ser considerado como etapa de recepção e pré-tratamento do substrato que será encaminhado para o biodigestor. Os resíduos não recicláveis serão enviados, juntamente com os resíduos orgânicos da coleta convencional, para um equipamento de desidratação e trituração mecânica, separando o material orgânico e o lodo dos materiais sintéticos, etapa crucial para o processo.

O biodigestor será responsável pela geração

do biogás, convertido em energia elétrica, e pelo digestato, encaminhado para a estação de tratamento de efluentes (ETE). O modelo de biodigestor proposto para este estudo é o *Continuous Flow Stirred Tank Reactor* (CSTR), um tipo de reator de mistura contínua utilizado para a digestão anaeróbica de substratos mais densos, como os RSU. Os reatores CSTR são amplamente utilizados internacionalmente para a digestão de substratos complexos com alto valor energético, representando o estado da arte em tecnologia. O modelo inclui agitação mecânica, controle e manutenção da temperatura interna, controle do pH e dessulfurização do biogás para evitar a corrosão do grupo moto-gerador.

A utilização de grupos geradores é a forma mais comum de converter biogás em energia elétrica, consistindo em um motor a combustão acoplado a um gerador elétrico, conhecido como *Combined Heat and Power* (CHP). Devido à produção de calor durante a queima do biogás, esse equipamento será utilizado em um sistema de cogeração com o biodigestor, fornecendo o calor necessário para manter a temperatura constante no interior do equipamento, especialmente nos meses mais frios do ano. Outro aspecto considerado é a eficiência elétrica dos motores a gás, que pode variar de 34% a 45%, enquanto os motores bicombustíveis têm uma variação de 30% a 45%. A Figura 2 apresenta o fluxograma proposto para a planta de produção de biogás, a partir da fração orgânica dos RSU do município de Erechim.

Figura 2 – Fluxograma típico de planta de biogás a partir de RSU



Fonte: adaptado de Gomes et al. (2016).

3.2 Investimentos Pré-operacionais, Custos Fixos e Receitas Projetadas

O orçamento para a implantação da usina no município de Erechim foi fornecido por uma empresa alemã com sede no Brasil. Além de fornecer os custos de investimento pré-operacionais necessários para a implantação da usina, a empresa estimou a produção diária de biogás em 3.199,2 m³ e a produção diária de energia elétrica em 11.197,2 kW para as 50 toneladas diárias de RSU. O potencial de produção de biogás apresentado pela empresa (95.975 m³) está dentro dos valores totais estimados de geração mensal de biogás no município de

Erechim (239,940 m³). Portanto, existe potencial de ampliação futura da capacidade de produção de biogás.

Projetos de biogás no setor de RSU podem ser instalados de forma descentralizada e próximos aos centros urbanos, em áreas industriais específicas, para simplificar e reduzir os custos com logística e manejo dos RSU em geral (Gomes *et al.*, 2016). Nesse sentido, foi adicionado o custo de uma área de 1 hectare para a instalação da usina, localizada a 10 quilômetros do centro do município de Erechim, com o objetivo de facilitar a logística do transporte dos resíduos. A Tabela 3 apresenta uma estimativa dos custos de implantação da usina de biogás.

Tabela 3 - Estimativa de custo para implantação da usina de biogás

SERVIÇO	Custo (R\$)
Projeto e peças importadas	2.646.417
Tanque de recepção-Civil	178.038
Biodigestor-Civil	1.401.225
Lagoa final-Civil	200.000
Projeto e Execução Estação de tratamento do digestato	520.000
Grupo gerador	1.458.000
Área 1 hectare	350.000
TOTAL	6.753.680

Fonte: autores (2024).

Embora a produção de energia elétrica seja o produto principal da análise de viabilidade econômica derivada do biogás, é importante lembrar que também há a possibilidade de comercializar créditos de carbono no mercado financeiro e comercializar biofertilizantes na região agrícola, o que pode resultar em um aumento no valor do projeto devido a futuras oportunidades de investimento.

No que diz respeito aos custos fixos, foram identificados o custo operacional da planta e os salários de três funcionários. Quanto aos custos variáveis, não foram identificados quaisquer custos. O custo operacional fornecido pela empresa do biodigestor foi estimado em R\$ 0,15

por kW gerado. Além disso, considerou-se o custo do salário e encargos para manter um operador na planta, conforme apresentado na Tabela 4.

