

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**MATHEUS ANDRADE LOURES**

**DEGRADAÇÃO DO SORO DE LEITE A PARTIR DE UM BIORREATOR  
ANAERÓBICO DE BAIXO CUSTO PARA UTILIZAÇÃO NA AGRICULTURA  
FAMILIAR**

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2025**

**MATHEUS ANDRADE LOURES**

**DEGRADAÇÃO DO SORO DE LEITE A PARTIR DE UM BIORREATOR  
ANAERÓBICO DE BAIXO CUSTO PARA UTILIZAÇÃO NA AGRICULTURA  
FAMILIAR**

**WHEY DEGRADATION USING A LOW-COST ANAEROBIC BIOREACTOR FOR  
USE IN FAMILY FARMING**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado Matheus Andrade Loures como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Gabriel Cassemiro Mariano.

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2025**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**MATHEUS ANDRADE LOURES**

**DEGRADAÇÃO DO SORO DE LEITE A PARTIR DE UM BIORREATOR  
ANAERÓBICO DE BAIXO CUSTO PARA UTILIZAÇÃO NA AGRICULTURA  
FAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Química, da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Data de aprovação: 26 de novembro de 2025

---

GABRIEL CASSEMIRO MARIANO  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

---

CLÁUDIO ROBERTO NOVELLO  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

---

DOUGLAS DA COSTA FERREIRA  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2025**

## **Resumo**

Com o aumento do consumo de derivados de leite foram desenvolvidas novas tecnologias de processamento e em conjunto o aumento da geração de resíduos. Esse trabalho foca na produção artesanal dos pequenos produtores rurais apresentando tecnologia para tratar o soro de leite de forma simples, barata e eficiente. São utilizados materiais reaproveitados comuns de encontrar na propriedade rural, tais como bombonas de 50 litros, conexões de PVC e uma bomba de 1/2 CV. Foi construído um sistema de fácil montagem que transforma o soro de leite em biofertilizantes. O método usado é chamado digestão anaeróbia, um processo natural feito sem a presença de oxigênio que ajuda a degradar a matéria orgânica à medida que a Demanda Química de Oxigênio (DQO) reduzir. No processo, o soro de leite foi misturado com esterco bovino em dois níveis, 50% e 75% de concentração. Os ensaios laboratoriais mostraram que o sistema reduziu mais de 66% da DQO sendo o ponto ótimo de degradação observado em quatro dias. A digestão anaeróbia mostrou-se eficaz na degradação do soro de leite, evidenciando seu potencial para tratamento de resíduos lácteos, tendo indícios de que o produto da reação seria realmente seguro para utilização como adubo orgânico.

**Palavras-chave:** Biofertilizantes; digestão anaeróbia; soro de leite; tempo de biorreação; DQO; tratamento de efluentes.

**Abstract**

This study shows small farmers that it is possible to treat whey in a simple, inexpensive and efficient way, using only recycled materials, such as 50-liter drums, PVC connections and a 1/2 HP pump. An easy-to-assemble system was built that transforms whey into organic fertilizer. The method used is called anaerobic digestion, a natural process, carried out without the presence of oxygen, which helps to degrade organic matter as the Chemical Oxygen Demand (COD) reduces. In this study, whey was mixed with cattle manure and tested at two concentration levels: 50% and 75%. The tests showed that the system reduced COD by more than 66% and worked better after four days of testing. Anaerobic digestion proved to be effective in degrading whey, demonstrating its potential for treating dairy waste, with indications that the reaction product would indeed be safe for use as organic fertilizer.

**Keywords:** anaerobic digestion; whey; retention time; COD; wastewater treatment; organic fertilizer.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Materiais e Métodos.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Construção do biorreator anaeróbio.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2</b>	<b>Procedimentos para Biorreação Anaeróbica.....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Potencial de Produção de Biofertilizante.....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>13</b>
	<b>Referências.....</b>	<b>13</b>

## 1. Introdução

A crescente geração de resíduos agroindustriais exige o desenvolvimento de estratégias sustentáveis. De acordo com o IBGE (2024), a produção nacional de leite apresentou um crescimento de 3,1% em relação a 2023, totalizando 25,38 bilhões de litros captados por laticínios sob inspeção sanitária, sendo esse o segundo maior volume registrado na série histórica. Esse crescimento reflete uma recuperação gradual do setor, impulsionada pela redução nos custos de alimentação animal e pela maior estabilidade econômica. Estima-se que cerca de 40% do volume de soro de leite gerado seja descartado de forma inadequada, principalmente por pequenas e médias indústrias de laticínios. Esse cenário persiste devido à falta de infraestrutura e recursos financeiros para tratamento adequado desses resíduos. A ausência de políticas públicas eficazes que incentivem a adoção de tecnologias sustentáveis no setor também contribuem para descartes inapropriados (Bertolo *et al.*, 2023).

