

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**DESEMPENHO COMPARATIVO DE SISTEMAS
DE TRATAMENTO DE ESGOTO: FLUXO
CONTÍNUO VERSUS LODOS ATIVADOS POR
BATELADA.**

Gabrielle Claudia de Moraes
Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia

Rio Claro (SP)

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

GABRIELLE CLAUDIA DE MORAES

DESEMPENHO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE
ESGOTO: FLUXO CONTÍNUO VERSUS LODOS ATIVADOS POR
BATELADA.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Geociências e
Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Rio Claro (SP)

2023

M827d Moraes, Gabrielle Claudia

Desempenho comparativo de sistemas de tratamento de esgoto: fluxo contínuo versus lodos ativados por batelada / Gabrielle Claudia Moraes. -- Rio Claro, 2023

56 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Marcelo Loureiro Garcia

1. Esgoto. 2. Sistemas de tratamento de esgoto. 3. Filtro aerado submerso. 4. Lodos ativados por batelada. 5. Análise comparativa. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

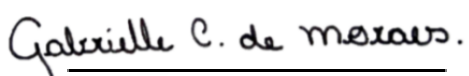
GABRIELLE CLAUDIA DE MORAES

DESEMPENHO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE
TRATAMENTO DE ESGOTO: FLUXO CONTÍNUO
VERSUS LODOS ATIVADOS POR BATELADA.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Geociências e
Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Comissão Examinadora
Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia
Perito André Corrêa de Toledo
Me. Luiza Goehler

Rio Claro, 08 de dezembro de 2023.


Assinatura da aluna


Assinatura do orientador

AGRADECIMENTOS

Quando embarquei nesta jornada acadêmica, mal poderia imaginar a vastidão de experiências, desafios e aprendizados que estavam por vir. Ao expressar minha gratidão, quero dedicar este momento a quatro pilares essenciais que moldaram minha jornada: a Universidade, minha Família, a empresa onde trabalho e o meu inseparável companheiro de quatro patas, meu gato de estimação.

Primeiramente, gostaria de expressar minha sincera gratidão à Unesp de Rio Claro. Foi nesta instituição de ensino que encontrei um ambiente de aprendizado estimulante, desafiador e enriquecedor. Cada aula, cada professor, e cada colega de classe contribuíram para minha formação e crescimento acadêmico. Os recursos disponíveis e a atmosfera intelectual da universidade me inspiraram a alcançar meu potencial máximo.

Agradeço à minha família, que é a base sólida sobre a qual construí minha vida. Sem o amor, apoio e compreensão dos meus pais e irmã, eu não teria conseguido chegar aonde estou hoje. Seus encorajamentos constantes, sacrifício e crença em mim foram o farol que me guiou durante as noites escuras de estudo e desafios acadêmicos. Este sucesso é, em grande parte, um reflexo da educação e dos valores que eles me transmitiram.

Não posso deixar de expressar minha profunda gratidão à EEA (Empresa de Engenharia Ambiental). Sua generosidade ao autorizar o acesso a dados e informações valiosas foi inestimável para o sucesso da minha pesquisa. Essa parceria demonstra o comprometimento da empresa com o desenvolvimento de seus funcionários. Estou verdadeiramente agradecida pela confiança que a EEA depositou em mim, permitindo que eu utilizasse os recursos e conhecimentos da organização em prol da minha formação acadêmica. Isso exemplifica o espírito de colaboração e apoio que permeia a cultura da empresa.

Por último, mas não menos importante, quero expressar minha gratidão à existência do meu gato de estimação. Embora ele não entenda a complexidade da minha jornada acadêmica, sua presença serena e afetuosa trouxe conforto inestimável durante momentos de estresse e exaustão.

O tratamento adequado do esgoto sanitário é essencial para preservar a saúde pública e proteger o meio ambiente. Como afirmou Rachel Carson, renomada bióloga e autora de 'Primavera Silenciosa':

“Na longa história da humanidade (e da animalidade também), aqueles que aprenderam a colaborar e improvisar foram os que prevaleceram.” No contexto do saneamento ambiental, a colaboração e a improvisação são fundamentais para encontrar soluções sustentáveis e eficazes para o tratamento de esgoto sanitário.

RESUMO

O tratamento de esgoto é um desafio cada vez mais relevante para as cidades em todo o mundo. Dentre os diversos sistemas de tratamento de esgoto, o sistema de fluxo contínuo e o sistema de lodos ativados por batelada (LAB) são amplamente utilizados. O sistema de Fluxo Contínuo é conhecido por sua operação ininterrupta, enquanto o sistema de LAB envolve processos intermitentes de aeração e sedimentação. Este trabalho tem como objetivo comparar esses dois sistemas de tratamento de esgoto, avaliando sua eficiência de remoção de poluentes, área demandada para implantação, preço para aquisição e custos operacionais. A análise comparativa permitirá, assim, a escolha do sistema mais adequado para as necessidades locais e proporcionará subsídios para a tomada de decisão em relação aos investimentos em infraestrutura de tratamento de esgoto.