Ainda que esses custos sejam considerados fixos, é entendido que esses valores sofrerão reajustes com base na inflação ao longo dos próximos 10 anos, período considerado nos cálculos dos indicadores financeiros. Para isso, utilizou-se como referência a inflação acumulada no período de 2011 a 2021 (últimos 10 anos), que foi de 67,21%, obtida por meio de consulta ao site do Banco Central do Brasil. Por fim, adicionou-se a média deste valor de inflação ao custo fixo calculado em cada ano projetado, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Custos fixos projetados

Serviço	Custo Mensal (R\$)
Custo operacional da planta	50.387
3 funcionários	7.500
TOTAL	57.887

Fonte: autores (2024).

As receitas projetadas consideram a economia na fatura de energia elétrica e a economia com o transbordo dos RSU. De acordo com o questionário aplicado, o consumo médio de energia mensal no setor público municipal é de 185.000 kW, com um custo aproximado de R\$ 180.000,00. Além disso, o custo médio mensal de transbordo dos RSU convencionais, no período de outubro de 2021 a setembro de 2022, foi de R\$ 42.122,00. Este custo é gerado a partir da produção média diária de 60,9 toneladas RSU convencional.

Com base na produção estimada de energia elétrica pela empresa do biodigestor, que é de 335.916 kW por mês, é possível eliminar os custos do setor público com energia elétrica e comercializar o excedente de aproximadamente 150.916 kW. Considerando-se a tarifa de energia elétrica consultada no site da concessionária local, que é de aproximadamente R\$ 0,58 por kWh, e o preço de venda do excedente de energia a R\$ 0,48 por kWh, calcula-se uma receita anual de R\$ 869.276,00.

A segunda economia gerada pela instalação da usina está na redução dos custos de transbordo dos RSU convencionais entre Erechim (RS) e Ipumirim (SC). A usina tem potencial de receber mensalmente 1.500 toneladas de RSU convencionais, portanto, absorvendo 82,02% dos RSU que seriam transportados até o aterro sanitário. Aplicando-se este percentual de redução

nos custos de transbordo, projeta-se uma economia mensal de R\$ 41.577,00 e anual de R\$ 498.924,00.

Portanto, o custo anual de energia elétrica é de R\$ 2.160.000,00. Somando-se esse valor à redução do custo anual de transbordo (R\$ 498.924,00) e à receita proveniente da comercialização do excedente de energia (R\$ 869.276,00), tem-se uma receita anual total de R\$ 3.528.200,00. Assim como nos custos fixos, entende-se que esses valores de receita sofrerão reajustes com base na inflação ao longo dos próximos 10 anos. Portanto, adicionou-se à receita, anualmente, o valor de inflação de 6,71% para cada ano.

3.3 Análise dos cálculos de investimento

Para estimar a depreciação das instalações, utilizou-se a taxa de 10% ao ano, conforme sugerem Ross *et al.* (2013). Esta taxa é multiplicada pela soma dos valores dos equipamentos e materiais que sofrem depreciação ao longo dos anos. O valor anual da depreciação, para os 10 primeiros anos do investimento, foi estimado em R\$ 588.368,00 ao ano. De posse das informações referentes aos custos fixos, custos variáveis, projeção de receitas e depreciação, foi possível calcular o valor referente ao Lucro antes da dedução de juros e impostos (LAJIR), conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Demonstrações projetadas

	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10
Receita	3.528.200	3.766.030	4.019.018	4.288.464	4.575.781	4.882.486	5.210.214	5.560.719	5.935.890	6.337.758
Custos Variáveis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Custos Fixos	694.644	741.222	791.470	845.564	903.688	966.034	1.032.807	1.104.223	1.180.509	1.261.904
Depreciação	588.368	588.368	588.368	588.368	588.368	588.368	588.368	588.368	588.368	588.368
LAJIR	2.245.188	2.436.440	2.639.180	2.854.532	3.083.725	3.328.084	3.589.039	3.868.128	4.167.013	4.487.486
Imposto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lucro	2.245.188	2.436.440	2.639.180	2.854.532	3.083.725	3.328.084	3.589.039	3.868.128	4.167.013	4.487.486
Líquido	88	40	80	32	25	84	39	28	13	86

Fonte: autores (2024).

A Tabela 6 apresenta o Fluxo de Caixa Operacional (FCO). Com a soma do LAJIR mais a depreciação, e desconsiderando os impostos, que neste caso não incidem, é possível obter o Fluxo de Caixa Operacional (FCO). Com base nisso, e levando-se em conta que os equipamentos e

investimentos pré-operacionais serão financiados com capital do poder público municipal, sem aporte de financiamento externo, foram calculados os valores para FCT, TIR, Payback e Payback descontado.

Tabela 6 - Fluxo de Caixa Operacional (Valores em R\$).