O soro de leite possui elevada carga orgânica, proteínas, lactose e gorduras. Quando descartado sem tratamento, contribui para o aumento da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e pode ocasionar contaminação do solo e corpos hídricos principalmente devido à eutrofização (Dantas *et al.*, 2024). Segundo (Flores *et al.*, 2023), a implementação de biodigestores anaeróbios pode contribuir significativamente para a sustentabilidade da indústria de laticínios ao mesmo tempo em que atende às exigências legais e ambientais.

Essas práticas não apenas aprimoram a eficiência no tratamento dos resíduos, mas também favorecem a geração de energia limpa e política de carbono. A digestão anaeróbia é elencada como solução eficiente e sustentável, promovendo a degradação da matéria orgânica com geração de biogás e biofertilizantes. O alto custo de biodigestores comerciais e a complexidade de instalação tornam essa tecnologia inacessível para produtores da agricultura familiar.

Neste contexto, esse estudo propõe a construção e avaliação de um biorreator anaeróbio de baixo custo e fácil construção, utilizando materiais acessíveis como tambor de PEAD, conexões hidráulicas simples e bomba periférica de ½ CV. O sistema foi desenvolvido para permitir a co-digestão de soro de leite com esterco bovino, buscando uma solução economicamente viável, eficiente e correta para pequenos produtores rurais e agroindústrias artesanais.

## 2. Materiais e métodos

Para construção de um sistema viável foi inicialmente coletado amostras de soro de leite e esterco bovino de um mesmo lote os materiais foram armazenados em bombonas de 30 litros de boca larga. O soro de leite foi recolhido em uma unidade de processamento de laticínios localizada no município de Realeza, no sudoeste do Paraná, sendo coletado e armazenado em ambiente refrigerado a 4 °C com o objetivo de preservar suas características

bioquímicas e garantir a estabilidade das amostras. A amostra referente ao esterco bovino foi obtida no município de Francisco Beltrão, também situado no sudoeste do Paraná, em uma propriedade vinculada ao colégio agrícola, próxima à universidade, o esterco era proveniente de bovinos da raça Jersey leiteira.

Após a coleta, as amostras foram caracterizadas de acordo com os métodos descritos pela APHA (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*), conforme apresentado na Tabela 1. Dentre os parâmetros analisados, destaca-se que não foi possível determinar a alcalinidade do soro de leite em virtude do seu pH ácido em torno de 3,2. Segundo os métodos estabelecidos pela APHA, a alcalinidade é medida por meio de titulação até o ponto final de pH 4,5. Quando a amostra já apresenta pH inferior a esse valor é considerado que toda a alcalinidade já foi neutralizada, não sendo possível sua quantificação analítica.

**Tabela 1- Caracterização das amostras de efluentes**

<b>Parâmetro</b>	<b>Soro de Leite</b>	<b>Esterco Bovino</b>
pH	3,2	6,4
DQO (mg/L)	3877,96	2584,72
DBO (mg/L)	1784,00	1275,00
Alcalinidade (mg/L)	0	3480,00
Sólidos Totais (mg/L)	15315,7	13300,0

**Fonte : Autoria própria 2025**

Essa limitação evidencia a baixa capacidade tampão do soro de leite reforçando a necessidade da co-digestão com resíduos orgânicos de maior alcalinidade, como o esterco bovino, que contribuem para a estabilidade do pH favorecendo a microbiologia para digestão anaeróbia.

