



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2025) v. 12, n. 1, p. 30–39
<https://doi.org/10.21712/lajer.2025.v12.n1.p30-39>

Avaliação da viabilidade de biodigestores aeróbios para o tratamento de resíduos orgânicos em ambiente industrial

Assessment of the feasibility of aerobic biodigesters for organic waste treatment in an industrial environment

Lanay Nunes Barbosa¹, Johnatt Alan Rocha de Oliveira², Luiza Helena da Silva Martins³,
Andrea Komesu^{4,*}

¹ Aluna de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, campus Baixada Santista, SP, Brasil

² Professor da Faculdade de Nutrição, Universidade Federal do Pará – UFPA, PA, Brasil

³ Professora do Instituto de Saúde e Produção Animal, Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, PA, Brasil

⁴ Professora do Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, campus Baixada Santista, SP, Brasil

*Autor para correspondência, E-mail: andrea.komesu@unifesp.br

Received: 12 March 2025 | Accepted: 2 April 2025 | Published online: 15 April 2025

Resumo: Uma indústria química localizada em Cubatão, São Paulo, gera, diariamente, cerca de 0,45 toneladas de resíduos orgânicos, compostos principalmente por restos de alimentos e outros rejeitos que são descartados em aterros sanitários sem segregação. Nos últimos anos, os biodigestores aeróbios têm se destacado como uma solução sustentável para o tratamento desses resíduos, devido às suas vantagens ambientais e à geração de subprodutos reutilizáveis, como a água de lavagem. Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade da implementação de biodigestores na cozinha industrial, analisando suas vantagens e desafios, além de sugerir modelos adequados para aplicação. Foram considerados dados fornecidos pela empresa, incluindo o número de colaboradores que realizam suas refeições no local, a quantidade de alimentos preparados diariamente e a fração descartada. Os resultados indicam que a adoção de um biodigestor aeróbio é uma alternativa viável, oferecendo benefícios ambientais alinhados às diretrizes de sustentabilidade da companhia. Além disso, esse sistema se destaca por sua eficiência na gestão do espaço físico, praticidade operacional, rapidez no processamento e menor impacto ambiental em comparação com métodos convencionais de descarte.

Palavras-chave: biodigestores aeróbios; gestão de resíduos orgânicos; sustentabilidade industrial; tratamento de resíduos; impacto ambiental.

Abstract: A chemical industry located in Cubatão, São Paulo, generates approximately 0.45 tons of organic waste daily, primarily composed of food scraps and other residues that are disposed of in landfills without segregation. In recent years, aerobic biodigesters have emerged as a sustainable solution for treating this waste due to their environmental benefits and the production of reusable by-products, such as wash water. This study aimed to assess the feasibility of implementing biodigesters in an industrial kitchen, analyzing their advantages and challenges, as well as suggesting suitable models for application. Data provided by the company were considered, including the number of employees who have their meals on-site, the amount of food prepared daily, and the discarded fraction. The results indicate that adopting an aerobic biodigester is a viable alternative, offering environmental benefits aligned with the company's sustainability guidelines. Additionally, this system stands out for its efficiency in space management, operational practicality, fast processing, and lower environmental impact compared to conventional disposal methods.

Keywords: aerobic biodigesters; organic waste management; industrial sustainability; waste treatment; environmental impact.

1 Introdução

A biodigestão é uma alternativa eficiente e sustentável para o tratamento de resíduos orgânicos, permitindo seu reaproveitamento e reduzindo os impactos ambientais do descarte inadequado. Esse processo pode ocorrer de duas formas: anaeróbia, na ausência de oxigênio, e aeróbia, na sua presença.

Na biodigestão anaeróbia, a decomposição dos resíduos ocorre em quatro etapas — hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese — resultando na geração de biogás e biofertilizante (Seixas et al., 1981; Chernicharo, 2007; Silva, 2015). O biogás, rico em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), pode ser aproveitado como fonte de energia, mas sua liberação descontrolada contribui para o efeito estufa (De Oliveira, 2004; Salcedo and Arboleda, 2009; Gioda, 2018). Já o biofertilizante melhora a qualidade do solo e se apresenta como uma alternativa sustentável aos fertilizantes convencionais (Barichello et al., 2010; Do Nascimento, 2010). Assim, a biodigestão anaeróbia se destaca como uma solução viável para o tratamento de resíduos, promovendo a produção sustentável de energia e insumos agrícolas (Rodrigues et al., 2019).

A biodigestão aeróbia é um processo biológico semelhante à compostagem, no qual a matéria orgânica é degradada na presença de oxigênio, umidade controlada e temperatura elevada, resultando apenas em CO_2 e H_2O . Esse método contribui para a mitigação das mudanças climáticas ao reduzir emissões de gases de efeito estufa associadas ao transporte e disposição de resíduos (Souzera, 2020).