Fluxo de Caixa Operacional	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Lajir	2.245.188	2.436.440	2.639.180	2.854.532	3.083.725	3.328.084	3.589.039	3.868.128	4.167.013	4.487.486
Depreciação	588.368	588.368	588.368	588.368	588.368	588.368	588.368	588.368	588.368	588.368
Impostos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluxo de Caixa Operacional	2.833.556	3.024.808	3.227.548	3.442.900	3.672.093	3.916.452	4.177.407	4.456.496	4.755.381	5.075.854

Fonte: autores (2024).

A Tabela 7 demonstra que não ocorrerá variação do CCL. Ocorrerão gastos de capital apenas no ano do investimento, ficando-se isento

nos demais anos. O fluxo de caixa total apresenta valores positivos a partir do ano um, exceto no ano 0 (ano em que foi realizado o investimento).

Tabela 7 - Fluxo de Caixa Total do Investimento (Valores em R\$).

Fluxo de Caixa Total	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
FCO	0	2.833.556	3.024.808	3.227.548	3.442.900	3.672.093	3.916.452	4.177.407	4.456.496	4.755.381	5.075.854
Variação do CCL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos de Capital	(6.753.680)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluxo de Caixa Total	(6.753.680)	2.833.556	3.024.808	3.227.548	3.442.900	3.672.093	3.916.452	4.177.407	4.456.496	4.755.381	5.075.854

Fonte: autores (2024).

Com os dados obtidos por meio da Tabela 6, o VPL total obtido foi de R\$ 12.031.026,41. Portanto, esses dados sugerem que o projeto possui potencial para ser um investimento viável devido ao valor calculado. Ao calcular os valores do VPL para os 10 anos seguintes, percebe-se que

os números são positivos, o que indica a viabilidade do projeto. Dessa forma, o VPL é uma forma de avaliar a lucratividade de uma proposta de investimento. A Tabela 8 apresenta o fluxo de caixa descontado para 10 anos e o valor presente líquido do projeto.

Tabela 8 – Fluxo de Caixa Descontado (FCD) e VPL (R\$)

(6.753.680)	0
2.485.575	1
2.327.492	2
2.178.503	3
2.038.473	4
1.907.170	5
1.784.283	6
1.669.448	7
1.562.265	8
1.462.317	9
1.369.180	10
18.784.706	FCD Total
12.031.026	VPL

Fonte: autores (2024).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) está relacionada ao VPL, pois ela busca encontrar uma única taxa de retorno que resuma os méritos de um projeto. Ao realizar o cálculo, utilizando-se uma planilha de Excel, obteve-se um resultado de TIR de 28,90%. Esse dado sugere a viabilidade do sistema produtivo, uma vez que o retorno é superior ao percentual exigido.

Em relação ao *payback*, que determina o tempo necessário para recuperar o valor investido, utilizou-se a soma do FCT até que o investimento seja totalmente recuperado. Assim, chegou-se a um resultado aproximado de 2 anos e 2 meses, sem considerar os possíveis novos investimentos necessários para a manutenção das instalações. Para o *payback* descontado, utilizou-se a soma do FCT descontado até que o valor do investimento seja zerado, resultando em aproximadamente 2 anos e 8 meses. Pode-se afirmar que o investimento terá um tempo de retorno consideravelmente curto para ambos os *paybacks* analisados.

4 CONCLUSÕES

O artigo analisou a viabilidade econômica da implantação de uma usina destinada ao reaproveitamento do biogás para a geração de energia elétrica, utilizando-se a fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos do município de Erechim (RS).

Os principais resultados encontrados indicam um fluxo de caixa descontado de R\$ 18.784.706,00, um VPL de R\$ 12.031.026,41 e a taxa interna de retorno em 28,90%. O *Payback* foi calculado em aproximadamente 2 anos e 2 meses e o *payback* descontado em aproximadamente 2 anos e 8 meses. Portanto, estes valores indicam a viabilidade econômica do projeto. Além disso, os resultados positivos também podem ser compreendidos em termos de economias nos custos de transbordo em aproximadamente R\$ 498.924,00 ao ano.

No entanto, é importante destacar algumas limitações encontradas, que podem ser exploradas em trabalhos futuros: levantar os custos com destinação final do RSU no período anterior a 2022; realizar ensaios de degradabilidade do material em reatores em escala de laboratório para verificar o real potencial de produção de biogás.

