



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ISABELA RODRIGUES LIMA DE FREITAS

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE
EFLUENTE LÍQUIDO DO CEASA/PE

RECIFE
2025



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL
DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

ISABELA RODRIGUES LIMA DE FREITAS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE
EFLUENTE LÍQUIDO DO CEASA/PE**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação de Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como um dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Dr. André Felipe de Melo Sales Santos
Coorientador: MCs. Maria de Fatima Gonçalves de Oliveira

**RECIFE
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

F866a Freitas, Isabela Rodrigues Lima de.
Avaliação do desempenho do sistema de tratamento de efluente líquido
do Ceasa/PE / Isabela Rodrigues Lima de Freitas. – Recife, 2025.
35f.: il.

Orientador(a): André Felipe de Melo Sales Santos.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal
Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Bacharelado em
Engenharia ambiental, Recife, BR, 2025.
Inclui referências e apêndice(s).

1. Filtro biológico 2. Chorume 3. Gestão integrada de resíduos sólidos
4. Resíduos sólidos 5. Centro de Abastecimento de Pernambuco I. Santos,
André Felipe de Melo Sales, orient. II. Título

CDD 641.013



ISABELA RODRIGUES LIMA DE FREITAS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE
EFLUENTE LÍQUIDO DO CEASA/PE**

Projeto final de curso julgado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental, defendida e _____ por unanimidade em __/__/__ pela comissão avaliadora.

Comissão Avaliadora

Prof. Dr. André Felipe de Melo Sales Santos (Orientador/Presidente da Comissão)
Departamento de Engenharia Ambiental (UFRPE)

Profª. Dra. Rossanna Barbosa Pragana (Membro Titular 01)
Departamento de Engenharia Ambiental (UFRPE)

Dra. Liliana Andréa dos Santos (Membro Titular 02)
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal (UFRPE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, em especial aos meus primeiros mestres, meus pais, Patrícia e Marcos, por todo amor, apoio incondicional e por sempre acreditarem em mim, mesmo nos momentos mais desafiadores. Sem vocês, esta conquista não seria possível. Ao meu companheiro Maiesk, por estar ao meu lado durante todo o percurso, me apoiando e ajudando com paciência, por acolher meus dias cansados e vibrar com minhas pequenas conquistas. Sua presença foi meu refúgio e minha força.

Ao meu orientador Dr. André Felipe e à minha coorientadora Fátima Gonçalves, pela confiança, orientação competente, paciência e incentivo constante.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), minha casa de formação, pelo ensino de excelência e pela infraestrutura. Aos professores da Engenharia Ambiental, que marcaram minha trajetória com saberes e exemplos. Ao LABSAM/DTR, e em especial à Patrícia, pelo suporte técnico nas análises laboratoriais.

Agradeço também ao CEASA-PE, pelos quase dois anos de parceria enquanto estagiária. Ao Departamento de Engenharia (DENGE) e, principalmente, ao Setor Ambiental (SEAMB), e às minhas amadas colegas Karolinne e Fátima, por toda troca e aprendizado.

Às minhas amigas Luana, Júlia, Mariana e Nathalia, por serem colo e por me acompanharem desde antes da graduação. E aos meus amigos de curso, em especial Gabriela e Wilianne, com quem dividi risos, angústias, provas, trabalhos... sem vocês, esse caminho teria sido muito mais difícil.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para essa trajetória com gestos, palavras e apoio. A todos vocês, muito obrigada!

RESUMO

O despejo irregular de efluentes líquidos, sem tratamento, ou com tratamento ineficiente pode levar a uma série de problemas ambientais, refletindo na qualidade das águas naturais e do solo. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho de filtro biológico no tratamento do efluente líquido (chorume) proveniente dos restos de frutas e verduras instalado no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco - CEASA/PE. As coletas das amostras foram realizadas em triplicata nos pontos: P1 (Caixa de decantação), P2 (Caixa de equalização) e P6 (Tanque de armazenamento). O efluente antes e após o tratamento foi analisado quanto ao pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Condutividade elétrica, turbidez e sólidos totais. Os dados obtidos serão submetidos à análise através da estatística, em paralelo, foi realizada a análise de custo do sistema atual. Os resultados evidenciaram melhorias significativas em alguns parâmetros, como a adequação do pH aos padrões ambientais e a redução de sólidos totais e condutividade elétrica. No entanto, a eficiência de remoção da DQO (83,4%) e da turbidez não atingiu os limites estabelecidos pela legislação vigente (CONAMA nº 430/2011 e nº 357/2005). A análise de custo do sistema revelou um gasto médio mensal com o esgotamento do efluente de R\$ 1.764,41, valor que poderia ser reduzido caso o efluente apresentasse em conformidade legal para reuso ou descarte. Conclui-se que o sistema é promissor, mas requer ajustes operacionais e complementações tecnológicas para alcançar maior eficiência e viabilidade econômica.

Palavras-chave: Filtro biológico, Lixiviado, Tratamento de efluentes, CEASA-PE, Resíduos orgânicos.

ABSTRACT

The improper disposal of untreated or inadequately treated liquid effluents can lead to a series of environmental problems, compromising the quality of natural water bodies and soils. This study aims to evaluate the performance of a biological filter in the treatment of liquid effluent (leachate) originating from fruit and vegetable waste at the Supply and Logistics Center of Pernambuco (CEASA/PE). Triplicate samples were collected at three points: P1 (settling tank), P2 (equalization tank), and P6 (storage tank). The effluent, both before and after treatment, was analyzed for pH, Chemical Oxygen Demand (COD), electrical conductivity, turbidity, and total solids. The results were assessed using descriptive statistics (mean and standard deviation), and a cost analysis of the current system was also carried out. The data showed significant improvements in some parameters, such as pH adjustment to environmentally acceptable levels, and the reduction of total solids and electrical conductivity. However, the removal efficiencies for COD (83.4%) and turbidity did not meet the limits set by current Brazilian legislation (CONAMA Resolutions 430/2011 and 357/2005). The cost analysis revealed an average monthly expense of R\$ 1,764.41 for effluent removal, which could be reduced if the treated effluent complied with legal standards for reuse or safe disposal. It is concluded that the system is promising, but operational adjustments and additional treatment stages are needed to achieve greater efficiency and economic viability.

Keywords: Biological filter, Leachate, Effluent treatment, CEASA-PE, Organic waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Fluxo da gestão de resíduos e efluentes da CEASA.	19
Figura 2: Sistema de Filtro Biológico (SFB).	20
Figura 3:Aspectos das amostras coletadas nos pontos P1 a P6.	21
Figura 4:Valores médios de pH ao longo do tratamento.	25
Figura 5: Valores médios de Turbidez ao longo do tratamento.	26
Figura 6: Valores médios da condutividade elétrica ao longo do tratamento.	27
Figura 7: Valores médios dos sólidos totais ao longo do tratamento.	27
Figura 8: Valores médios da DQO ao longo do tratamento.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Metodologias utilizadas nas análises físico-químicas.	21
Tabela 2: Caracterização físico-química do efluente bruto.	22
Tabela 3: Caracterização físico-química do efluente tratado.	23
Tabela 4: Resultados médios das análises do monitoramento da ETE.	24
Tabela 5: Custo de esgotamento do SFB.	28