O processo ocorre em um reator biológico, onde microrganismos utilizam a matéria orgânica como fonte de energia, promovendo sua estabilização e posterior oxidação da biomassa (WEF, 2007; Pinheiro et al., 2022). Inicialmente, há um metabolismo sintético, no qual o material orgânico é convertido em biomassa microbiana. Em seguida, na fase de respiração endógena, os microrganismos degradam sua própria matéria celular devido à escassez de substrato, levando à completa oxidação dos resíduos (WEF, 2007).

Para garantir a eficiência da digestão aeróbia, é essencial controlar fatores como temperatura, pH, idade do lodo, agitação, concentração de oxigênio, potencial de oxirredução e concentração de sólidos. A temperatura ideal deve ser superior a 20°C, pois abaixo de 10°C o processo praticamente se interrompe. O pH deve permanecer entre 6,5 e 7,5 para favorecer a atividade microbiana e as reações bioquímicas. A idade do lodo pode variar de 12 a 60 dias, sendo recomendável um tempo superior a 40 dias para a remoção de patógenos. A agitação é fundamental para evitar a deposição de sólidos e prevenir condições anaeróbicas indesejáveis. A concentração de oxigênio deve estar entre 1 e 2 mg/L, garantindo eficiência sem desperdício de energia. O potencial de oxirredução precisa ser positivo para evitar odores desagradáveis, enquanto a concentração de sólidos deve ser mantida abaixo de 3% para não comprometer a transferência de oxigênio, podendo chegar a 5% em sistemas que utilizam oxigênio puro. O controle adequado dessas variáveis assegura a estabilidade e a eficácia do processo (Brasil, 2006; Matos, 2014; Jordão and Pessoa, 2014; Metcalf and Eddy, 2015).

A escolha da técnica de tratamento de resíduos depende dos objetivos da indústria, podendo envolver a geração de energia, a produção de fertilizantes orgânicos ou a adoção de uma solução ambientalmente responsável. O método anaeróbio, embora eficiente, apresenta a desvantagem da geração de odores desagradáveis devido à liberação incompleta de nitrogênio amoniacal, resultando na formação de aminas voláteis. Para mitigar esses odores, é necessário promover a oxidação dessas substâncias. Assim, a biodigestão aeróbia surge como uma alternativa vantajosa, pois favorece o desenvolvimento de microrganismos em um ambiente com oxigênio, reduzindo a emissão de gases poluentes, como metano e óxido nitroso (Valente et al., 2009).

Entre os benefícios dos processos aeróbios, destacam-se a facilidade operacional, a redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no líquido sobrenadante, a diminuição dos sólidos voláteis, a dispensa de aquecimento e melhores propriedades de secagem (Teixeira and Sobrinho, 1981). Estudos como o de Ponsá et al. (2008) indicam que a biodigestão aeróbia é preferível devido ao tempo reduzido de processamento. Além disso, essa tecnologia contribui para a redução do volume de resíduos enviados a aterros, a reciclagem de nutrientes, a segurança ambiental do processo e a eliminação de patógenos devido às altas temperaturas alcançadas (Ministério do Meio Ambiente, 2010). Esses fatores reforçam a biodigestão aeróbia como uma abordagem sustentável e eficiente, com benefícios ambientais, econômicos e operacionais.

No polo industrial de Cubatão, em São Paulo, diversas indústrias químicas desempenham um papel estratégico na economia nacional. Uma dessas empresas, com cerca de 400 colaboradores e operação contínua, gera aproximadamente 0,45 toneladas diárias de resíduos orgânicos, principalmente restos de alimentos provenientes do refeitório. Atualmente, esses resíduos são coletados por uma empresa

especializada e enviados a um aterro sanitário a 164 km de distância, gerando custos mensais entre R\$ 7 mil e R\$ 9 mil.

Embora o aterro sanitário seja a solução tradicional para o descarte de resíduos sólidos urbanos, alternativas mais sustentáveis vêm ganhando destaque. A biodigestão se apresenta como uma tecnologia promissora para reduzir o impacto ambiental e transformar resíduos em subprodutos aproveitáveis. Sua implementação pode diminuir os custos com transporte e descarte, tornando o processo mais eficiente e sustentável.

Diante desse cenário, a viabilidade da adoção de um biodigestor aeróbio na cozinha industrial dessa unidade deve ser investigada, considerando os benefícios ambientais, operacionais e financeiros. O presente estudo tem como objetivo avaliar os impactos da implementação desse sistema, analisando suas vantagens e desafios, além de sugerir modelos adequados para aplicação no contexto industrial.