Palavras-chave: sistema de tratamento de esgoto; fluxo contínuo; lodos ativados por batelada; eficiência; custos de implantação e operação; vantagens e limitações.

ABSTRACT

Sewage treatment is an increasingly relevant challenge for cities around the world. Among the various sewage treatment systems, the continuous flow system and the batch-driven sludge system (LAB) are widely used. The Continuous Flow system is known for its uninterrupted operation, while the LAB system involves intermittent aeration and sedimentation processes. This work aims to compare these two sewage treatment systems, evaluating their pollutant removal efficiency, area required for implementation and acquisition price and operating costs. A comparative analysis will therefore allow the choice of the system most appropriate to local needs and will provide support for decision-making in relation to investments in sewage treatment infrastructure.

Keywords: sewage treatment system; continuous flow; batch activated sludge; efficiency; implementation and operation costs; advantages and limitations.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Reator Horizontal: Esquema Filtro Aerado Submerso.....	29
Figura 2 - Reator LAB: Esquema etapas de tratamento.....	31
Figuras 3 e 4 - ETE Horizontal sobre a base instalada na COMPANHIA ULTRAGAZ SA em Mauá/SP.....	36
Figura 5 - ETE LAB instalada na CONDUMAX ELETRO METALURGICA CIAFUNDI LTDA em Olímpia/SP.....	39
Figura 6 - Resultado da Eficiência sistema FAS - ETE Horizontal.....	41
Figura 7 - Resultado da Eficiência sistema FAS LAB.....	43
Figura 8 - Layout padrão sistema FAS “ETE Horizontal 50m³/dia”.....	43
Figura 9 - Planta geral do sistema FAS “ETE Horizontal”.....	44
Figura 10 - Layout padrão ETE LAB 50m³/dia.....	44
Figura 11 - Planta geral do sistema LAB.....	45
Figura 12 - Custo operacionais de uma ETE.....	46
Figura 13 - Comparação da Eficiência de Remoção de DBO.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Contribuição diária de despejos e de carga orgânica por tipo de prédio e de ocupantes.....	21
Tabela 2 - Faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme o tipo de tratamento (em %).....	25
Tabela 3 - Algumas características dos processos de tratamento FAS e LAB.....	34
Tabela 4 - Parâmetros adotados para o sistema FAS - ETE Horizontal.....	36
Tabela 5 - Dimensionamento do sistema FAS - ETE Horizontal.....	37
Tabela 6 - Parâmetros adotados para o sistema LAB.....	39
Tabela 7 - Dimensionamento do sistema LAB.....	39
Tabela 8 - Desempenho do sistema FAS - ETE Horizontal.....	40
Tabela 9 - Resultados analíticos sistema FAS - ETE Horizontal.....	40
Tabela 10 - Desempenho do sistema LAB.....	42
Tabela 11 - Resultados analíticos sistema LAB.....	42
Tabela 12 - Custo operacionais ETE Horizontal.....	47
Tabela 13 - Custo operacionais ETE LAB.....	47
Tabela 14 - Comparação entre os Parâmetros de Projeto das Estações.....	48
Tabela 15 - Comparação da Área.....	50
Tabela 16 - Comparação do Preço de Venda.....	50
Tabela 17 - Comparação do Custo Operacional.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ETEs	Estações de Tratamento de Esgoto
EEA	Empresa de Engenharia Ambiental
LAB	Lodos Ativados por Batelada
FAS	Filtro Aerado Submerso
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras
ANA	Agência Nacional de Água
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
AIA	Avaliação de Impactos Ambientais
SNF	Sólidos não filtráveis

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. FUNDAMENTOS DO TRATAMENTO DE ESGOTO.....	13
2.1. Legislação e as esferas regulamentadores do saneamento.....	14
2.2. Diretriz e aprovação do projeto da ETE.....	16
2.3. Diferença entre esgoto doméstico e efluente industrial.....	18
2.4. Parâmetros essenciais para dimensionamento e definição do sistema de tratamento de esgoto doméstico: Vazão, DBO e local de despejo/reuso do efluente tratado.....	19
2.5. Eficiência de remoção da carga poluidora das estações de tratamento de esgoto.....	24
3. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	26
3.1. Fluxo contínuo.....	27
3.1.0. Etapas de tratamento FAS.....	28
3.2. Lodos ativados por batelada.....	29
3.2.0. Etapas de tratamento LAB.....	30
4. NECESSIDADE DE ANÁLISE COMPARATIVA.....	32
5. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	33
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
6.1. Dados de projeto.....	35
6.1.0. Fluxo Contínuo - FAS.....	35
6.1.1. Lodos Ativados por batelada.....	37
6.2. Eficiência de remoção de DBO dos processos de tratamento.....	40
6.2.0. Fluxo Contínuo - FAS.....	40
6.2.1. Lodos Ativados por batelada.....	41
6.3. Área necessária para implantação das Estações.....	43
6.3.0. Fluxo Contínuo - FAS.....	43
6.3.1. Lodos Ativados por batelada.....	44
6.4. Preço médio de venda e Custo Operacional.....	45
6.4.0. Fluxo Contínuo - FAS.....	46
6.4.1. Lodos Ativados por batelada.....	47
7. ANÁLISE COMPARATIVA.....	48
8. CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS.....	53