## **2.1 Construção do biorreator anaeróbio**

Com o objetivo de tornar a digestão anaeróbia viável para agricultura familiar, foi construído um biorreator de bancada com materiais acessíveis e de fácil montagem. O reator foi desenvolvido a partir de um tambor de polietileno de alta densidade (PEAD) com volume útil de 50 litros. O sistema foi equipado com uma bomba centrífuga periférica da marca Intech Machine, de potência ½ CV, modelo de baixo custo com boa capacidade de recirculação do substrato para promover a agitação hidráulica. Os componentes adicionais incluíram conexões hidráulicas simples, como mangueiras de cristal, registros esféricos e tubos

soldáveis, que permitiram montar um circuito eficiente para alimentação, recirculação e coleta do digestato, conforme ilustrado na Figura 1.

**Figura 1 - Esquema reator batelada hidráulica**



**Fonte: Autoria própria 2025**

O custo total de montagem do sistema foi em média de trezentos reais, valor que pode variar de acordo com a região e o volume de leite processado. Essa característica reforça sua viabilidade econômica para produtores rurais de pequeno porte. Além disso, o digestato gerado pode ser utilizado como biofertilizante na propriedade promovendo fechamento do ciclo de nutrientes, reduzindo os gastos com insumos agrícolas e minimizando os impactos ambientais causados pelo descarte impróprio de resíduos lácteos.

## **2.2 Procedimentos para Biorreação Anaeróbica**

Após a montagem do reator foi feito o primeiro teste de tratamento com uma concentração de 50% de substratos composto por soro de leite e esterco bovino. O reator foi operado sob condições mesofílicas com temperaturas de 25 °C a 35 °C controlado pela temperatura ambiente do laboratório. Inicialmente, foram inseridos 20 litros de inóculo de esterco bovino diluídos em 5 litros de água. Para promover a adaptação dos microrganismos estabeleceu-se um período de pré-digestão de sete dias, com agitação hidráulica realizada três vezes ao dia, por 30 minutos cada.

Após esse período o soro de leite foi adicionado de forma gradual com o pH ajustado por meio da adição de solução de hidróxido de sódio 1 mol/L a fim de evitar a acidificação do meio reacional. A estabilidade do reator anaeróbio foi monitorada por meio de análises físico-químicas a cada dois dias, abrangendo os parâmetros de DQO, pH e alcalinidade, sendo que o primeiro teste de concentração e tempo de biorreação teve um período de oito dias.

No segundo teste, correspondente à proporção de 75% de substratos, não foi realizado o esvaziamento completo do reator. Foram mantidos 12,5 litros da

biomassa previamente inoculada, visando preservar a população microbiana já adaptada. O procedimento experimental seguiu o mesmo método do teste anterior com realização periódica das análises físico-químicas ao longo de um período de dez dias.

### 3. Resultados e Discussão

Após digestão anaeróbica foi realizada a caracterização dos efluentes conforme apresentado na tabela 2. O dado remete a ideia de que a remoção da DQO esteve diretamente relacionada à estabilidade do pH e à manutenção da alcalinidade, fatores que são essenciais à atividade microbiana e à eficiência do processo.

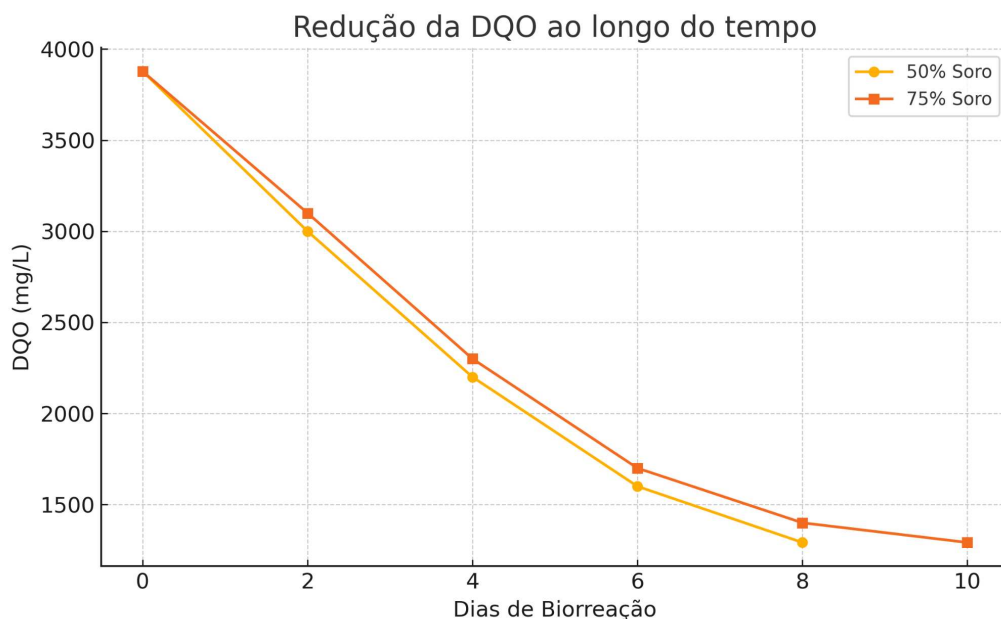
**Tabela 2 - Caracterização final dos tratamentos anaeróbios**