2 Metodologia

O estudo foi realizado em uma unidade industrial localizada na região de Cubatão, em São Paulo, onde a geração de resíduos orgânicos ocorre diariamente devido ao fornecimento de refeições para os colaboradores. A coleta de dados foi conduzida em colaboração com diferentes departamentos da fábrica, permitindo um levantamento detalhado sobre a produção e destinação dos resíduos orgânicos.

2.1 Obtenção de dados

Para dimensionar o biodigestor adequado, foram coletados e analisados dados quantitativos junto à equipe responsável pela gestão da cozinha industrial. As seguintes informações foram solicitadas:

- Quantidade de refeições servidas diariamente;
- Quantidade de alimentos descartados diariamente.

O controle das refeições é mantido por registros internos, facilitando a obtenção desses dados. Já a quantificação dos resíduos orgânicos descartados foi realizada por meio de um sistema automatizado de pesagem, que registra e armazena os dados em um sistema de gestão interna. Para garantir maior confiabilidade, foi analisado um histórico de três meses de registros, permitindo a determinação de uma média representativa da quantidade diária de resíduos gerados. O tratamento estatístico envolveu a verificação de *outliers* e a aplicação de estatísticas descritivas, incluindo média e desvio padrão, a fim de assegurar a robustez das estimativas.

A unidade industrial possui dois restaurantes: um destinado aos colaboradores e outro para terceiros. No entanto, apenas um deles conta com um sistema de controle de descarte automatizado. Para estimar a quantidade total de resíduos gerados, aplicou-se um cálculo proporcional baseado no número de refeições servidas em cada restaurante. Essa abordagem, aliada à análise estatística, permitiu obter uma estimativa precisa da produção total de resíduos orgânicos na unidade, fornecendo subsídios fundamentados para o dimensionamento do biodigestor.

2.2 Pesquisa sobre biodigestores

A seleção do tipo de biodigestor mais adequado foi baseada em uma pesquisa bibliográfica criteriosa, considerando fatores como capacidade de processamento, requisitos de espaço, impactos ambientais e econômicos, além das vantagens e desvantagens dos modelos aeróbios e anaeróbios. A análise resultou na escolha de um biodigestor aeróbio, devido à sua compatibilidade com o espaço disponível, facilidade de operação e benefícios ambientais.

Para complementar a pesquisa, foram realizadas visitas técnicas a duas unidades industriais da região portuária que utilizam biodigestores aeróbios para o tratamento de resíduos de suas cozinhas. Durante essas visitas, foram coletadas informações detalhadas sobre o funcionamento, desempenho, custos operacionais e benefícios ambientais dos sistemas em operação.

A combinação dessas abordagens permitiu uma avaliação abrangente das alternativas disponíveis, auxiliando na definição do modelo mais adequado para a implementação do sistema de tratamento de resíduos na unidade industrial estudada.

- Critérios para a escolha do biodigestor aeróbio

A escolha do biodigestor aeróbio foi baseada na análise de critérios, conforme esquema da Figura 1. Esse esquema apresenta de forma clara os fatores analisados e como cada um influenciou na decisão final.

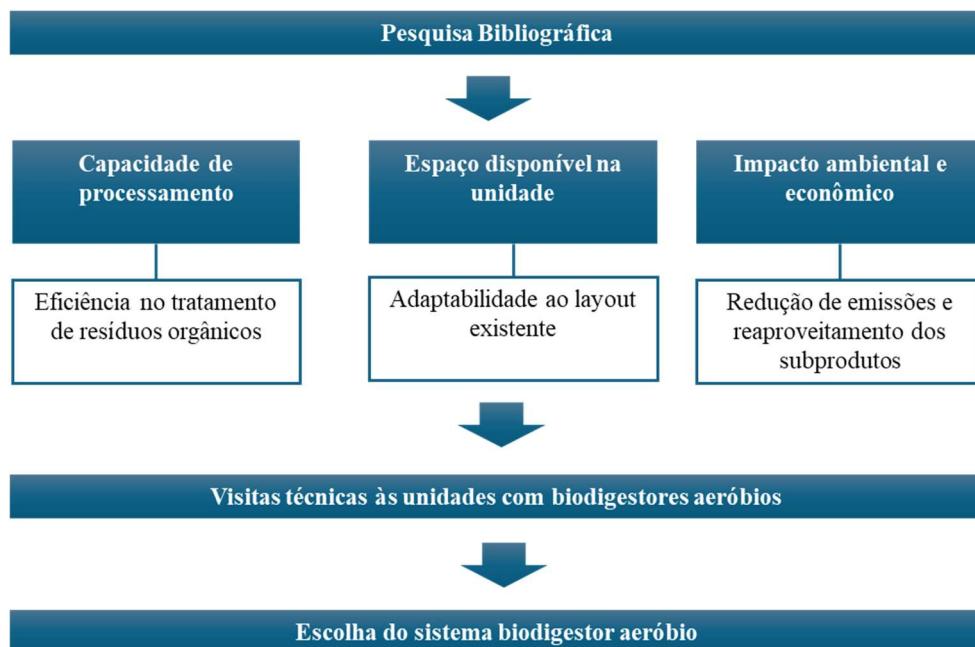


Figura 1. Critérios para a escolha do biodigestor aeróbio.