Sumário

1. INTRODUÇÃO	
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	
2.1 Geração e Caracterização do Lixiviado em Centrais de Abastecimento	
2.2 Tecnologias Aplicadas ao Tratamento de efluente orgânico	
2.3 Diretrizes legais	
2.4 Estudos de Caso e Aplicações Reais	
3. OBJETIVOS	
3.1 Objetivo Geral	
3.2 Objetivos Específicos	
4. MATERIAIS E MÉTODOS	
4.1 Local de estudo	
4.2 Caracterização físico-química do efluente	
4.3 Estudo de custo	
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
5.1 Caracterização físico-química do efluente bruto (P1)	
5.2 Caracterização físico-química do efluente tratado (P6)	
5.3 Avaliação do Desempenho do Sistema de Tratamento	
5.3.1 pH	
5.3.2 Turbidez	
5.3.3 Condutividade Elétrica	
5.3.4 Sólidos Totais	
5.3.5 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	
5.4 Estudos de custo	
6. CONCLUSÃO	
7. RECOMENDAÇÕES	
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXO I	

1. INTRODUÇÃO

O tratamento e destinação correta dos resíduos é um grande desafio para a sociedade globalizada e sobretudo para grandes empresas geradoras de resíduos. Segundo Castilhos Júnior (2003), o plano de gerenciamento de resíduos sólidos deve ser elaborado de forma agregada, desde a geração até a destinação e tratamento final. É importante que façam parte desse processo, o governo, a iniciativa privada e a sociedade como um todo.

A gestão dos resíduos sólidos tem-se constituído em um desafio global. No Brasil, a Lei nº12.305/2010 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a Lei nº14.236/2010 (PERNAMBUCO, 2010) Política Estadual de Resíduos Sólidos são instrumentos que estabelecem como principais objetivos: não geração, redução, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos; disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; racionalização do uso de recursos naturais no processo de produção; intensificação de ações de educação ambiental; aumento da reciclagem no país; promoção da inclusão social; geração de emprego e renda para catadores de materiais recicláveis.

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos no Brasil tem uma participação majoritária dos materiais de características orgânicas, cuja parcela considerável destes resíduos é decorrente do desperdício de alimentos. Dentre os grandes geradores de resíduos orgânicos estão as Centrais de Abastecimento, conhecidas por CEASA. No Brasil, existem 23 unidades destas, filiadas à Associação Brasileira das Centrais de Abastecimentos (ABRACEN), entre as quais se encontra o Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco (ABRACEN, 2024).

Considerando a grande geração de resíduos dos centros de Abastecimento Estaduais (CEASA), principalmente orgânicos, é necessário que ocorra a destinação correta para que estes resíduos possam ser reaproveitados efetivamente. Um dos principais problemas dentro dos Centros de Abastecimento (CEASA), está relacionado à grande geração de resíduos, onde a maioria destes é orgânico.

De acordo com a classificação da ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2004), NBR 10004, os resíduos sólidos abrangem materiais em estado sólido e semissólido resultantes de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de prestação de serviços e de varrição. Nessa categoria também se incluem os lodos oriundos de sistemas de tratamento de água, os gerados em equipamentos e instalações de controle da poluição e certos efluentes líquidos que, devido às suas características, não podem ser lançados diretamente na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, exigindo soluções técnicas e economicamente viáveis de tratamento e destinação.

O CEASA-PE é considerado a maior central de abastecimento do Norte/Nordeste em volume de vendas, comercializando em torno de 90.000 t/mês de produtos hortifrutigranjeiros, cereais e estivas, peixes além de flores ornamentais e produtos orgânicos, gerando mensalmente uma média de 1000 tonelada de resíduos sólidos, dos quais 90% são resíduos orgânicos (CEASA, 2022).

O líquido excedente gerado nos caminhões compactadores devido à alta umidade dos resíduos é direcionado para o Sistema de Filtro Biológico (SFB) instalado na unidade, visando otimizar o transporte e tratamento.

O despejo irregular desse resíduo sem tratamento ou com tratamento ineficiente pode levar a uma série de problemas ambientais, refletindo na qualidade das águas naturais. Altas cargas de matéria orgânica afetam as características físicas, químicas e biológicas originais do corpo hídrico, levando a alterações na dinâmica natural e impactando toda a cadeia de seres vivos que dependem desse ecossistema (Knapik et al., 2009).

O tratamento de efluentes objetiva a preservação do meio ambiente natural pela remoção dos contaminantes. Os principais processos de tratamento são: processos físicos (gradeamento, peneiramento, decantação e flotação), químicos (cloração, ozonização, radiação ultravioleta e processos eletrolíticos) e biológicos (processos anaeróbios e aeróbios). A escolha do método de tratamento está relacionada com fatores como a qualidade e quantidade dos resíduos, custos de investimento e geração de odor, além dos parâmetros de qualidade da água (DQO, DBO, Cor, Turbidez, pH e óleos) (Marcondes, 2012).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Geração e Caracterização do Lixiviado em Centrais de Abastecimento

As centrais de abastecimento, como o CEASA-PE, movimentam diariamente grandes volumes de produtos hortifrutigranjeiros, resultando na geração de resíduos orgânicos com elevado teor de umidade. A decomposição desses resíduos, em conjunto com a ação da água da chuva ou da prensagem nos caminhões compactadores, gera um efluente líquido conhecido como chorume ou lixiviado. Esse líquido apresenta coloração escura, odor forte e elevada carga poluente, sendo rico em matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos, nutrientes e, em alguns casos, metais (Monteiro, 2001).

O lixiviado proveniente da fração orgânica dos resíduos sólidos apresenta composição extremamente variável, dependendo da sazonalidade, da estação anual, do tipo de resíduo e das condições ambientais.

Estudos de digestão anaeróbia de resíduos de frutas e verduras provenientes de um mercado atacadista europeu ao longo de um ano, apontam que resíduos compostos por frutas e verduras podem apresentar altos teores de carboidratos (552 g/kg VS), proteínas (158 g/kg VS) e fibras vegetais, o que se traduz em elevadas concentrações de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), além de substâncias nitrogenadas e sólidos suspensos (Kalogiannis et al. 2023)

Além disso, lixiviados oriundos de frutas cítricas e hortaliças tendem a apresentar pH ácido, elevada turbidez, condutividade elétrica significativa e presença de nutrientes como nitrogênio e fósforo, o que contribui para a sua complexidade de tratamento (AZIZ et al., 2018).

2.2 Tecnologias Aplicadas ao Tratamento de efluente orgânico

Segundo Pacheco e Peralta (2004) as formas de tratamento do efluente podem ser classificadas em dois grupos principais: processos físico-químicos e biológicos. A tecnologia adequada depende de diversos fatores, como as características do efluente, a eficiência desejada na remoção de contaminantes, os custos operacionais e de implantação e as exigências da legislação ambiental.

Para a seleção da técnica de tratamento mais apropriada, é fundamental conhecer as características e variações do lixiviado, bem como o nível de tratamento desejado (Felice, 2024).

Os processos biológicos são amplamente utilizados no tratamento de lixiviados devido à sua alta taxa de eficiência e bom custo-benefício, sendo particularmente eficazes no tratamento de “lixiviados jovens”, que apresentam elevada relação DBO/DQO. Nesses sistemas, os microrganismos degradam a matéria orgânica por meio de reações metabólicas, convertendo compostos complexos em substâncias mais simples, como dióxido de carbono, metano e novas células microbianas. O tratamento biológico pode ser classificado como aeróbio ou anaeróbio: no processo aeróbio, a matéria orgânica é convertida em CO₂ e biomassa, enquanto no anaeróbio ocorre a produção de biogás (principalmente metano e gás carbônico), em ambientes isentos de oxigênio (Castilho, 2006).