<b>Parâmetro</b>	<b>Teste 50%</b>	<b>Teste 75%</b>
<b>DQO (mg/L)</b>	1291,98 ± 286,29	1291,6236 ± 425,21
<b>DBO (mg/L)</b>	775,52 ± 1,37	775,82 ± 2,53
<b>pH</b>	5,48 ± 1,17	6,21 ± 0,57
<b>Alcalinidade (mg/L)</b>	2866,67 ± 759,67	2133,33 ± 593,29

**Fonte: Autoria própria 2025**

Os ensaios demonstraram que ao final de 8 dias para concentração de 50% de soro de leite, a DQO foi reduzida a aproximadamente 66% da condição inicial. Quando comparada a concentração 75% de soro de leite, a DQO final após 10 dias foi reduzida próxima de 67%. Para melhor compreensão da dinâmica do processo, a Figura 2 apresenta o perfil de redução da DQO ao longo dos dias nos dois testes. Observa-se uma queda mais acentuada nos primeiros quatro dias, com posterior estabilização indicando que grande parte da degradação ocorre nas fases iniciais da biorreação. Esse comportamento reflete a intensa atividade acidogênica seguida pela conversão gradual dos ácidos graxos voláteis em metano, o que reforça a importância do tempo de retenção.

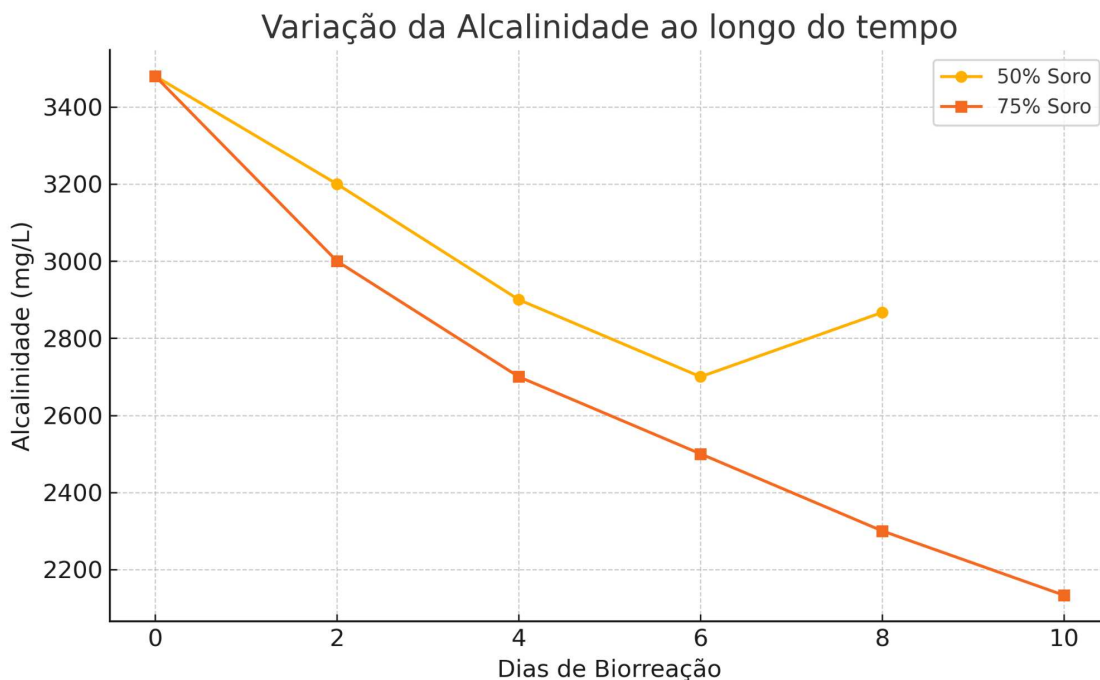
Figura 2- Apresenta o perfil de redução da DQO ao longo dos dias nos dois testes.