3 Resultados e discussões

Após a análise dos modelos comercialmente disponíveis de biodigestores para cozinhas industriais, constatou-se uma preferência pelos biodigestores aeróbios elétricos. Essa escolha se deve à facilidade de operação, ao design compacto e à rápida degradação dos resíduos, resultando em subprodutos que podem ser descartados com eficiência em menor tempo. Esse padrão foi confirmado durante visitas técnicas a duas empresas da região portuária, onde foram observados biodigestores aeróbios elétricos de diferentes fabricantes, mas com tecnologias semelhantes. Nessas unidades, verificou-se que a operação simplificada exigia pouca intervenção manual, o design compacto permitia a instalação em espaços reduzidos sem comprometer a logística interna, e o tempo de degradação dos resíduos orgânicos era compatível com a demanda diária de descarte.

Avaliando essas características em relação ao perfil operacional da unidade industrial estudada, identificou-se uma correspondência direta com suas necessidades, incluindo a limitação de espaço disponível, a busca por soluções de fácil manejo e a necessidade de descarte ágil dos resíduos gerados. Com base nessas informações, aliadas à fundamentação teórica previamente apresentada, optou-se pela implementação de biodigestores aeróbios elétricos, garantindo uma solução eficiente e alinhada com as condições específicas da empresa foco do estudo de caso.

3.1 Dados de geração e descarte de alimentos

Os dados quantitativos referentes ao número de refeições servidas e à quantidade de resíduos descartados, fornecidos pela empresa responsável pela gestão da cozinha, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados de refeições e descartes de comida mensal.

Número de Refeições diárias restaurante 1	220
Número de Refeições diárias restaurante 2	390
Número de refeições diárias turno	80
Número de refeições diárias total	690
Descarte mensal restaurante 1 (kg)	502,21
Descarte mensal estimado restaurante 2	889,91
Descarte mensal estimado turno (kg)	182,55
Descarte mensal total (kg)	1574,67
Descarte diário total estimado (kg)	52,48

O levantamento do descarte mensal total foi realizado a partir da análise dos resíduos gerados no Restaurante 1 durante os meses de março (477,21 kg) e abril de 2024 (527,22 kg), resultando em uma média de 502,21 kg/mês. Como esse foi o único restaurante equipado com balança para pesagem dos resíduos alimentares, os descartes do Restaurante 2 e do Turno foram estimados proporcionalmente ao número de refeições servidas em cada local.

Com base nessa metodologia, o descarte médio mensal do Restaurante 2 foi estimado em 889,91 kg, enquanto o do Turno atingiu 182,55 kg. Dessa forma, ao considerar os três refeitórios, o descarte total médio mensal chegou a 1.574,67 kg, o que corresponde a um descarte diário estimado de 52,48 kg. A implementação de um biodigestor permitiria reduzir essa quantidade de resíduos destinados ao aterro sanitário em aproximadamente 1.575 kg por mês.

Atualmente, a transportadora realiza a remoção de 13.000 kg mensais de resíduos. Com a implementação do biodigestor, esse volume passaria para cerca de 11.425 kg, representando uma redução de aproximadamente 12% na geração de resíduos. Além da redução no volume de resíduos transportados, é necessário avaliar o impacto financeiro dessa mudança. A economia direta estaria relacionada à diminuição da frequência e do custo do transporte de resíduos, além da possível redução de taxas associadas à destinação em aterros sanitários. Adicionalmente, o biodigestor poderia gerar subprodutos utilizáveis, como biofertilizantes, reduzindo custos com descarte e promovendo um ciclo sustentável dentro da unidade industrial.

3.2 Seleção do modelo de biodigestor aeróbio

Após a pesquisa de mercado, identificou-se que os modelos mais compactos disponíveis e adequados para as condições específicas da fábrica eram biodigestores aeróbios elétricos. Foram contatadas três empresas que atuam na implementação dessa tecnologia em cozinhas industriais, porém apenas duas responderam ao contato. Essas empresas, referidas neste estudo como "Biodigestor 1" e "Biodigestor 2", ofereciam equipamentos com características operacionais similares, disponíveis para aluguel ou compra.

Para avaliar as opções, foram realizadas visitas técnicas ao local onde o Biodigestor 1 estava em operação, permitindo uma análise detalhada de sua performance. Em relação ao Biodigestor 2, uma videoconferência com a empresa fabricante proporcionou uma apresentação detalhada do equipamento, incluindo suas especificações técnicas e um vídeo demonstrativo de sua aplicação prática. Foram coletadas informações sobre capacidade de processamento, dimensões, área necessária para instalação, infraestrutura exigida, geração de subprodutos, custos, consumo de água e energia, além do modo de operação.