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por água potável e a preocupação com a preservação do meio ambiente tem levado a uma busca constante por soluções eficientes e sustentáveis para o tratamento de esgoto. Além disso, a falta de saneamento básico é um problema grave que afeta a saúde pública e o meio ambiente em todo o mundo. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que cerca de 2,3 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso a serviços de saneamento básico adequados, o que contribui para a propagação de doenças e para a poluição dos recursos hídricos. Isso infere que a gestão adequada do esgoto desempenha um papel fundamental na preservação da saúde pública, na proteção do meio ambiente e na promoção do desenvolvimento sustentável.

Conforme a população urbana continua a crescer, a demanda por sistemas de tratamento de esgoto eficientes se torna cada vez mais premente (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2002). As águas residuais não tratadas ou inadequadamente tratadas representam uma ameaça direta à qualidade da água, à vida aquática e à saúde humana, devido à presença de poluentes como matéria orgânica, nutrientes, patógenos e substâncias químicas (Metcalf & Eddy, 2003).

Neste contexto, a escolha do sistema de tratamento de esgoto mais apropriado é uma decisão crítica e desempenha um papel crucial na eficácia e eficiência do processo. Uma vez que afeta não apenas a qualidade da água tratada, mas também os custos operacionais e os impactos ambientais (Mara & Pearson, 1998).

Os sistemas de tratamento de esgoto variam amplamente em termos de tecnologia, custo e desempenho. Entre as várias alternativas disponíveis, dois métodos têm se destacado como opções amplamente empregadas: o tratamento por fluxo contínuo e o tratamento por lodos ativados por batelada (LAB).

O sistema de tratamento por fluxo contínuo, representado nesta pesquisa com a tecnologia de Filtro Aerado Submerso, envolve o tratamento contínuo e estável das águas residuais, permitindo uma remoção gradual de poluentes ao longo do tempo. Por outro lado, o sistema de LAB opera em ciclos alternados de enchimento e esvaziamento do reator, o que permite uma maior concentração de biomassa e, conseqüentemente, uma maior atividade biológica durante a fase de

aeração (Eckenfelder, 2000).

Cada um desses sistemas apresenta vantagens e desvantagens em termos de eficiência de remoção de poluentes, custos, facilidade de operação e manutenção, entre outros aspectos e a escolha entre eles depende de uma série de fatores, incluindo a qualidade do efluente de entrada, a capacidade de investimento, os recursos disponíveis e as regulamentações locais.

Isso sugere que a escolha de um sistema de tratamento sem uma avaliação cuidadosa das condições específicas de cada caso pode levar a resultados subótimos em termos de qualidade da água tratada, custos de operação e sustentabilidade ambiental.

No entanto, apesar da importância dessa escolha, ainda existe uma lacuna na compreensão abrangente do desempenho relativo desses sistemas e considerando essas variações, a análise comparativa do desempenho de sistemas de tratamento de esgoto torna-se fundamental para orientar a seleção da tecnologia mais adequada em cada situação específica. Ao avaliar parâmetros como a remoção de carga orgânica, a eficiência energética e os custos de implantação e operação, é possível obter informações valiosas para a tomada de decisões (Kalyuzhnyi et al., 2006).

A metodologia adotada para abordar o problema de pesquisa envolve um processo abrangente de coleta de dados, análise comparativa e avaliação dos sistemas. Para realizar uma análise comparativa sólida, foram selecionados dois casos de estudo representativos, um de cada sistema de tratamento de esgoto.

A análise comparativa será realizada com base em indicadores de desempenho específicos, incluindo a eficiência de remoção de carga orgânica, área para implantação, preço de aquisição e os custos de operação. Isso permitirá uma avaliação crítica das vantagens e limitações de cada sistema. Com base nos resultados da análise, serão formuladas conclusões gerais sobre o desempenho entre o sistema de fluxo contínuo e o LAB, contribuindo para a escolha da melhor opção em situações específicas, em termos de eficiência e viabilidade econômica.

2. FUNDAMENTOS DO TRATAMENTO DE ESGOTO

O esgoto é uma mistura complexa de água, resíduos orgânicos, produtos químicos e microorganismos que resulta das atividades humanas, industriais e comerciais. A presença de poluentes como matéria orgânica, nutrientes, patógenos e substâncias químicas torna o esgoto uma fonte significativa de contaminação se não for tratado adequadamente (Metcalf & Eddy, 2003). É fundamental ressaltar que a falta de tratamento de esgoto pode resultar em sérios riscos à saúde pública, incluindo a disseminação de doenças infecciosas transmitidas pela água (Ashbolt et al., 2015).

O processo de tratamento de esgoto é projetado para remover ou reduzir eficazmente esses poluentes, tornando a água tratada segura para descarga no meio ambiente ou para reutilização em usos específicos, como irrigação. O tratamento de esgoto é tipicamente dividido em várias etapas, cada uma com a finalidade de remover tipos específicos de poluentes. Isso pode incluir a remoção de sólidos suspensos, a degradação de matéria orgânica, a eliminação de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e a inativação de patógenos (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2002).