Além da matéria orgânica, o tratamento biológico é uma alternativa eficaz para a remoção de compostos nitrogenados presentes nos lixiviados, especialmente na forma amoniacal e orgânica, provenientes da decomposição anaeróbia de resíduos (Fleck, 2003). A remoção do nitrogênio ocorre por meio dos processos de nitrificação e desnitrificação. A

nitrificação compreende a oxidação do amônio (NH_4^+) a nitrito (NO_2^-) e, posteriormente, a nitrato (NO_3^-), realizada por bactérias nitrificantes em ambiente aeróbio. Já a desnitrificação é o processo de redução biológica do nitrato para nitrogênio gasoso (N_2), que é liberado para a atmosfera, exigindo um ambiente anóxico e a presença de carbono orgânico como fonte de energia — que pode ser proveniente do próprio lixiviado ou de fontes externas como metanol ou acetato (Metcalf; Eddy, 2003)

Dessa forma, os processos físico-químicos são frequentemente utilizados em conjunto com os biológicos, seja como pré-tratamento (para remoção de nitrogênio amoniacal ou metais), ou como pós-tratamento (para redução de cor, turbidez, sólidos, compostos tóxicos e partículas coloidais). Entre os principais métodos físico-químicos aplicáveis estão a coagulação/floculação, precipitação química e adsorção em carvão ativado que têm mostrado bons resultados em termos de clarificação e polimento do efluente (Ferreira, 2013).

Outras tecnologias que vem ganhando destaque são processos de separação por membranas (PSM), como microfiltração, ultrafiltração, nano filtração e osmose reversa. Essas técnicas permitem a remoção de partículas, microrganismos e compostos orgânicos com alta precisão. No entanto, os principais desafios desses sistemas são o alto custo de implantação e operação, a curta vida útil das membranas e a geração de um concentrado residual (conhecido como CM – concentrado de membrana), altamente poluente e de difícil tratabilidade. Os PSM são considerados bastante utilizados para atender a padrões de lançamento mais restritivos, especialmente quando empregados como polimento final após tratamentos biológicos (Santos, 2023).

Uma das alternativas para mitigar o problema da contaminação gerada por esse líquido é o filtro biológico, um reator de baixo custo que atua na remoção da matéria orgânica através do contato com um material inerte por um certo período, de forma que os microrganismos fixam-se na superfície de contato e se desenvolvem formando um biofilme (Armelin, 2009).

2.3 Diretrizes legais

A gestão e o tratamento de efluentes líquidos no Brasil, incluindo o lixiviado oriundo da decomposição de resíduos orgânicos, estão submetidos a um conjunto de legislações que visam proteger os recursos hídricos, o solo e a saúde pública. As diretrizes legais aplicáveis abrangem as esferas federal, estadual e municipal, e determinam parâmetros de qualidade,

formas de monitoramento, responsabilidades legais e limites para lançamento de efluentes em corpos receptores.

No âmbito federal, destaca-se a Resolução CONAMA nº 430/2011, que complementa e atualiza a Resolução nº 357/2005. Esta norma estabelece os critérios e padrões para o lançamento de efluentes líquidos em corpos hídricos, incluindo limites para parâmetros como pH (entre 5 e 9), temperatura (não pode exceder a do corpo receptor em mais de 3 °C), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO – máximo de 60 mg/L em 5 dias a 20 °C), óleos e graxas (máximo de 20 mg/L), sólidos sedimentáveis (máximo de 1,0 mL/L), e ausência de substâncias tóxicas ou perigosas ao meio ambiente (Brasil, 2011).

Além disso, a Lei Federal nº 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais) estabelece sanções penais e administrativas para condutas lesivas ao meio ambiente, incluindo o lançamento de resíduos ou efluentes em desacordo com as exigências legais. Complementarmente, a Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define a obrigatoriedade da gestão adequada dos resíduos e seus subprodutos (Brasil, 2010).

No âmbito estadual, em Pernambuco, destaca-se a atuação da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), que regula o licenciamento ambiental das atividades potencialmente poluidoras, como sistemas de tratamento de efluentes e unidades de gerenciamento de resíduos. A Portaria CPRH nº 004/2010, por exemplo, estabelece diretrizes para o monitoramento de efluentes líquidos e para o controle de lançamentos em corpos receptores no estado. A CPRH também exige relatórios periódicos de análise da qualidade dos efluentes e, em muitos casos, define limites mais restritivos que os federais, de acordo com a classificação do corpo hídrico receptor (CPRH, 2010).

Em relação às diretrizes municipais, os municípios brasileiros, conforme previsto na Lei nº 14.026, conhecida como Novo Marco Legal do Saneamento Básico, têm a responsabilidade de implantar políticas locais de saneamento, incluindo o controle e fiscalização do lançamento de efluentes no ambiente urbano. No Recife, por exemplo, a Lei Municipal nº 18.208/2015, que institui a Política Municipal de Saneamento Básico do Recife, estabelece diretrizes voltadas à promoção da saúde pública, da qualidade de vida da população e da proteção ambiental, por meio da organização e universalização dos serviços de saneamento básico. Entre seus principais objetivos, destaca-se a estruturação de um sistema integrado e sustentável de gestão de resíduos sólidos e efluentes, com foco na eficiência operacional, segurança sanitária e inclusão social (Recife, 2015).

A Lei Ordinária nº 14903, de 3 de outubro de 1986, do município de Recife, Pernambuco, estabelece sanções para infrações relacionadas à limpeza urbana. Entre suas disposições, a lei inclui uma multa de 5,00 a 7,00 UFR para o transporte de material a granel com derramamento nas vias públicas, causando inconvenientes à saúde e ao bem-estar público e desrespeitando regulamentos municipais ou regras técnicas do órgão municipal encarregado de limpeza urbana (Recife, 1986).

2.4 Estudos de Caso e Aplicações Reais

Segundo Machado (2019), que analisou o tratamento de efluentes líquidos de uma indústria de sucos em Minas Gerais, o efluente, apresentava alta carga de DBO (650 mgO₂/L), DQO (1.000 mgO₂/L), óleos e graxas (95), sendo tratado por uma estação composta por unidades físico-químicas e biológicas. O sistema demonstrou boa eficiência na remoção da matéria orgânica (95%), evidenciando a viabilidade da aplicação de tecnologias convencionais adaptadas a resíduos líquidos oriundos de frutas.

Ainda no contexto brasileiro, o trabalho de Santos (2009) testou a adição de lixiviado a esgoto doméstico em reatores UASB, com posterior tratamento em filtros biológicos aerados e anaeróbios. O estudo concluiu que a presença do chorume interfere na eficiência do reator UASB acima de 2,5% de adição volumétrica, e que a etapa com filtro anaeróbio auxiliou na redução da concentração na maioria dos parâmetros analisados.

No cenário internacional, o estudo de Kalogiannis et al. (2023) avaliou resíduos de frutas e verduras em um mercado atacadista europeu, com forte variabilidade sazonal na composição. O sistema empregado combinava um reator do tipo leach-bed acoplado a um reator UASB, alcançando elevada eficiência de degradação mesmo com variações de carga. Os autores reforçam que a resiliência do sistema de tratamento é essencial quando se lida com efluentes orgânicos de origem hortifrutigranjeira, o que corrobora a escolha por tecnologias simples e ajustáveis, como os filtros biológicos utilizados no CEASA-PE.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho do Sistema de filtro biológico no tratamento do lixiviado do Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização físico-química do lixiviado resultante da prensagem dos resíduos orgânicos, no ponto de chegada no tanque de decantação;
- Determinar as características físico-químicas do efluente tratado, no ponto de saída do filtro biológico;
- Analisar os custos operacionais envolvidos no esgotamento do sistema de filtro biológico.