Com base na análise comparativa dos dados coletados, a empresa responsável pelo Biodigestor 2 foi escolhida como a opção mais adequada, destacando-se por oferecer melhores condições financeiras de aluguel (9,4 % menor) sem comprometer a qualidade do serviço. Apesar de apresentar um consumo de energia mais elevado, seu consumo mensal de água foi inferior ao do concorrente (22,8% menor). No que diz respeito às condições operacionais, ambos os modelos apresentaram desempenho semelhante.

A Tabela 2 apresenta a comparação entre os biodigestores, evidenciando os critérios que levaram à escolha do Biodigestor 2 como a melhor opção.

Tabela 2. Dados dos biodigestores 1 e 2.

Modelo	Biodigestor 1	Biodigestor 2
Altura (m)	1,30	1,20
Comprimento (m)	1,50	1,60
Profundidade (m)	0,985	0,950
Capacidade mensal (kg)	4500	4500
Consumo mensal de energia (kWh)	250	390
Consumo mensal de água (m ³)	17,5	13,5
Efluente mensal gerado (m ³)	18,0	18,0
Conversão (%)	100	100
Produto secundário	efluente	efluente
Preço mensal do aluguel (R\$)	4568,00	4140,00
Preço mensal total (R\$) *	5.123,81	4.277,31

* custo total estimado da operação do equipamento, englobando despesas com aluguel, consumo energético, consumo hídrico e manutenção.

O critério "preço mensal total (R\$)", conforme apresentado na Tabela 2, refere-se ao custo total estimado da operação do equipamento, englobando despesas com aluguel, consumo energético, consumo hídrico e manutenção. Esse valor foi calculado considerando o preço de aluguel dos equipamentos informado pelas empresas, somado aos custos médios de energia elétrica e água com base nas tarifas vigentes. A análise econômica demonstrou que o Biodigestor 1 teria um custo operacional total de aproximadamente R\$ 5.123,81 por mês, enquanto o Biodigestor 2 resultaria em um custo inferior, de R\$ 4.277,31. Essa diferença significativa reforça a escolha do Biodigestor 2 como a alternativa mais eficiente financeiramente, sem comprometer a qualidade do serviço.

No processo, a umidificação da massa de resíduos ocorre por meio da adição controlada de água, favorecendo a oxigenação e a mobilidade necessárias para a biodigestão. Esse controle é realizado eletronicamente por meio de um sistema lógico programável (PLC) e de uma Interface Homem-Máquina (IHM) instalada na tampa do equipamento, permitindo ao operador acompanhar visualmente todas as etapas do processo.

Para garantir a movimentação eficiente do eixo interno, o equipamento utiliza um moto-redutor. Além disso, são adicionados agentes biológicos específicos, como culturas de bactérias (tais como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Streptomyces* e *Rhodococcus*) e enzimas selecionadas, para acelerar a degradação dos resíduos alimentares, otimizando o tempo de processamento. A manutenção da colônia de bactérias é realizada anualmente, sendo necessário o reabastecimento periódico de microrganismos para garantir a continuidade do processo.

O sistema conta com monitoramento remoto integrado, baseado em armazenamento de dados em servidores remotos, permitindo acesso a um painel de controle personalizado. Esse painel disponibiliza informações em tempo real sobre indicadores de operação e sustentabilidade, como volume de resíduos processados, consumo energético, eficiência do sistema e parâmetros da qualidade do efluente. Além disso, relatórios detalhados podem ser gerados para análise gerencial, auxiliando no controle operacional e na avaliação do impacto ambiental do biodigestor.

O equipamento opera de forma contínua, 24 horas por dia, promovendo a biodigestão acelerada dos resíduos alimentares. Como resultado, os alimentos são convertidos em água cinza, segura para descarte na rede de esgoto, em conformidade com o Decreto 8468 da CETESB, artigo 19. Alternativamente, o efluente pode ser direcionado para uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) ou para uma caixa de gordura.

Essa tecnologia elimina a necessidade de câmaras frias, sacos de lixo e transporte de resíduos para aterros ou centrais de compostagem. Além disso, o processo não gera emissões gasosas e permite o acompanhamento remoto dos dados operacionais e de sustentabilidade por meio de dispositivos móveis, computadores ou tablets.