No entanto, a complexidade do tratamento de esgoto não se limita apenas à purificação da água. Envolve também considerações relacionadas à gestão de resíduos sólidos, tratamento de lodo gerado no processo e uso eficiente de recursos, como energia e produtos químicos (Mara & Pearson, 1998). A gestão adequada desses aspectos é essencial para otimizar a eficiência e a sustentabilidade do tratamento de esgoto.

Portanto, para o pleno entendimento do que está por vir ao longo desta pesquisa, torna-se necessário possuir o pleno conhecimento de quais são as bases legislativas do saneamento e os órgãos responsáveis por gerir, exigir e aprovar as estações de tratamento de esgoto. É necessário também compreender o que é esgoto doméstico e o que o difere do efluente industrial. Além disso, é importante entender quais os principais parâmetros a serem analisados para a definição do melhor sistema de tratamento para cada caso.

2.1. Legislação e as esferas regulamentadores do saneamento

A legislação e os órgãos regulamentadores desempenham um papel fundamental na garantia da qualidade da água tratada e na proteção do meio ambiente. Eles estabelecem diretrizes, normas e regulamentos que governam o tratamento de esgoto, a descarga de efluentes e a gestão dos recursos hídricos. Abordar esses aspectos é crucial para entender como o tratamento de esgoto é regulamentado e supervisionado.

A legislação ambiental varia de país para país e, em alguns casos, de região para região. Portanto, é importante considerar a legislação específica do local em que o tratamento de esgoto está ocorrendo. No entanto, é possível identificar princípios gerais comuns em muitas jurisdições.

Em princípio, a legislação ambiental define padrões de qualidade da água que devem ser atendidos pelo efluente tratado antes de sua descarga no meio ambiente. Esses padrões podem abranger uma variedade de parâmetros, como concentrações máximas de poluentes específicos e limites de emissão de substâncias químicas perigosas.

Órgãos regulamentadores, como agências ambientais ou órgãos de recursos hídricos, são responsáveis pela fiscalização e aplicação da legislação. Por exemplo, nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) é a entidade federal que regula a qualidade da água e a descarga de efluentes, mas nos níveis estaduais e locais, há agências ambientais que também têm um papel importante.

No contexto brasileiro, a legislação relacionada ao tratamento de esgoto tem passado por uma série de mudanças e atualizações ao longo das décadas, refletindo a crescente compreensão da importância desse tema. A legislação brasileira relativa ao saneamento básico começou a se consolidar no início do século XX. O Código de Águas de 1934 foi o primeiro marco regulatório relacionado à gestão de recursos hídricos no país, abordando questões como a utilização de água e a preservação de mananciais.

No entanto, foi apenas em 2007 que o saneamento básico recebeu atenção mais específica com a Lei 11.445/2007, que estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Antes da promulgação da Lei 11.445, o setor de saneamento

no Brasil era caracterizado pela falta de um marco regulatório nacional unificado. Isso resultava em grande heterogeneidade nos serviços de saneamento prestados por diferentes municípios e estados, com graves deficiências na prestação de serviços básicos à população. A promulgação da lei foi um passo fundamental na busca pela universalização do saneamento básico no país.

A Lei 11.445/2007 definiu o saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Esta definição abrangente reconhece a interligação desses serviços e sua importância para a saúde pública e o meio ambiente.

A lei também definiu as competências e responsabilidades dos entes federativos (União, estados e municípios) e dos prestadores de serviços de saneamento. Ela estabelece as atribuições de regulação, planejamento e prestação de serviços, buscando uma maior clareza nas responsabilidades de cada esfera de governo. E para fiscalizar e regulamentar a gestão dos recursos hídricos criou-se a Agência Nacional de Águas (ANA). Ela supervisiona a gestão de bacias hidrográficas e promove a eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto.

Ainda, os Comitês de Bacias Hidrográficas, criados pela Lei das Águas, desempenham um papel central na gestão e regulamentação do tratamento de esgoto em suas respectivas bacias. Eles estabelecem diretrizes específicas para o tratamento de esgoto, bem como recomendações para a qualidade da água e a preservação dos corpos d'água.

Além da ANA e dos comitês de bacias, vários órgãos regulamentadores desempenham papéis específicos na regulamentação e fiscalização do tratamento de esgoto no Brasil como as Agências Ambientais Estaduais. Cada estado brasileiro possui sua própria agência ambiental, que desempenha um papel importante na aplicação das regulamentações ambientais estaduais e na fiscalização das atividades de tratamento de esgoto em nível regional.

Uma das funções mais importantes das Agências Ambientais Estaduais é o processo de licenciamento ambiental, que envolve a avaliação e concessão de licenças ambientais para atividades que possam impactar o meio ambiente. Além

disso, elas realizam a fiscalização de empreendimentos, propriedades rurais e áreas de conservação para assegurar o cumprimento das leis ambientais, monitorando a qualidade do ar, da água e do solo.