Fonte : Autoria própria 2025

O estudo evidenciou a relevância do monitoramento de parâmetros operacionais como temperatura e pH para assegurar condições ideais durante o processo de digestão anaeróbia. A análise dos dados sugeriu que a variação na composição do substrato, em especial a proporção entre soro de leite e esterco bovino, teve influência significativa sobre o desempenho do processo favorecendo a digestão. No entanto, esse aspecto demanda investigações complementares, especialmente quanto ao uso de diferentes inóculos, como o esterco suíno ou o lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto. Esses materiais podem afetar não apenas a estabilização do processo, mas também a qualidade agrônômica do digestato quando consideramos seu potencial uso como biofertilizante. Conforme (Bella *et al.*, 2022), os estudos apontam que a escolha do inóculo influencia diretamente na eficiência da digestão anaeróbia, afetando tanto a produção de biogás quanto a degradação da DQO.

A alcalinidade também apresentou queda ao longo dos dias refletindo seu consumo na neutralização dos ácidos graxos, Figura 3,. Contudo manteve-se acima de 2000 mg/L, valor considerado suficiente para evitar acidificação severa. No processo de digestão a alcalinidade atua como tampão químico estabilizando o pH e favorecendo a sobrevivência de microrganismos metanogênicos que são sensíveis a variações ácidas.

**Figura 3 - Variação de alcalinidade ao longo dos dois testes**

**Fonte: Autoria própria 2025**

A estabilidade do processo de digestão anaeróbica está intimamente ligada ao equilíbrio entre as fases de acidogênese e metanogênese, o processo de biorreação pode comprometer esse equilíbrio, devido ao acúmulo de ácidos graxos voláteis e à eliminação de microrganismos metanogênicos. De acordo com (Marques *et al.*, 2018), avaliando a produção de hidrogênio em biorreator anaeróbico de leite fluidizado, os melhores rendimentos ocorreram com média de seis horas de tempo de biorreação, enquanto tempos menores resultaram em instabilidade do meio reacional.

Em condições com tempos de biorreação mais longos a conversão dos ácidos graxos voláteis em metano foi favorecida. (Tehrani *et al.*, 2014) relataram remoção de até 80% da DQO e geração de biogás em biorreator do tipo UASB. Além disso, a estrutura da comunidade microbiana é sensível às variações de tempo de retenção. A ausência de medição da produção de biogás foi uma das limitações do estudo, impossibilitando a avaliação do balanço energético. Para estudos futuros, recomenda-se a incorporação de sensores de pressão e volume de biogás para estimativas quantitativas. Foi possível observar que a co-digestão com resíduos como o esterco bovino pode contribuir para maior estabilidade do processo, além de viabilizar a produção de subprodutos valiosos, como biofertilizantes era foco principal deste estudo. Finalmente, observa-se que a composição do substrato influenciou mais na estabilidade do processo do que na eficiência final de remoção da carga orgânica, com a manutenção da biomassa

adaptada entre os testes foi um fator positivo, contribuindo para a estabilidade microbiológica do sistema.

Para aplicações em pequena escala, como em laticínios artesanais e propriedades de agricultura familiar, o sistema proposto é tecnicamente viável e economicamente acessível. Sua construção com materiais de baixo custo como bombonas plásticas reutilizadas de 1000 litros e conexões hidráulicas simples, facilita a implementação mesmo no contexto de recursos limitados. Além disso, a operação é simplificada e não requer mão de obra especializada. Embora artesanal, a produção de queijo em pequenas agroindústrias gera volumes expressivos de soro de leite. Estudos recentes indicam que, para cada 10 litros de leite processado é produzido 1 kg de queijo e cerca de 9 litros de soro, o que corresponde em média a 90% do volume original de leite (Moreira *et al.*, 2010; Cruz *et al.*, 2017). Um levantamento realizado no sudoeste do Paraná revelou que a produção média diária de queijo em pequenas agroindústrias é de 475 kg, resultando na geração de cerca de 3.500 a 4.200 litros de soro de leite por dia (Vieira, 2023).