3.3 Área de implantação

Após a análise das medidas e das recomendações estruturais fornecidas pelo modelo Biodigestor 2, identificou-se uma área adequada para sua instalação na parte posterior da cozinha da unidade industrial. Esse espaço será preparado para receber o equipamento, incluindo a construção de uma cobertura para protegê-lo das intempéries, a instalação de pontos de energia para alimentação do sistema e a implementação de um sistema de descarte adequado para a água cinza, garantindo condições ideais para seu funcionamento eficiente.

Com base na quantidade diária de resíduos alimentares descartados, o projeto prevê uma área total de aproximadamente 4,5 m² para a instalação do biodigestor. A empresa fornecedora especifica a necessidade de um espaço mínimo ao redor do equipamento, sendo 0,5 m à esquerda, 0,6 m à direita, 0,1 m na parte traseira e 0,6 m na parte frontal. Dessa forma, a área necessária para acomodar o biodigestor deve ter dimensões de 2,7 m de comprimento por 1,65 m de profundidade.

Diversos fatores técnicos foram considerados na escolha do local para a instalação do biodigestor, incluindo a proximidade com a área de geração de resíduos alimentares, a viabilidade do descarte de efluentes gerados no processo de biodigestão, as condições de infraestrutura já disponíveis (como fornecimento de energia e espaço para o sistema de efluentes) e os requisitos de segurança exigidos pelas regulamentações ambientais. A decisão final foi tomada em conjunto com a responsável pela cozinha e um especialista em meio ambiente da unidade industrial, com base nesses critérios técnicos, garantindo que o local selecionado atendesse adequadamente às necessidades operacionais e ambientais do projeto.

Com essa avaliação, foi confirmada a adequação e viabilidade do espaço selecionado para a implantação do biodigestor. Esta decisão é fundamental para o avanço do projeto, pois estabelece uma base

estruturada para a implementação eficiente da tecnologia de biodigestão, alinhada aos objetivos de sustentabilidade e conformidade ambiental da empresa.

3.4 Análise de custo

Uma análise comparativa entre os custos de transporte e destinação dos resíduos orgânicos e a implementação de um biodigestor revela um investimento inicial mais elevado, devido às despesas com aquisição, instalação, adequação da estrutura e treinamento operacional.

É relevante observar que, mesmo com um aumento nos custos operacionais totais, a economia financeira direta pode não ser significativa, pois o transporte de resíduos continuará sendo necessário para a parcela remanescente de rejeitos. No entanto, a adoção do biodigestor oferece benefícios ambientais substanciais, alinhando-se às diretrizes de sustentabilidade e responsabilidade ambiental da unidade industrial.

A médio e longo prazo, ainda que os custos mensais possam permanecer superiores ao modelo convencional de destinação de resíduos, os ganhos ambientais se tornam cada vez mais relevantes. A mitigação dos impactos ambientais negativos e a incorporação de práticas mais sustentáveis representam fatores essenciais na análise de viabilidade do biodigestor.

A Tabela 3 apresenta os dados detalhados, considerando um novo volume de descarte de 11,43 toneladas por mês no sistema usual de transporte de resíduos, após a adoção do biodigestor.

Tabela 3. Novos custos mensais com obtenção do biodigestor.

Transporte de rejeito (preço fixo)	Aterro (preço por tonelada)	Gasto mensal total atual*	Preço mensal do aluguel do biodigestor 2	Gasto mensal total com biodigestor**
R\$ 4.958,78	R\$ 255,73	R\$ 8.283,27	R\$ 4.140,00	R\$ 12.020,58

* Gasto mensal total atual= R\$ 4.958,78 (transporte de rejeito) + (13 ton/mês X R\$255,73 (custo do aterro por tonelada)).

** Gasto mensal total com biodigestor= R\$ 4.958,78 (transporte de rejeito) + (11,43 ton/mês X R\$255,73 (custo do aterro por tonelada)) + R\$ 4.140,00 (aluguel do biodigestor).

A implementação do biodigestor acarretaria um aumento nas despesas mensais em aproximadamente R\$ 3.737,31. Esse valor resulta da diferença entre os custos projetados após a adoção do equipamento e os custos atuais de destinação de resíduos.

Além disso, os custos adicionais com consumo de energia elétrica e água foram estimados em R\$ 220,00 e R\$ 320,00, respectivamente, totalizando um impacto mensal de R\$ 4.277,31. Os valores referentes ao consumo desses recursos foram fornecidos pelo setor responsável pelo pagamento das contas da indústria, devido à confidencialidade dessas informações.

A análise foi realizada com base nas especificações técnicas do biodigestor, considerando seu consumo médio mensal de energia e água. A partir desses dados, foi possível comparar os custos operacionais atuais com os projetados, permitindo uma estimativa mais precisa do impacto financeiro da implementação do equipamento.