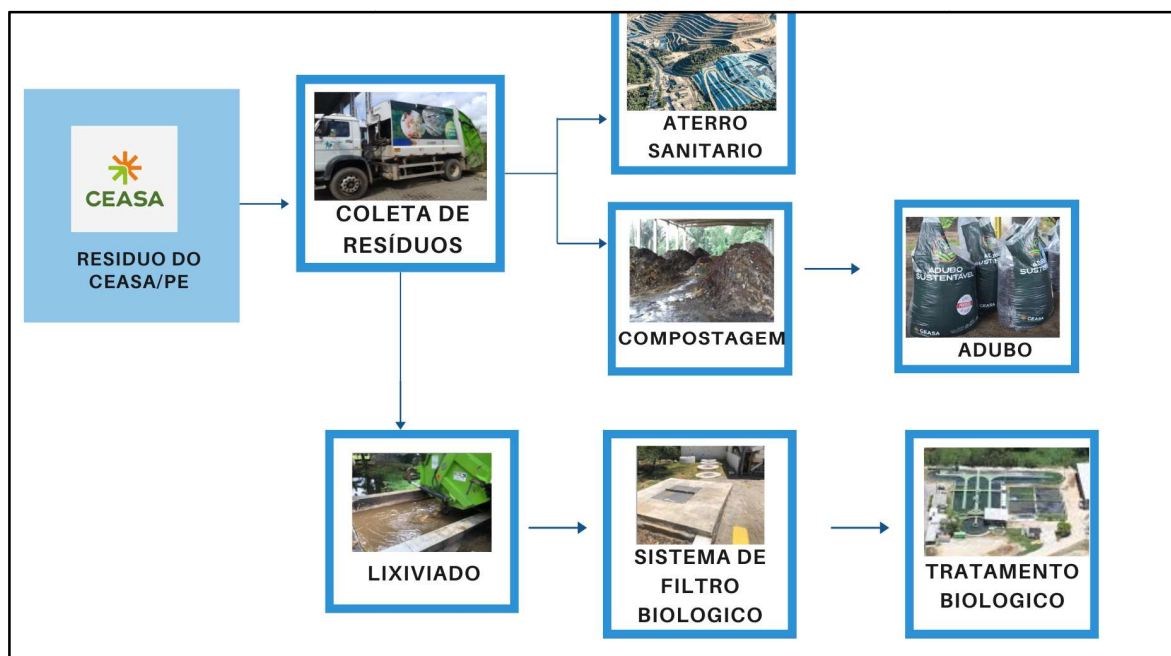
4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido no CEASA-PE, que está localizado no bairro do Curado em Recife, praticamente no centro da Região Metropolitana do Recife, próximo às principais rodovias federais que cruzam o Estado, a BR-101 e a BR-232, sendo suas coordenadas geográficas, 8° 4' 19" S, 34° 56' 42" W. Dispõe de uma área de 580.000 m², sendo 325.000 m² urbanizados, com uma movimentação de cerca de 70.000 pessoas/dia, que são responsáveis pela geração de um volume considerável de resíduos (CEASA, 2024)

Os resíduos, com predominância da fração orgânica, são armazenados em coletores de plásticos, com capacidade de 0,2 m³, dispostos em todos os galpões, que são coletados em três caminhões modelo compactadores, sendo duas coletas em média por turno. Estes resíduos são destinados para o aterro sanitário e para a empresa de tratamento de resíduos orgânicos como consta no fluxograma na Figura 1. Como os resíduos orgânicos apresentam uma elevada umidade (80 a 95 % de água) ocorre um extravasamento de líquido ao longo do acondicionamento nos coletores e nos caminhões transportadores. Visando otimizar esses transportes, os caminhões compactadores dispõem o líquido gerado através da prensa dos resíduos no Sistema de filtro biológico (SFB) instalado na unidade.

Figura 1: Fluxo da gestão de resíduos e efluentes da CEASA.



Fonte: Autores (2025).

Diariamente são gerados em média 2000 L de lixiviado. O sistema responsável pelo tratamento comporta um volume de 16m³ no total, e se inicia no pátio de recepção com a separação onde o lixiviado é depositado e segue para o gradeamento, através de uma grade, com uma área de aproximadamente 1m², onde esse líquido é recebido com uma vazão de 2m³/dia.

O gradeamento é responsável pela separação de resíduos sólidos maiores. Após a separação o efluente é conduzido pelo tanque de decantação que contém 2 chicanas e suporta um volume de 6m³, e após, para o tanque de equalização. Em seguida segue para três filtros biológicos de ascensão, com vasos comunicantes, o meio de suporte utilizado para a formação do biofilme é a brita 25 e brita 38, e instalados em série, com volume máximo de 2m³, construídos em alvenaria, cujos conectores são tubos rígidos em PVC (policloreto de vinila). Por fim, o líquido é acondicionado no tanque de armazenamento, de 2m³, que seguirá para o descarte final.

Figura 2: Sistema de Filtro Biológico (SFB).



Fonte: Autores (2025).

4.2 Caracterização físico-química do efluente

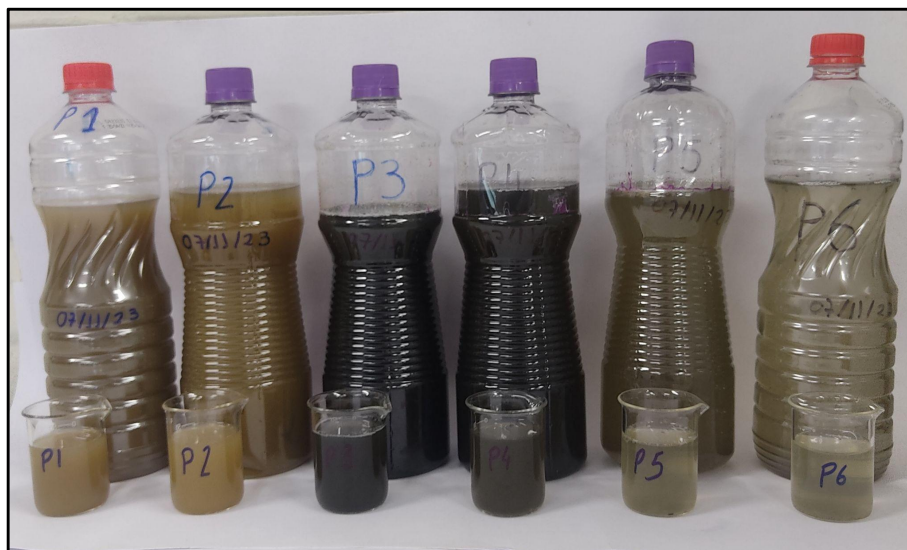
O estudo visa avaliar os resultados do tratamento do efluente líquido gerado no CEASA-PE, por meio do sistema de filtro biológico. Desta forma, foram coletadas amostras em pontos estratégicos do sistema de tratamento, conforme descrito a seguir:

- **Efluente bruto (P1):** localizado no tanque de decantação, representa o lixiviado gerado antes de qualquer etapa de tratamento;
- **Efluente decantado (P2):** amostra coletada no tanque de equalização, após a decantação inicial;
- **Efluente tratado (P6):** corresponde ao líquido presente no tanque de armazenamento final, após o processo de tratamento.

Análises adicionais foram realizadas incluindo os pontos 3, 4 e 5, com o objetivo de diagnosticar de forma mais precisa o sistema e obter informações adicionais. No Anexo I apresentam-se os dados completos do monitoramento.