A Adoção de biodigestores por essas unidades produtivas representa uma solução viável tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. O custo de implantação de sistemas de biodigestão varia conforme a capacidade de processamento e os materiais disponíveis, mas para sistemas de pequeno a médio porte, com capacidade para tratar mais de 10.000 litros mensais, os investimentos oscilam entre R\$ 2.100 e R\$ 3.000, especialmente quando se utiliza mão de obra local e insumos acessíveis (Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul, 2023).

Seria interessante a implementação desse tipo de construção junto de políticas públicas e linhas de crédito como exemplo do Programa ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) do BNDES que estimula a adoção de tecnologias sustentáveis no meio rural, viabilizando economicamente esses projetos para pequenos e médios produtores.

### **3.1 Potencial de Produção de Biofertilizante**

Além da eficiência no tratamento o processo proposto apresenta potencial significativo para geração de biofertilizante, com base em estudos de co-digestão anaeróbia (Kavacik *et al.*, 2010), estima-se que 60-80% do volume inicial de substrato seja convertido em digestato líquido. Para condição estudada, reator de 50 L com mistura 1:1 de soro e esterco isso representaria uma produção de 30-40 L de biofertilizante por ciclo em um tempo de retenção de 8-10 dias. Em escala ampliada como em um agroindústria que processa 2.500 L/dia de soro, a co-digestão com esterco bovino (proporção 1:1) poderia gerar aproximadamente 1.500-2.000 L/dia de biofertilizante. Essa estimativa considerando que degradação de 50% dos sólidos voláteis com concentração de 3% de SV no digestato resultando em média 637 L/dia apenas do soro. A contribuição do

esterco bovino pode aumentar o volume em 2-3 vezes devido à sua maior carga de sólidos e alcalinidade (Tehrani *et al.*, 2014). É importante ainda considerar que esse volume de 637 L/dia deixaria de ser abordado como resíduo industrial que após ser tratado é lançado no meio ambiente.

A aplicação agronômica deste biofertilizante pode ser feita via fertirrigação diluído 1:5 em água ou compostagem, fechando o ciclo de nutrientes na propriedade, estudos adicionais são necessários para quantificar teores de N, P e K, bem como avaliar atendimento perfeitamente as normas como a CONAMA 375/2006. O digestato gerado apresentou elevada degradação da matéria orgânica, sendo de fácil aplicação como biofertilizante, esta reutilização promove o fechamento do ciclo de nutrientes, reduz a dependência de fertilizantes sintéticos e minimiza os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado de efluentes. A aplicação prática do digestato requer conformidade com as normas ambientais vigentes e eventuais processos de certificação que garantam sua segurança e eficácia agronômica. Dessa forma, a integração de sistemas de biodigestão à cadeia produtiva do leite configura-se como uma solução sustentável, com grande potencial de escalonamento, desde que acompanhada por suporte técnico e regulamentação adequada.

#### **4. Conclusão**

A digestão anaeróbia demonstrou ser uma alternativa viável e eficaz para o tratamento do soro de leite co-digerido com esterco bovino, proporcionando não apenas a redução da carga orgânica, mas também a geração de subprodutos de valor agregado, como o biofertilizante. Os testes realizados revelaram remoções médias de DQO superiores a 66%, com estabilidade satisfatória dos parâmetros operacionais, mesmo sob diferentes proporções de substrato.

O processo proposto é de baixo custo e tecnicamente adequado para aplicação em pequena escala, como em laticínios artesanais e propriedades da agricultura familiar, oferecendo uma alternativa de tratamento acessível e ambientalmente responsável. Para utilização prática e segura em larga escala, é necessário atendimento às normas ambientais vigentes. A adoção dessa tecnologia contribui para a valorização de resíduos agroindustriais, a mitigação de impactos ambientais e o fortalecimento da economia circular no meio rural.

#### **Referências**

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, D.C., 2017. Acesso em: 1 maio 2025.