Portanto, os resultados deste artigo podem auxiliar na tomada de decisão dos gestores públicos para a implantação do projeto de geração

e energia elétrica a partir da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2022.** São Paulo: Agência Pituri, 2023. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>. Acesso em: 15 fev. 2024.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxa Selic.** 2024. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 15 fev. 2024.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica.** 2023. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario/>. Acesso em: 13, fev., 2024.
- CRUZ, J. A. W.; ANDRICH, E. G. **Gestão financeira moderna: uma abordagem prática.** Curitiba: Intersaberes, 2013.
- EDWIGES, T. **Biodigestão anaeróbia de resíduos vegetais provenientes de central de abastecimento.** 2017. 81 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/3029>. Acesso em: 15 out. 2023.
- FARIA, D. V. A. N.; LEITE, L. B. G.; OLIVEIRA, W. F. **Análise da viabilidade econômica e financeira do uso do biogás como geração de receita acessória: um estudo de caso no aterro CVR Costa do Cacau, Ilhéus/BA.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso II (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Salvador (UNIFACS), Salvador, 2022.
- GEHM, S. da C. **Avaliação de alternativas para geração de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos.** 2019. Dissertação

(Mestrado em Energia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/23405>. Acesso em: 17 jan. 2024.

GITMAN, L. J.; ZUTTER, C. J. **Princípios da administração financeira**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2017.

GOMES, F. C. de S. P. *et al.* **Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás**. 1. ed. Série Desenvolvimento do Mercado de Biogás, 3. Probiogás: organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2016. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/Arquivos/SNSA/probiogas/licenciamento-usinas-biogas.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

GOMES, G. S. M. **Avaliação econômica da produção de biogás a partir da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos gerados na região de Ouro Preto - MG**. 2022. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

GUEDES, F. E. M. **Análise de viabilidade de projetos**. Curitiba: Contentus, 2020. 103 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/erechim/panorama>. Acesso em: 27 de jan. de 2024.

JACOBOWSKI, M.; RAMOS, M. J.; PIACENTI, C. A.; ROCHA JÚNIOR, W. F. da; SILVA, C. L. da. Viabilidade Econômica da Cogeração de Energia Elétrica do Biogás: um estudo de caso no aterro sanitário de Toledo, Paraná. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 7, n. 3, p. 80–96, ago. 2020. DOI: 10.20873/uftv7-9391.

KHAIRUDDIN, N.; MANAF, L. A.; HASSAN, M. A.; HALIMOON, N.; GHANI, W. A. W. A. K. Biogas Harvesting from Organic Fraction of Municipal Solid Waste as a Renewable Energy Resource in Malaysia: A Review. **Polish Journal of**

Environmental Studies, v. 24, n. 4, p. 1477-1490, 2015. DOI: 10.15244/pjoes/34670.

MALINOWSKI, C. **Tratamento dos resíduos sólidos orgânicos da UFSC através de biodigestor anaeróbio**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/167638/341506.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 out. 2023.

OLIVEIRA, F. D. A. de. **Proposta de coleta seletiva da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares visando sua utilização para geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbia**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/12370?locale=en>. Acesso em: 15 out. 2023.

OLIVEIRA, V. C. de. **Análise de viabilidade para a produção e utilização de um gerador a combustão por etanol**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/11682>. Acesso em: 15 out. 2023.

PEREIRA, F. R.; ZAVARISE, J. P.; PINOTTI, L. M. Determinação da Produção de Biogás em uma Fábrica de Chocolates para Fins de Aproveitamento Energético. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, Salvador, v. 9, n. 3, p. 16–31, 2021. DOI: 10.9771/gesta.v9i3.43819.

ROCHA, C. M. da. **Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares**. 2016. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

ROOS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JORDAN, B. D. **Fundamentos de Administração**. 9ª Ed. Porto Alegre: AMGH. 2013

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Perfil das Cidades Gaúchas**

– **Erechim**. 2020. Disponível em:
https://datasebrae.com.br/municipios/rs/Perfil_Cidades_Gauchas-Erechim.pdf. Acesso em: 27 jan. 2024.

SILVA, L. O.; XAVIER, V. C.; MOURA, A. G. L. de; SILVA, R. S. G. da; SANTOS, C. E. D. dos. Saneamento Rural: pesquisa de opinião e proposição de tecnologias para tratamento de esgoto doméstico e animal em uma propriedade rural. **Revista Eletrônica de Gestão e**

Tecnologias Ambientais, Salvador, v. 11, n. 1, p. 49–63, 2023. DOI: 10.9771/gesta.v0i1.53211. TERRA, P. H. da R. **Estudo de viabilidade econômico-financeira para implantação de um negócio de destinação final de resíduos sólidos urbanos no Rio Grande do Sul**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: Planejamento e Métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.