As amostras foram coletadas em garrafas plásticas transparentes com capacidade de 1 litro, identificadas com data e ponto de coleta, representados na Figura 2. Após a coleta, foram mantidas refrigeradas e transportadas ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LABSAM) do Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco (DTR/UFRPE), onde foram submetidas às análises laboratoriais.

Figura 3: Aspectos das amostras coletadas nos pontos P1 a P6.



Fonte: Autores (2025).

Os parâmetros avaliados foram: pH, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais e condutividade elétrica, como consta na Tabela 01. A metodologia para a análise dos parâmetros físico-químicos seguiu as diretrizes do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

Tabela 1: Metodologias utilizadas nas análises físico-químicas.

Parâmetro	Metodologia
pH	Potenciométrico
Turbidez (NUT)	Turbidimétrico
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Condutivimétrico
ST (mg/l)	Gravimétrico
DQO (mgO_2/L)	Oxidimétrico com refluxo fechado

Fonte: Autores (2025).

4.3 Estudo de custo

Para o estudo de custo, considerou-se o valor total da operação de esgotamento do Sistema de Filtro Biológico, englobando as etapas de locação do caminhão hidrojetado, transporte até a unidade de tratamento e tratamento do efluente, calculado com base no custo por metro cúbico (m³) removido.

Atualmente, há um contrato com a empresa terceirizada (Lógica Ambiental), que é responsável pelo esgotamento do sistema de filtro biológico e de algumas fossas sanitárias instaladas na região. O esgotamento é realizado utilizando um caminhão hidrojetado com capacidade de 21 m³. O processo envolve a inserção de um tubo acoplado em um dos tanques do sistema de filtro biológico, pelo qual o efluente é sugado para o interior do tanque do caminhão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nas 9 amostragens, durante o período compreendido entre 08 de agosto e 07 de novembro de 2023, nos parâmetros pH, turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO), sólidos totais e condutividade elétrica de amostras coletadas em seis pontos distintos ao longo do Sistema de Filtro Biológico, indicam variações nas características físico-químicas do efluente ao longo do processo.

5.1 Caracterização físico-química do efluente bruto (P1)

As amostras coletadas no ponto de entrada do sistema de tratamento, correspondente à caixa de decantação (P1), evidenciaram características típicas de um efluente orgânico altamente concentrado e poluente.

Essa composição confere ao lixiviado uma elevada carga orgânica e característica ácida, o que o torna um líquido agressivo ao meio ambiente e de difícil disposição sem tratamento prévio. Na Tabela 3 apresenta-se a caracterização físico-química do efluente bruto.

Tabela 2: Caracterização físico-química do efluente bruto.

Parâmetros	Valores médios
------------	----------------

pH	4,21
Turbidez (NUT)	2307,20
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	7389,28
Sólidos Totais (mg/l)	19822,22
DQO (mgO_2/L)	39193,41

Fonte: Autores (2025).

O pH médio do efluente bruto foi de 4,21, indicando acidez acentuada, que pode comprometer a estabilidade de processos biológicos convencionais. Essa acidez decorre da natureza do resíduo.

A turbidez média observada foi de 2.307,20 NTU, um valor extremamente elevado, indicando grande quantidade de partículas em suspensão e sólidos orgânicos. Para fins de comparação, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece turbidez máxima de 40 NTU para corpos hídricos de classe 2, demonstrando que o lixiviado analisado ultrapassa em mais de 57 vezes esse limite (BRASIL, 2005).

A condutividade elétrica média foi de 7.389,28 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor que indica alta concentração de íons dissolvidos. Esses íons são provenientes tanto da degradação da matéria orgânica quanto de resíduos de fertilizantes e substâncias presentes nas frutas e verduras.

Os sólidos totais apresentaram média de 19.822,22 mg/L, evidenciando uma carga significativa de materiais em suspensão e dissolvidos, sendo parte orgânica (restos de frutas, fibras vegetais, óleos, gorduras) e parte inorgânica (areia, partículas minerais).

Por fim, a Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi registrada com uma média de 39.193,41 mg/L, um valor extremamente elevado. Essa alta carga orgânica é composta tanto por frações biodegradáveis quanto por substâncias recalcitrantes, que exigem um sistema robusto e multifásico de tratamento.

5.2 Caracterização físico-química do efluente tratado (P6)

As análises das amostras coletadas no ponto P6, correspondente ao tanque de armazenamento final após o tratamento no filtro biológico, mostraram melhora significativa nos parâmetros avaliados, embora alguns ainda estejam fora dos padrões legais. O resultado da médios da caracterização está apresentado na Tabela 4.

Tabela 3: Caracterização físico-química do efluente tratado.

Parâmetros	Valores médios
pH	6,02
Turbidez (NUT)	326,50
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1675,55
Sólidos Totais (mg/l)	2270,37
DQO (mgO_2/L)	6481,77

Fonte: Autores (2025).

O pH médio observado nas amostras foi de 6,02. Esses valores indicam uma tendência de neutralização da acidez do efluente. O valor encontra-se dentro da faixa permitida pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece como aceitável para lançamento de efluentes um pH entre 5 e 9 (BRASIL, 2011).

A turbidez apresentou média de 326,50 NTU, embora este valor represente uma diminuição seja relevante, o valor final ainda está muito acima do limite de 40 NTU estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2 (BRASIL, 2005).

No que se refere à condutividade elétrica, houve uma redução considerável para 1.675,55 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no efluente tratado. No entanto, o valor final ainda representa uma alta concentração de sais, o que pode ser um impeditivo para o reuso direto do efluente sem tratamento complementar.

A concentração de sólidos totais apresentou média de 2.270,37 mg/L, esse valor representa uma redução significativa em relação à concentração inicial de sólidos totais no efluente bruto (19.822,22 mg/L), alcançando uma eficiência de remoção de aproximadamente 88,5%. Essa medida inclui tanto os sólidos em suspensão quanto os dissolvidos, sendo um parâmetro fundamental para avaliar a qualidade do efluente final.

Por fim, a Demanda Química de Oxigênio (DQO) no ponto P6 registrou média de 6.481,77 mg/L, o que representa uma eficiência de remoção de 83,4% em relação ao valor inicial, embora expressiva, essa remoção ainda não atende à exigência mínima de 90% estabelecida pelo CONAMA nº 430/2011 para efluentes com carga orgânica inicial elevada.

De forma geral, os dados obtidos no ponto de saída do sistema (P6) mostram que o efluente tratado ainda apresenta características típicas de um lixiviado com alta

complexidade, mas com sinais de atenuação de seus parâmetros físico-químicos. A análise detalhada do desempenho do sistema será discutida no próximo tópico (BRASIL, 2011).

5.3 Avaliação do Desempenho do Sistema de Tratamento

Nesta seção, apresenta-se a avaliação da eficiência do sistema de filtro biológico do CEASA-PE na remoção de poluentes do lixiviado, com base na análise dos parâmetros físico-químicos nos pontos de entrada (P1 – efluente bruto), após a decantação (P2 – equalização) e de saída (P6 – efluente tratado). A Tabela 5 traz o resultado das análises físico-químicas para tal comparação.

Tabela 4: Resultados médios das análises do monitoramento da ETE.