É importante ressaltar que esse sistema apresenta um custo inicial mais elevado devido ao fato de ser uma tecnologia recente, ainda não amplamente adotada pelas empresas. No entanto, à medida que práticas ambientalmente sustentáveis se tornem mais comuns, há potencial para redução nos custos de aluguel do equipamento. O aumento no número de usuários pode contribuir para a diminuição dos custos operacionais, tornando a implementação do biodigestor uma alternativa ainda mais viável e econômica no futuro.

3.5 Cálculo de emissões de gases de efeito estufa

Utilizando a ferramenta GHG Protocol (2024), disponibilizada gratuitamente pelo Programa Brasileiro GHG Protocol, foi possível estimar a redução das emissões de gases de efeito estufa decorrente da implementação do biodigestor. Como ilustrado na Figura 2, a emissão diminuirá de 0,78 toneladas de CO₂ equivalente para 0,68 toneladas de CO₂ equivalente, resultando em uma redução aproximada de 12,8 %.

Tipo de veículo	Distância percorrida (km) Ler orientações acima para preenchimento correto	Carga transportada (tonelada)	Emissões CO ₂ e (t)
Caminhão - rígido (acima de 17 toneladas)	500	20,00	1,546
Caminhão - rígido (7,5 a 17 toneladas)	181,00	13,00	0,78
Tipo de veículo	Distância percorrida (km) Ler orientações acima para preenchimento correto	Carga transportada (tonelada)	Emissões CO ₂ e (t)
Caminhão - rígido (acima de 17 toneladas)	500	20,00	1,546
Caminhão - rígido (7,5 a 17 toneladas)	181,00	11,43	0,68

Figura 2. Cálculo de emissões de CO₂ equivalente retirada da planilha do GHG Protocol.

A implementação de um biodigestor aeróbio apresenta desafios significativos que precisam ser cuidadosamente avaliados. Um dos principais obstáculos é o investimento inicial, que engloba a aquisição, instalação e infraestrutura necessária para sua operação. Embora esse custo possa variar dependendo das especificações do projeto, como o tamanho e as condições do local, estima-se, com base em valores médios de mercado, que o retorno do investimento ocorra em um período de 2 a 4 anos (Power Knot, 2023), dependendo das condições operacionais e dos custos atuais com logística de resíduos. Além disso, a gestão adequada dos resíduos alimentares é crucial, pois o descarte seletivo de tipos específicos de alimentos para o biodigestor é necessário para garantir a eficiência do processo. Outro aspecto relevante é o custo mensal associado ao aluguel do equipamento, que pode impactar o orçamento, especialmente em sistemas de grande porte.

Em relação ao consumo de energia elétrica, a operação do biodigestor pode, de fato, resultar em custos adicionais. No entanto, alternativas como a utilização de energia renovável (ex: energia solar) ou otimizações no sistema de operação podem ajudar a mitigar esse impacto, promovendo uma gestão energética mais eficiente.

Por outro lado, a adoção de um biodigestor traz uma série de benefícios substanciais. Em primeiro lugar, a quantidade de resíduos enviados para aterros é consideravelmente reduzida, resultando em economia nos custos de disposição e prolongando a vida útil desses locais. O processo de manuseio do biodigestor é simplificado devido à automação de várias etapas, como a alimentação e o controle do processo de digestão, tornando-o mais eficiente em termos operacionais. Além disso, a utilização do biodigestor pode levar à diminuição do consumo de combustíveis fósseis, como gasolina e óleo diesel, quando comparado com alternativas tradicionais de tratamento de resíduos, como o transporte de resíduos para aterros ou incineração. Isso resulta não apenas em economia financeira, mas também em benefícios ambientais significativos.

Outro benefício importante é a eliminação de patógenos presentes nos resíduos alimentares, promovendo um ambiente mais saudável e seguro para os trabalhadores e a comunidade. A implementação do biodigestor pode também melhorar o aproveitamento do espaço disponível, uma vez que o equipamento ocupa uma área relativamente pequena em comparação com outras alternativas de tratamento de resíduos. Além disso, a alocação da mão de obra é otimizada, pois o processo de operação do biodigestor exige menos intervenção manual, permitindo que os recursos humanos sejam melhor direcionados para outras atividades.

Por fim, essa tecnologia é segura, tanto do ponto de vista de segurança ocupacional quanto de processo, quando operada dentro das especificações recomendadas. A segurança operacional é garantida por sistemas de monitoramento e controle, enquanto os riscos ambientais são minimizados devido à redução das emissões de gases de efeito estufa em até 13%, dependendo das condições do sistema. Esses aspectos ressaltam a importância e a viabilidade da adoção de biodigestores nas práticas de gestão de resíduos, tornando-os uma solução sustentável e eficiente.

4 Conclusões

Com base nas informações obtidas, as conclusões sobre a implementação de um biodigestor aeróbio na fábrica são as seguintes:

- Viabilidade da implementação: a análise dos dados quantitativos, incluindo a demanda significativa por refeições diárias e a quantidade considerável de alimentos descartados, confirma que a instalação de um biodigestor aeróbio é uma solução viável e necessária.