BELLA, K.; VENKATESWARA RAO, L. Efeito do substrato e do inóculo na produção de biogás em sistemas de digestão anaeróbia. *Revista Engenharia Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 44–52, 2022. Acesso em: 9 maio 2025.

BERTOLO, H. A. F.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, A. P. *Avaliação da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento do soro de leite na produção de biogás*. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 84–98, 2023.

CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores biológicos anaeróbios*. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007.

DANTAS, L. B. et al. Impactos ambientais da disposição do soro de leite no solo. *MilkPoint*, 27 nov. 2024. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/artigos/industria-de-laticinios/impactos-ambientais-da-disposicao-do-soro-de-leite-no-solo-237766/>. Acesso em: 9 maio 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM): produção de leite no Brasil em 2023*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2921/pevs\\_2023\\_v38\\_br.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2921/pevs_2023_v38_br.pdf). Acesso em: 21 maio 2025.

FERNÁNDEZ, C.; CUETOS, M. J.; MARTÍNEZ, E. J.; GÓMEZ, X. Thermophilic anaerobic digestion of cheese whey: Coupling H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> production. *Biomass & Bioenergy*, v. 81, p. 55–62, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.05.02>.

FLORES, N. B.; MATTE, M. K.; OLIVEIRA, N. A. de; NOLASCO, L. G. Esterco animal como fonte de energia renovável. *Revista Jurídica da Escola Superior de Justiça*, v. 10, n. 15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.61389/rjdsj.v10i15.7694>.

KAVACIK, B.; TOPALOGLU, B. Biogas production from co-digestion of a mixture of cheese whey and dairy manure. *Biomass & Bioenergy*, v. 34, n. 9, p. 1321–1329, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.04.006>.

MARQUES, T. D. et al. Influence of hydraulic retention time on hydrogen production by treating cheese whey wastewater in anaerobic fluidized bed bioreactor – an approach for developing countries. *Figshare*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11350796>.

METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2014.

RAMOS, L. R. et al. Controlling methane and hydrogen production from cheese whey in an EGSB reactor by changing the HRT. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, v. 43, n. 4, p. 673–684, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00449-019-02265-9>.

SILVA, A. C. F. M. et al. Tratamento de resíduo líquido de laticínios. *Revista Agrogeoambiental*, 2015.

TEHRANI, N. et al. Performance of up flow anaerobic sludge fixed film bioreactor for the treatment of high organic load and biogas production of cheese whey wastewater. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, v. 21, n. 2, p. 229–237, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2298/CICEQ131105018T>.

VIEIRA, Gabriel Astolpho. Diagnóstico do gerenciamento de efluentes da produção de queijos em agroindústrias no Sudoeste do Paraná. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2023.

CRUZ, A. G. et al. Processing of dairy beverages and utilization of whey. *Food Research International*, v. 100, p. 873-890, 2017.

MOREIRA, J. R. et al. Aproveitamento do soro de leite na alimentação animal. *Embrapa Gado de Leite*, 2010.

ACRISUL. *Pesquisa comprova eficiência econômica de biogás na pecuária de leite*. 2023. Disponível em: <https://www.acrissul.com.br/pecuaria/pesquisa-comprova-eficiencia-economica-de-biogas-na-pecuaria-de-leite/14542/> Acesso em: 28 maio 2025.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO PARAÍBA DO SUL. *Produtor rural economiza gás de cozinha com biodigestor e aumenta a produção de leite com ajuda do Comitê*. 2023. Disponível em: <https://comiteps.sp.gov.br/2023/05/produtor-rural-economiza-gas-de-cozinha-com-biodigestor-e-aumenta-a-producao-de-leite-com-ajuda-do-comite-das-bacias-hidrograficas-do-rio-paraiba-do-sul/> Acesso em: 28 maio 2025.

EMBRAPA. *Pesquisa comprova eficiência econômica de biogás na pecuária de leite*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/rondonia/busca-de-noticias/-/noticia/41719708/pesquisa-comprova-eficiencia-economica-de-biogas-na-pecuaria-de-leite> Acesso em: 28 maio 2025.

EPAGRI. *Aprenda a construir um biodigestor de baixo custo*. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2020. Disponível em: <https://blog.epagri.sc.gov.br/index.php/aprenda-a-construir-um-biodigestor-de-baixo-custo/> Acesso em: 28 maio 2025.