Parâmetro	P1	P2	P6
pH	4,21	4,68	6,02
Turbidez (NUT)	2307,20	2141,67	326,50
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	7389,28	7665,03	1675,55
Sólidos Totais (mg/l)	19822,22	15976,29	2270,37
DQO (mgO_2/L)	39193,41	33050,23	6481,77

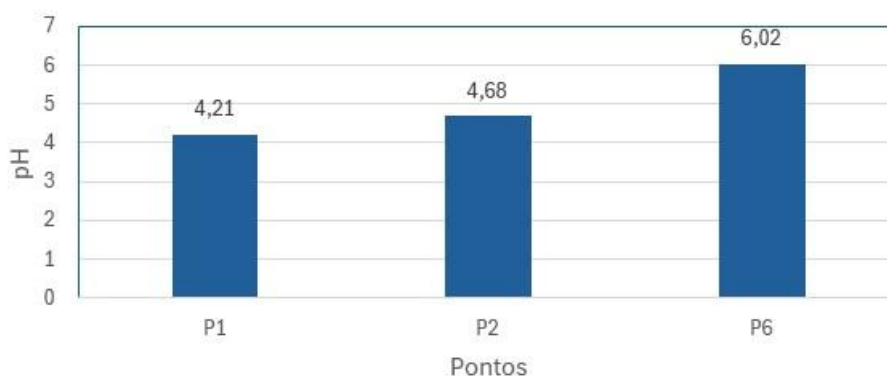
Fonte: Os Autores (2025)

5.3.1 pH

A concentração de íons de hidrogênio (pH) é um parâmetro essencial para caracterizar a acidez ou basicidade de um efluente. No presente estudo, observou-se que o lixiviado bruto (P1) apresentou um pH médio de 4,21, caracterizando um meio ácido, típico de resíduos orgânicos em decomposição. Observou-se uma ligeira atenuação da acidez do lixiviado após o processo de decantação, com aumento do pH médio de 4,21 para 4,68. Após o tratamento no sistema de filtro biológico, o valor médio no ponto de saída (P6) foi elevado para 6,02, situando-se dentro da faixa estabelecida pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que exige pH entre 5 e 9 para lançamento de efluentes (BRASIL, 2011).

A Figura 4 representa um gráfico de colunas onde é possível observar uma tendência de neutralização do efluente nos pontos P1, P2 e P6.

Figura 4: Valores médios de pH ao longo do tratamento.



Fonte: Os Autores (2025)

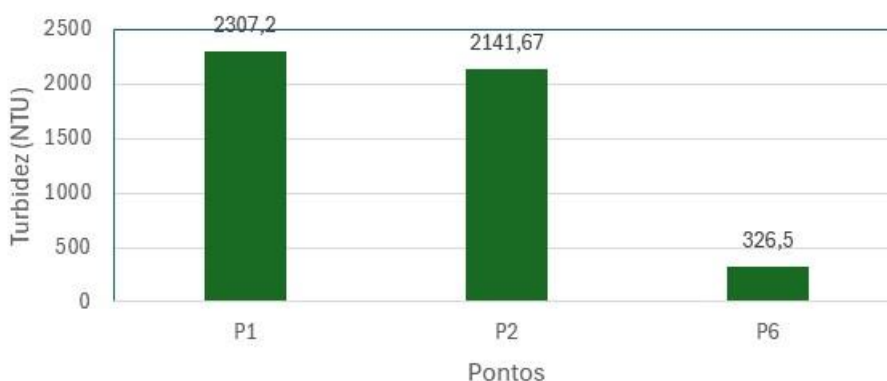
Esse aumento no pH evidencia a capacidade do sistema em neutralizar a acidez, favorecendo os processos biológicos de degradação da matéria orgânica e possibilitando a viabilidade de etapas subsequentes de tratamento, se necessárias.

5.3.2 Turbidez

A turbidez é um indicador da presença de partículas em suspensão na água, que afetam diretamente sua transparência e qualidade.

Os resultados revelaram uma média de 2.307,2 NTU no ponto de entrada (P1), 2141,67 NTU no tanque de equalização (P2) e 326,50 NTU no ponto de saída (P6), como mostra o gráfico representado na Figura 5, representando uma redução de aproximadamente 85,8% na turbidez do lixiviado.

Figura 5: Valores médios de Turbidez ao longo do tratamento.



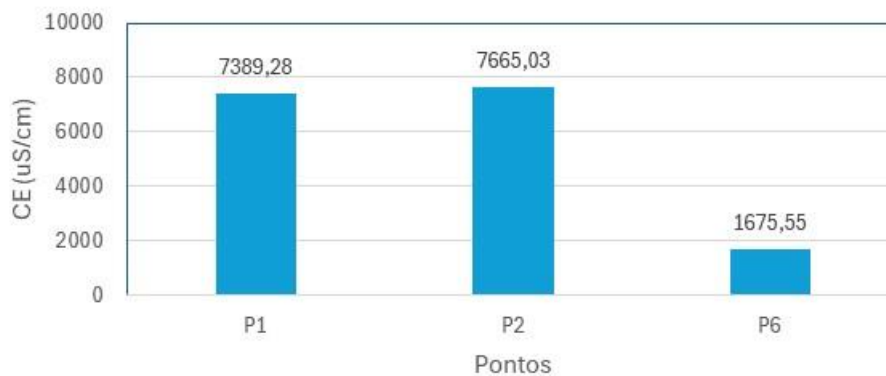
Fonte: Os Autores (2025)

Apesar dessa melhoria, o valor final ainda se encontra muito acima do limite de 40 NTU, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para corpos hídricos de classe 2. Essa limitação indica que o filtro biológico, embora eficiente na remoção de sólidos em suspensão, não é suficiente isoladamente para atender à norma ambiental neste parâmetro (BRASIL, 2005).

5.3.3 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é um parâmetro que reflete a quantidade de íons dissolvidos no efluente, sendo diretamente associada à carga salina e à presença de compostos minerais. A média registrada no ponto P1 foi de 7.389,28 $\mu\text{S}/\text{cm}$, já no ponto P2 foi de 7665,03 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando um leve aumento, enquanto no ponto P6 foi reduzida para 1.675,55 $\mu\text{S}/\text{cm}$, representando uma eficiência de remoção de 77,3% indicada na Figura 6.

Figura 6: Valores médios da condutividade elétrica ao longo do tratamento.



Fonte: Os Autores (2025)

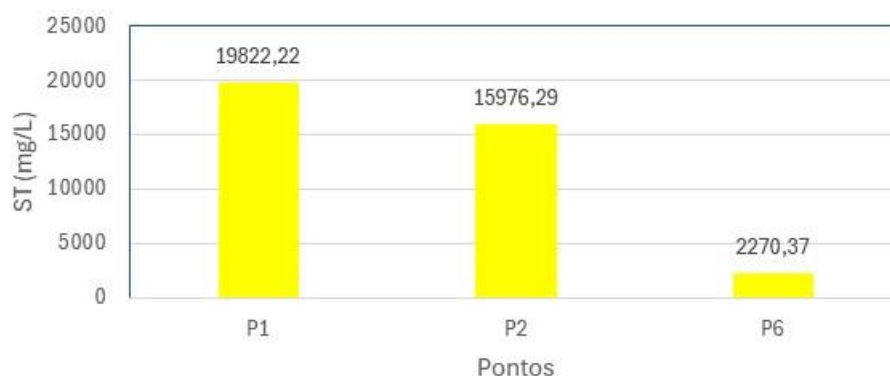
Embora não haja um limite estabelecido por legislações nacionais específicas para condutividade elétrica em efluentes, esse parâmetro é importante para avaliar o potencial de reuso agrícola ou industrial, e os valores ainda relativamente elevados no efluente tratado sugerem que, para tais fins, o sistema pode necessitar de complementações, a depender da exigência do uso final.