- b) Compromisso com a sustentabilidade: a escolha do biodigestor aeróbio reflete um forte compromisso com práticas sustentáveis e uma gestão responsável dos resíduos, alinhando-se aos objetivos ambientais da organização.
- c) Redução de resíduos: a utilização do biodigestor contribui para a diminuição do volume de resíduos destinados a aterros sanitários, resultando em economia nos custos de disposição e prolongando a vida útil desses locais.
- d) Otimização do espaço: a implementação do sistema também otimiza o espaço anteriormente ocupado pelos resíduos, permitindo um melhor aproveitamento das áreas da fábrica.
- e) Redução de emissões de gases: o processo de biodigestão aeróbia possibilita uma redução nas emissões de gases de efeito estufa em aproximadamente 13%, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais.
- f) Fortalecimento da imagem corporativa: essa iniciativa reforça a posição da empresa como uma líder responsável no setor industrial, destacando seu compromisso com a sustentabilidade e a inovação em gestão de resíduos.

Esses pontos evidenciam a importância e a relevância da adoção do biodigestor aeróbio como parte da estratégia de gestão ambiental da fábrica.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de São Paulo pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste trabalho.

Referências bibliográficas

- Barichello, R, et al. (2010) ‘O uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso da região noroeste do Rio Grande do Sul’.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2006) ‘Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências’, *Diário Oficial da União*, Brasília-DF, 30 de agosto de 2006.
- Chernicharo, CAL (2007) *Reatores anaeróbios*. 2^a ed. ver. e ampl. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG.
- De Oliveira, PAV (2004) *Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas*. Embrapa Suínos e Aves - Livro técnico (INFOTECA-E).
- Do Nascimento, RC (2010) ‘O uso do biofertilizante em solos agrícolas do cerrado da região do Alto Paranaíba (MG)’, *Boletim Goiano de Geografia*, v. 30, n. 2, pp. 55-66.
- Gioda, A (2018) ‘Comparação dos níveis de poluentes emitidos pelos diferentes combustíveis utilizados para cocção e sua influência no aquecimento global’, *Química Nova*, v. 41, pp. 839-848.
- Jordão, EP e Pessôa, CA (2014) *Tratamento de esgotos domésticos*. 7^a ed. Rio de Janeiro: Synergia.
- Matos, AT (2014) *Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos*. 1^a ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.
- Metcalf, L e Eddy, HP (2015) *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. McGraw Hill Brasil.
- Ministério do Meio Ambiente (2010) *Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos*. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/2_manual_implantao_sistema_apropriação_rec_custos_cp_rs_125.pdf. Acesso em: 3 maio 2024.
- Pinheiro, EFM, et al. (2022) *Tratamento aeróbio e anaeróbio da biomassa: do desperdício à obtenção de matérias-primas que reciclam nutrientes e energia*.
- Ponsá, S, et al. (2008) Comparison of aerobic and anaerobic stability indices through a MSW biological treatment process. *Waste Management*, v. 28, n. 12, p. 2735-2742.

Power Knot (2023) *How investing in a biodigester can actually save you money*. Disponível em: <https://powerknot.com/2023/07/03/how-investing-in-a-biodigester-can-actually-save-you-money/>. Acesso em: 26 março 2025.

Rodrigues, NS, Blans, NB e Scindwein, MM (2019) ‘Uso de biodigestores para impulsionar a sustentabilidade ambiental’, *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 1, p. 462-487.

Salcedo, LOG e Arboleda, YO (2009) *Fundamentos para el diseño de biodigestores*. Departamento de Ingeniería.

Seixas, J, Folle, SM e Marchetti, D (1981) *Construção e funcionamento de biodigestores*. Embrapa Cerrados - Circular Técnica (INFOTECA-E).

Silva, ZR (2015) *O ensino de ecologia mediado pelo conceito unificador energia: o biodigestor enquanto modelo didático para uma abordagem interdisciplinar*. Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Souzera (2020) *Legislação. Série Compostagem*. Disponível em: <https://souresiduozero.com.br/2020/05/serie-compostagem-legislacao/>. Acesso em: 4 abril 2024.

Teixeira, SMV e Sobrinho, PA (1981) ‘Digestão aeróbica de lodo de esgoto doméstico’, *Revista DAE*, p. 16.

Valente, BS, et al. (2009) ‘Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos’, *Archivos de Zootecnia*, v. 58, n. 224, p. 59-85.

WEF - Water Environment Federation (2007) *Operation of municipal wastewater treatment plants, Manual of Practice*. No. 11, Volume III: Solids Processes, Sixth Edition, Chapter 31 Aerobic Digestion.