Temos ainda os Departamentos Municipais de Água e Esgoto e as Autarquias. Os departamentos municipais têm um enfoque mais específico, concentrando-se na operação, manutenção e expansão dos sistemas de saneamento em áreas urbanas. Eles são responsáveis por garantir o abastecimento de água potável e o tratamento de esgoto em nível municipal, interagindo diretamente com os cidadãos e prestando serviços essenciais.

Já as Autarquias são entidades com personalidade jurídica própria e autonomia administrativa que podem ser criadas em diferentes níveis de governo. Elas podem abranger uma ampla gama de competências, desde a gestão da água e do esgoto até a administração de resíduos sólidos. Autarquias têm mais flexibilidade financeira em comparação com os Departamentos Municipais, uma vez que podem gerenciar seu próprio orçamento.

Em resumo, as Agências Ambientais Estaduais, os Departamentos Municipais de Água e Esgoto e as Autarquias desempenham papéis distintos na gestão do saneamento. Enquanto as Agências Ambientais Estaduais regulam e fiscalizam, os Departamentos Municipais prestam serviços diretos à comunidade, e as Autarquias podem ter uma estrutura mais flexível, variando de acordo com sua área de atuação e especialização. A cooperação eficiente entre essas entidades é essencial para garantir o fornecimento de serviços de saneamento eficazes e a proteção do meio ambiente em todos os níveis de governo.

2.2. Diretriz e aprovação do projeto da ETE

A construção de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) é uma etapa crítica no gerenciamento eficiente das águas residuais. Para garantir que uma ETE cumpra os requisitos de qualidade de água e ambientais, é essencial seguir diretrizes rigorosas e obter a aprovação dos órgãos regulamentadores. Dessa forma, será abordado mais detalhadamente o processo de diretriz e aprovação de projetos de ETE.

No Brasil, a construção de uma ETE deve seguir as diretrizes estabelecidas pela legislação ambiental e regulamentações específicas para tratamento de esgoto. O cumprimento dessas diretrizes é essencial para proteger os recursos hídricos e garantir que os efluentes tratados atendam aos padrões de qualidade estabelecidos.

O primeiro passo no processo de diretriz e aprovação envolve a preparação de um projeto detalhado da ETE. Esse projeto, composto por informações técnicas, como o tipo de tratamento a ser adotado, capacidade de tratamento, detalhes de engenharia e especificações, é a base para a construção da estação. Deve ser elaborado de acordo com as normas técnicas e regulamentações ambientais.

A ABNT NBR 12209/1992 define as condições exigíveis para a elaboração de projeto hidráulico-sanitário de estações de tratamento de esgoto, observada a regulamentação específica das entidades responsáveis pelo planejamento e desenvolvimento do sistema de esgoto sanitário.

Em casos de ETEs de grande porte ou localizadas em áreas sensíveis, pode ser necessária uma Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). A AIA avalia os possíveis impactos do projeto no meio ambiente e na saúde pública, propondo medidas de mitigação, quando apropriado.

Além disso, o projeto deve incluir um Plano de Monitoramento Ambiental, que detalha como a qualidade da água será monitorada antes e depois da descarga do efluente tratado. Isso é fundamental para garantir que a ETE esteja cumprindo os padrões de qualidade da água e que eventuais impactos no meio ambiente sejam identificados e gerenciados.

Outro aspecto crucial é o Plano de Gestão de Resíduos. O tratamento de esgoto frequentemente gera resíduos sólidos e lodos, que precisam ser tratados e dispostos de maneira adequada. O plano deve abordar o tratamento, disposição e destino final desses resíduos, seguindo as regulamentações ambientais.

A aprovação do projeto de uma ETE é uma etapa rigorosa, na qual as autoridades ambientais analisam minuciosamente todas as informações apresentadas. A aprovação é concedida apenas se o projeto estiver em conformidade com as regulamentações e se todas as medidas necessárias para proteger o meio ambiente e a saúde pública estiverem contempladas.

Para exemplificar, a diretriz geralmente é elaborada pelo órgão ambiental responsável por gerir o esgoto da cidade, como por exemplo o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). A maioria dos empreendimentos (loteamentos, fábricas, etc), antes de sua implantação recebem uma diretriz direcionando o que deve ser feito com o esgoto gerado pelo mesmo. Nessa diretriz, então, direciona se o empreendedor deverá executar uma estação de tratamento de esgoto ou se será liberado para apenas interligar na rede coletora da cidade.

Caso seja requisitada a implantação de uma ETE, a diretriz costuma também definir o local de despejo do efluente tratado, podendo ser em corpos hídricos, rede pública, valas de infiltração, etc. As diretrizes podem ainda exigir um sistema de tratamento específico assim como também exigir um nível de tratamento alto, como um pós-tratamento. Para que haja a aprovação do projeto da ETE e consequentemente a liberação do empreendimento, deve-se seguir com as exigências definidas nas diretrizes.