5.3.4 Sólidos Totais

A concentração de sólidos totais engloba tanto os sólidos dissolvidos quanto os em suspensão, sendo um importante indicador da carga poluente total do efluente. No ponto de entrada, foi registrada uma média de 19.822,22 mg/L, após a decantação esse valor reduz para 15976,29 mg/L, enquanto no ponto de saída esse valor final foi 2.270,37 mg/L,

evidenciando uma eficiência de remoção de 88,5%. Essa diferença expressiva pode ser visualizada no gráfico da Figura 7.

Figura 7: Valores médios dos sólidos totais ao longo do tratamento.



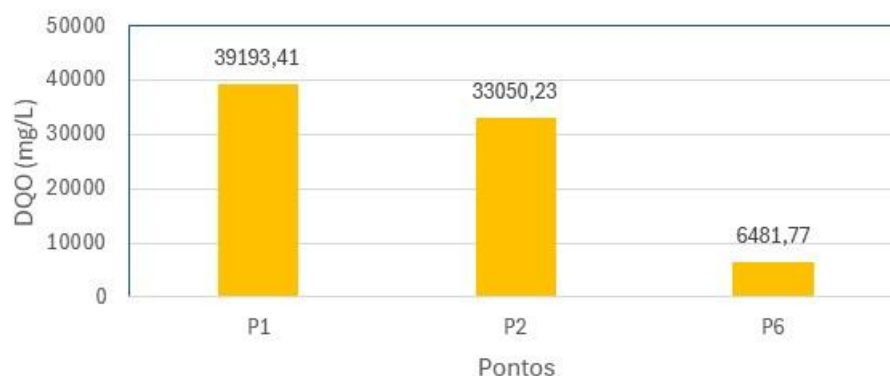
Fonte: Os Autores (2025)

A redução expressiva demonstra a capacidade do sistema de reter partículas por processos físicos (sedimentação e filtração) e biológicos (degradação microbiana), contribuindo diretamente para a melhoria da turbidez e da qualidade geral do lixiviado tratado.

5.3.5 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é uma medida da quantidade de matéria orgânica presente no efluente. Neste estudo, o valor médio de DQO foi de 39.193,41 mg/L no efluente bruto, 33050,23 mg/L no ponto P2 e reduzido para 6.481,77 mg/L no efluente tratado, o que representa uma eficiência de remoção de 83,4%. Conforme representado na Figura 8, essa variação se mostra bastante evidente.

Figura 8: Valores médios da DQO ao longo do tratamento.



Fonte: Os Autores (2025)

Embora expressiva, essa eficiência não atinge o valor mínimo exigido pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que determina 90% de remoção para efluentes com alta carga orgânica (BRASIL, 2011).

5.4 Estudos de custo

O custo dessa operação inclui R\$1.200,00 referente à locação e transporte do caminhão hidrojato, além de um custo adicional de R\$33,34 por metro cúbico de efluente removido, resultando em um valor de R\$90,48 por m³ de efluente. O Sistema de filtro biológico (SFB) suporta uma capacidade de 16m³, porém, quando ocorre o esgotamento sanitário, é retirado uma média de 6m³ para equilibrar o sistema. Por fim, cada esgotamento do sistema tem um custo de R\$542,89.

A frequência da coleta de efluentes (tanques sépticos e filtro biológico) da empresa, no período compreendido entre agosto à novembro de 2023, está apresentada na Tabela 5.

Para analisar o custo do Sistema de filtro biológico, durante o período avaliado, foi calculado o custo total da coleta para o esgotamento do Sistema de Filtro Biológico, considerando que o caminhão tem capacidade de 21 m³, onde é retirado em média 6 m³ por coleta (R\$ 542,89). Os resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 5: Custo de esgotamento do SFB.

DATA	Quantidade de coletas	M³	CUSTO (R\$)
AGOSTO/20203	4	24	2171,52
SETEMBRO/2023	4	24	2171,52
OUTUBRO/2023	2	12	1085,76
NOVEMBRO/2023	3	18	1628,64
SOMATÓRIO	13	78	7057,65
MÉDIA	3,25	19,5	1764,41
PROSPECÇÃO ANUAL	39	234	21.172,92

Fonte: Os Autores (2025).

O custo total com o esgotamento do sistema de filtro biológico, no período avaliado de quatro meses, foi de R\$7.057,65, resultando em uma média mensal de R\$1.764,41 e prospecção anual de R\$21.172,92. Este valor inclui os serviços de transporte, remoção e destinação do efluente por empresa terceirizada. Considerando-se os aspectos operacionais e ambientais, esse custo pode ser considerado viável frente à importância de garantir um tratamento adequado dos efluentes, evitando o descarte irregular e os consequentes impactos negativos ao solo e aos recursos hídricos. No entanto, esta despesa poderia ser reduzida ou até eliminada, caso o efluente tratado atendesse à legislação vigente para descarte em corpos hídricos ou pudesse ser reutilizado internamente pela empresa. Desta forma, a economia poderia ser redirecionada para a manutenção e melhorias do sistema.

6. CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que o sistema apresentou uma redução significativa nos parâmetros analisados, porém com algumas limitações em relação aos critérios estabelecidos pelas normas ambientais.

O sistema de filtro biológico demonstrou eficácia na redução de diversos parâmetros físico-químicos do lixiviado, especialmente na remoção de sólidos totais e na adequação do pH aos padrões ambientais. No entanto, a eficiência de remoção de DQO e a turbidez não atingiram os critérios estabelecidos pela legislação vigente, assim, melhorias adicionais são necessárias para que o sistema atenda plenamente às exigências regulamentares e ambientais.

Em relação ao estudo de custo, foi observado que o gasto médio mensal para o esgotamento do efluente do sistema de tratamento é de R\$1.764,41. Este valor representa uma despesa significativa para a operação do sistema, que poderia ser reduzida ou até eliminada, caso o efluente tratado atendesse aos padrões legais para descarte ou reuso. O que reforça a relevância de investimentos em melhorias tecnológicas e operacionais no sistema, visando maior eficiência e sustentabilidade econômica.

7. RECOMENDAÇÕES

Aperfeiçoamento do Sistema de Filtro Biológico: Recomenda-se a realização de melhorias contínuas no sistema de tratamento de efluentes do CEASA-PE. Isso pode incluir a otimização de processos existentes, a introdução de novas tecnologias e a implementação de medidas adicionais para garantir a conformidade com os padrões ambientais como, implementação de uma ETE compacta ou reator UASB, adição de substância química alcalinizante na etapa de equalização para neutralização de pH e cobertura do pátio de recepção com lona.

Implementação de Procedimentos Operacionais Padrão (POP): É fundamental estabelecer e implementar Procedimentos Operacionais Padrão (POP) para monitoramento e operação, incluindo monitoramento dos parâmetros físico-químicos e medição da vazão. Isso garantirá a consistência nos procedimentos operacionais.

- Verificação das condições do sistema de filtro biológico;
- Medição da altura dos tanques;
- Acompanhamento do extravasamento do líquido pelo caminhão;
- Acompanhamento do esgotamento pelo caminhão hidrojato;
- Limpeza do pátio;
- Utilização de Equipamento de Proteção Individual (EPI).

Estudo da influência do Lençol Freático: Recomenda-se a realização de um estudo detalhado para avaliar a contribuição do lençol freático, verificando a influência dos processos naturais e possíveis vazamentos no sistema;

Estudo para a Viabilidade da Aplicação do Efluente como Biofertilizante: Sugere-se a execução de um estudo para avaliar a viabilidade da aplicação do efluente tratado como biofertilizante, com foco na fertirrigação das áreas verdes do CEASA-PE. Este estudo pode contribuir para a redução do uso de água potável e para a redução de resíduos e custos para a empresa com o reuso deste efluente tratado.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS CENTRAIS DE ABASTECIMENTO (ABRACEN). **Sobre a ABRACEN**. Brasília, DF: ABRACEN, 2022. Disponível em: <https://abracen.org.br>. Acesso em: 10 nov. 2022.