A diretriz e aprovação de projetos de ETE desempenham um papel crítico na garantia de que o tratamento de esgoto seja conduzido de maneira responsável e eficaz. A colaboração entre órgãos regulamentadores, engenheiros ambientais e a sociedade é fundamental para assegurar que as ETEs cumpram os mais altos padrões de qualidade e sustentabilidade.

2.3. Diferença entre esgoto doméstico e efluente industrial

A distinção entre esgoto doméstico e industrial é fundamental no contexto do tratamento de esgoto, pois esses dois tipos de águas residuais diferem significativamente em termos de composição, origem e desafios de tratamento.

O esgoto doméstico, também conhecido como esgoto sanitário, é gerado principalmente a partir das atividades cotidianas de casas, escritórios, instalações de serviços públicos e outros locais de uso público. Dessa forma, consiste em águas residuais provenientes de banheiros, pias, chuveiros e, ocasionalmente, cozinhas. Geralmente, o esgoto doméstico contém uma quantidade significativa de matéria orgânica, como fezes humanas e restos de alimentos. Também pode conter patógenos, como bactérias e vírus, provenientes de resíduos humanos. Essas

características tornam o esgoto doméstico relativamente previsível em termos de composição, com concentrações relativamente constantes de poluentes.

Por outro lado, o efluente industrial é gerado por processos industriais e comerciais. Sua composição pode variar amplamente dependendo do setor industrial e dos processos específicos envolvidos. Efluentes industriais frequentemente contêm uma variedade de poluentes que podem incluir produtos químicos tóxicos, metais pesados, solventes orgânicos e outros poluentes específicos relacionados à produção industrial. Além disso, a concentração e a composição dos poluentes em efluentes industriais podem flutuar significativamente ao longo do tempo, o que torna o tratamento desafiador.

A importância de distinguir entre esses dois tipos de águas residuais reside na necessidade de projetar sistemas de tratamento adequados para cada caso. O esgoto doméstico é geralmente mais padronizado e contém uma carga orgânica biodegradável mais previsível, o que permite o uso de sistemas de tratamento convencionais, como estações de tratamento de esgoto (ETEs). No entanto, o tratamento de efluentes industriais frequentemente requer abordagens personalizadas, pois a natureza dos poluentes pode variar substancialmente de uma indústria para outra.

A legislação ambiental em muitos países estabelece padrões rigorosos para a descarga de ambos os tipos de efluentes, mas as regulamentações podem ser mais restritas para efluentes industriais devido ao potencial de contaminação mais grave. Portanto, é essencial que empresas industriais cumpram as regulamentações e adotem sistemas de tratamento adequados para garantir a conformidade e evitar impactos adversos no meio ambiente e na saúde pública.

2.4. Parâmetros essenciais para dimensionamento e definição do sistema de tratamento de esgoto doméstico: Vazão, DBO e local de despejo/reuso do efluente tratado

A gestão eficaz do tratamento de esgoto requer uma compreensão aprofundada de parâmetros críticos que influenciam na sua capacidade, nível de tratamento e operação das Estações de Tratamento de Esgoto.

Para o dimensionamento do sistema de tratamento deve-se primeiramente calcular a vazão de entrada do esgoto. A vazão é um dos principais parâmetros que influenciam o projeto de uma ETE. A vazão se refere à quantidade de água residual que entra na estação em um determinado período de tempo. Para dimensionar adequadamente o sistema de tratamento, é crucial levar em consideração as flutuações na vazão ao longo do dia e do ano.

O dimensionamento inadequado da ETE em relação à vazão pode resultar em problemas operacionais, como sobrecarga do sistema em períodos de pico e subutilização em períodos de baixa demanda. A infraestrutura da ETE deve ser capaz de lidar com variações na vazão para garantir que o tratamento seja eficaz em todas as condições.

Existem algumas formas de calcular a vazão, quando se trata de um empreendimento já em operação, muitas vezes esse empreendimento já possui bem definido o consumo de água, medição esta feita por um hidrômetro e partir desse consumo de água é possível calcular o coeficiente de retorno do esgoto.

Afinal, a vazão de esgoto é uma fração do consumo de água, uma vez que nem toda a água consumida é enviada como esgoto. O fator de conversão varia de acordo com o tipo de empreendimento e a região, mas geralmente está na faixa de 70% a 90% do consumo de água. Na literatura é usualmente utilizado um valor médio de 80% e a fórmula básica para calcular a vazão de esgoto a partir do consumo de água é: $\text{Vazão de Esgoto} = \text{Consumo de Água} \times \text{Fator de Conversão}$. Ou seja, o consumo total de água, geralmente medido na unidade de m³/dia (metros cúbicos por dia), é multiplicado pelo coeficiente de retorno do esgoto de 0,8 e desta forma obtém-se a vazão total de esgoto.

Quando se trata de um empreendimento que ainda não existe ou que ainda não está em pleno funcionamento e operação, deve-se dimensionar a vazão de esgoto utilizando a norma. A norma ABNT NBR 13969 (1997), no item 4.1.1 Dimensionamento, define a contribuição de despejos por tipo de prédio e de ocupantes, em litros x habitantes/dia, conforme Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Contribuição diária de despejos e de carga orgânica por tipo de prédio e de ocupantes

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto L/d	Contribuição de carga orgânica gDBO ₅ ,20/d
1. Ocupantes permanentes			
Residência			
Padrão alto	Pessoa	160	50
Padrão médio	Pessoa	130	45
Padrão baixo	Pessoa	100	40
Hotel (exceto lavanderia e cozinha)	Pessoa	100	30
Alojamento provisório	Pessoa	80	30
2. Ocupantes temporários			
Fábrica em geral	Pessoa	70	25
Escritório	Pessoa	50	25
Edifício público ou comercial	Pessoa	50	25
Escolas (externatos) e locais de longa permanência	Pessoa	50	20
Bares	Pessoa	6	6
Restaurantes e similares	Pessoa	25	25
Cinemas, teatros e locais de curta permanência	Lugar	2	1
Sanitários públicos ¹	Bacia sanitária	480	120
¹ Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio de esportes locais para eventos etc.).			

Fonte: ABNT NBR 13969 (1997) - Tabela 3

Dessa forma, para calcular a vazão deve-se primeiramente saber qual é o tipo de empreendimento (residencial, fábrica, etc) e em seguida ter conhecimento de qual é a categoria de cada ocupante e a quantidade desses contribuintes.

Vale ressaltar que, para o dimensionamento completo da vazão deve-se somar a vazão de esgoto com a vazão de infiltração. Isso ocorre quando se deseja avaliar a quantidade total de água que entra em um sistema de esgoto ou drenagem, considerando tanto a água que infiltra na rede coletora quanto o esgoto gerado. Para fazer essa avaliação, o cálculo da vazão de infiltração deve multiplicar a taxa de infiltração da água da chuva com o comprimento total da rede coletora de esgoto.

Outro parâmetro crucial para o dimensionamento da ETE é a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que indica a quantidade de matéria orgânica biodegradável presente na água residual. A DBO é um indicador valioso da carga orgânica que precisa ser removida durante o tratamento. A DBO_{5,20} é a quantidade de oxigênio consumido para estabilizar bioquimicamente o material orgânico biodegradável contido no esgoto, sob condição aeróbia, no teste de incubação durante cinco dias, a 20°C (ABNT NBR 13969 (1997)).

Sendo assim, as estações de tratamento de esgoto são projetadas para tratar uma certa concentração de DBO, determinando diretamente a sua capacidade de tratamento e influenciando na hora de dimensionar a estação, pois além de dimensionar pela vazão, deve-se também dimensionar por carga, levando em consideração a contribuição de carga orgânica gDBO_{5,20}/d, definida na Tabela 1. Se o efluente a ser tratado exceder o limite de carga orgânica que o sistema suporta, isso prejudicará diretamente a eficiência de tratamento, principalmente em sistemas aeróbios, não sendo capaz de tratar adequadamente e podendo resultar em um efluente tratado fora dos padrões de lançamento em corpo hídrico.

A remoção eficiente da DBO é um objetivo central no tratamento de esgoto, uma vez que a presença de matéria orgânica no efluente pode esgotar o oxigênio dissolvido em corpos d'água receptores, prejudicando a vida aquática. O monitoramento constante da DBO ao longo do processo de tratamento ajuda a ajustar as operações da ETE e garantir que a eficiência na remoção da carga orgânica seja alcançada.

Nesse sentido, a Resolução CONAMA 357/2005, emitida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece normas de qualidade da água e diretrizes para o lançamento de efluentes no Brasil. Ela define condições de lançamento de efluentes nas águas superficiais e estabelece padrões para diversos parâmetros, incluindo a concentração máxima de DBO.

Para finalizar os parâmetros mais importantes para o dimensionamento da estação, deve-se levar em consideração também o local de despejo ou uso pretendido do efluente tratado. O destino do efluente tratado deve ser de acordo com a diretriz/permissão recebida e com as regulamentações ambientais.

Assim, a disposição final depende das opções disponíveis, das regulamentações locais e das características do efluente tratado. Alguns dos locais de despejo mais comuns para efluentes tratados são Corpos d'água (rios, lagos, mares ou oceanos); vala de infiltração; rede pública de esgoto; reuso e fertirrigação.

A exigência do nível de tratamento de esgoto pode variar dependendo do local de despejo ou uso pretendido do esgoto tratado. Os órgãos reguladores estabelecem padrões de qualidade da água e critérios para proteger o meio ambiente e a saúde pública. Dessa forma, o lançamento do esgoto tratado em corpo hídrico, reuso e fertirrigação costuma ser mais exigente quanto ao nível de tratamento, muitas vezes exige um pós-tratamento ou tratamento avançado do esgoto, como sistema de remoção de nutrientes e desinfecção para que o efluente final esteja dentro dos padrões estabelecidos de lançamento ou reuso.