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.

ARMELIN, A. P. *Estudo do desempenho de filtro biológico percolador para o tratamento de efluente orgânico*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

AZIZ, H. A. *et al.* Characterization and treatment of leachate from citrus fruit waste under tropical climate conditions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 8, p. 1653, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15081653>.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 maio 2011.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 3 ago. 2010.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B. de *et al.* **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES/RiMA, 2003.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B. de. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Brasília: MMA, 2006.

CENTRAIS DE ABASTECIMENTO DE PERNAMBUCO (CEASA-PE). **Página Inicial**. Recife: CEASA-PE, 2022. Disponível em: <http://www.ceasape.org.br>.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. Portaria nº 004, de 04 de março de 2010. Estabelece padrões e critérios para o lançamento de efluentes líquidos no Estado de Pernambuco. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**, Recife, PE, 06 mar. 2010.

FELICI, E. M. *Coagulação-floculação-sedimentação como pós-tratamento de efluente de sistema biológico em batelada aplicado a lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos*. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2024.

FERREIRA, D. S. *Estudo comparativo da coagulação/floculação e eletrocoagulação no tratamento de lixiviado de aterro*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

FLECK, R. *Nitrificação e desnitrificação no tratamento de lixiviados*. 2003. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

KALOGIANNIS, A. *et al.* Long-Term Anaerobic Digestion of Seasonal Fruit and Vegetable Waste Using a Leach-Bed Reactor Coupled to an Upflow Anaerobic Sludge Bed Reactor. *Sustainability*, v. 16, n. 1, p. 50, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16010050>. Acesso em: [inserir data de acesso].

KNAPIK, H. G. *et al.* Dinâmica da matéria orgânica em águas naturais: estudo de caso do Rio Iguaçu. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais** [...]. Campo Grande: ABRH, 2009.

MACHADO, Andressa Paiva. *Tratamento dos efluentes líquidos gerados pelas indústrias de sucos no Brasil*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Ciências Integradas do Pontal, Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2019.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

MONTEIRO, J. H. P. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

PACHECO, E. B. A. V.; PERALTA-ZAMORA, P. Tecnologias de tratamento de efluentes líquidos. **Química Nova**, v. 27, n. 6, p. 1004-1011, 2004.

PERNAMBUCO. Lei nº 14.236, de 13 de dezembro de 2010. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos. Recife, PE: Assembleia Legislativa de Pernambuco, 2010. Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=7020&tipo=>.

RECIFE. Lei Ordinária nº 14.903, de 3 de outubro de 1986. Dispõe sobre sanções para infrações relacionadas à limpeza urbana no Município do Recife e dá outras providências. Recife, PE, 1986.

RECIFE. Lei nº 18.208, de 23 de junho de 2015. Dispõe sobre a Política Municipal de Saneamento Básico, cria o Sistema Municipal de Saneamento Básico e institui os elementos para elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico do Recife. **Diário Oficial do Recife**, Recife, PE, 24 jun. 2015. Disponível em: <https://leis.recife.pe.gov.br>.

SANTOS, A. F. M. S.; KATO, M. T. *Tratamento anaeróbio de chorume em conjunto com esgoto sanitário*. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

ANEXO I

Tabela I: Valores obtidos no Monitoramento do pH na ETE.

DATA	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Unidade	pH					
08/08	3,78	3,82	-	-	-	6,85
14/08	5,20	4,65	-	-	-	6,59
22/08	4,88	5,18	-	-	-	6,35
29/08	3,63	7,89	-	-	-	6,77
11/09	3,58	4,23	7,79	7,84	7,11	6,90
19/09	3,67	3,62	-	-	-	4,08
27/09	3,91	3,87	-	-	-	4,59
03/10	4,41	4,23	4,50	4,49	4,81	4,62
07/11	4,85	4,67	7,53	7,72	7,62	7,46
MÉDIA	4,21	4,68	6,61	6,68	6,51	6,02

Fonte: Os Autores (2023).

Tabela II: Valores obtidos no Monitoramento do Turbidez na ETE.

Data	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Unidade	Turbidez (NTU)					
08/08	1893,33	1673,33	-	-	-	15,83
14/08	694,00	2570,00	-	-	-	28,20
22/08	2926,67	2375,00	-	-	-	22,53
29/08	2257,13	382,00	-	-	-	22,23
11/09	1210,00	1210,00	275,60	149,00	21,40	20,50
19/09	2696,67	2956,67	-	-	-	397,33
27/09	3075,00	2460,00	-	-	-	1350,83
03/10	3393,00	3948,00	1779,00	1123,70	998,00	986,00
07/11	2619,00	1700,00	240,00	198,00	123,00	95,00
MÉDIA	2307,20	2141,67	764,87	490,23	380,80	326,50

Fonte: Os Autores (2023).

Tabela III: Valores obtidos no Monitoramento da Condutividade Elétrica na ETE.

Data	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Unidade	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)					
08/08	8161,00	7929,33	-	-	-	323,57
14/08	4271,67	7832,67	-	-	-	270,80
22/08	6500,67	7359,00	-	-	-	270,20
29/08	7198,33	6947,00	-	-	-	358,73
11/09	7599,00	7519,30	5130,00	2715,00	481,90	270,20
19/09	7198,33	7528,00	-	-	-	1973,67
27/09	8479,33	7409,00	-	-	-	4786,67
03/10	7376,60	7669,00	7968,30	7732,30	6940,00	4903,00
07/11	9718,60	8792,00	8361,00	7387,60	3657,60	1923,10
MÉDIA	7389,28	7665,03	7153,10	5944,97	3693,17	1675,55

Fonte: Os Autores (2023).

Tabela IV: Valores obtidos no Monitoramento da Sólidos Totais na ETE.

Data	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Unidade	Sólidos Totais (mg/L)					
08/08	20560,00	19066,67	-	-	-	126,67
14/08	4886,67	13693,33	-	-	-	166,67
22/08	9800,00	9720,00	-	-	-	246,67
29/08	23826,67	4946,67	-	-	-	246,67
11/09	42140,00	23093,30	2786,60	1673,30	386,60	320,00
19/09	27260,00	26226,67	-	-	-	3740,00
27/09	18813,33	18293,33	-	-	-	7446,67
03/10	15860,00	16273,33	13566,67	12933,33	10286,67	6800,00
07/11	15253,33	12473,33	6826,67	4853,33	2320,00	1340,00
MÉDIA	19822,22	15976,29	7726,64	6486,66	4331,09	2270,37

Fonte: Os Autores (2023).

Tabela V: Valores obtidos no Monitoramento da Sólidos Totais na ETE.

Data	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Unidade	DQO (mg/L)					
08/08	23339,07	30852,08	-	-	-	50,84
14/08	19935,37	27540,93	-	-	-	142,05
22/08	18077,47	20765,74	-	-	-	161,49
29/08	37966,36	2870,46	-	-	-	2311,69
11/09	72100,00	45390,48	3386,67	2623,33	1325,05	200,76
19/09	58223,81	60480,95	-	-	-	10351,43
27/09	42346,19	38023,81	-	-	-	23121,90
03/10	45885,71	45533,33	38283,33	36959,52	25857,14	21273,81
07/11	34866,67	25994,29	6929,52	2578,73	1252,67	722,00
MÉDIA	39193,41	33050,23	16199,84	14053,86	9478,29	6481,77

Fonte: Os Autores (2023).