Essa correlação entre o nível de tratamento e o destino final do efluente tratado pode ser exemplificado no item 5.6 Reúso local da ABNT NBR 13969 (1997), onde para cada tipo de reuso pretendido é recomendado um nível de tratamento específico:

“classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L. Nesse nível, são geralmente necessários tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido por filtração convencional (areia e carvão ativado) e, finalmente, cloração. Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante; - classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L. Nesse nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido de filtração de areia e desinfecção. Pode-se também substituir a filtração por membranas filtrantes; - classe 3: reuso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior a 10, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL. Normalmente, as águas de enxágüe das máquinas de lavar roupas satisfazem este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos

gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão; - classe 4: reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5.000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita”.

A legislação ambiental define critérios rígidos para a descarga de efluentes tratados. O despejo inadequado pode resultar em danos ambientais graves e riscos à saúde. Portanto, o dimensionamento correto, a escolha do sistema de tratamento ideal para o tipo de uso pretendido ou local de despejo deve ser baseada em uma avaliação completa do efluente bruto e dos fatores ambientais, garantindo que a água tratada atenda aos padrões de qualidade e não cause impactos negativos.

2.5. Eficiência de remoção da carga poluidora das estações de tratamento de esgoto

A eficiência de remoção da carga poluidora em Estações de Tratamento de Esgoto é um aspecto crítico para a garantia da qualidade da água tratada e a minimização do impacto ambiental. Por isso é importante explorar em detalhes a importância dessa eficiência, os principais processos envolvidos e a relevância de parâmetros essenciais, como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

A carga poluidora presente nas águas residuais é composta por uma variedade de poluentes, incluindo matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes, metais pesados, compostos tóxicos e patógenos. A eficiência na remoção desses poluentes é fundamental para evitar a contaminação de corpos d'água receptores e garantir que a água tratada esteja em conformidade com os padrões de qualidade estabelecidos pelas regulamentações ambientais.

Os processos de tratamento nas ETEs visam à redução da carga poluidora, o que envolve a remoção de sólidos em suspensão, a degradação da matéria orgânica biodegradável, a eliminação de patógenos e a redução de nutrientes, como nitrogênio e fósforo. A eficiência desses processos varia de acordo com o sistema de tratamento e a tecnologia empregada, como pode ser observado na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 - Faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme o tipo de tratamento (em %)

Processo - Parâmetro	Filtro anaeróbio submerso	Filtro aeróbio	Filtro de areia	Vala de filtração	LAB	Lagoa com plantas
DBO 5,20	40 a 75	60 a 95	50 a 85	50 a 80	70 a 95	70 a 90
DQO	40 a 70	50 a 80	40 a 75	40 a 75	60 a 90	70 a 85
SNF	60 a 90	80 a 95	70 a 95	70 a 95	80 a 95	70 a 95
Sólidos sedimentáveis	70 ou mais	90 ou mais	100	100	90 a 100	100
Nitrogênio amoniaco	-	30 a 80	50 a 80	50 a 80	60 a 90	70 a 90
Nitrato	-	30 a 70	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 80
Fosfato	20 a 50	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 90	70 a 90
Coliformes Fecais	-	-	99 ou mais	99,5 ou mais	-	-

Fonte: ABNT NBR 13969 (1997) - Tabela 1

As ETEs empregam uma variedade de processos de tratamento para alcançar a eficiência na remoção da carga poluidora. Alguns dos principais processos incluem:

Tratamento Preliminar: Nesta etapa, os sólidos grosseiros e materiais não biodegradáveis são removidos. Isso ajuda a proteger equipamentos posteriores e melhora a eficiência dos processos de tratamento.

Tratamento Primário: O tratamento primário é projetado para remover sólidos em suspensão e parte da matéria orgânica por sedimentação. Embora eficaz, esse processo não é suficiente para atingir altas eficiências na remoção de poluentes.

Tratamento Secundário: O tratamento secundário é geralmente baseado em processos biológicos, como lodos ativados ou reatores anaeróbios. Eles são altamente eficazes na remoção da matéria orgânica biodegradável e na redução da carga de DBO.

Tratamento Terciário: Em alguns casos, o tratamento terciário é necessário para remover nutrientes, patógenos e poluentes específicos. Processos como filtração, desinfecção e precipitação química podem ser empregados.

A eficiência na remoção da carga poluidora varia dependendo dos processos empregados e das características do efluente de entrada. A escolha da tecnologia e a otimização do sistema são cruciais para atingir altas taxas de remoção de poluentes. Dessa forma, em resumo, o dimensionamento correto, a manutenção adequada, o monitoramento constante e a conformidade com as regulamentações são fundamentais para atingir a eficiência na remoção da carga poluidora.

3. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Existe uma variedade de sistemas de tratamento de esgoto que é empregada em todo o mundo, e cada sistema é, de certa forma, adaptado às características específicas das águas residuais e às demandas ambientais e regulatórias. Neste sentido, serão apresentados dois sistemas de tratamento de esgoto, suas características e aplicações, destacando a importância de escolher o sistema adequado para atender às necessidades locais.

Os sistemas de tratamento convencionais são amplamente utilizados para tratar esgoto doméstico, o processo mais comum entre essas estações de tratamento convencionais é composto por sedimentação, aeração biológica e desinfecção. Esses sistemas são eficazes na remoção da carga orgânica e de fácil aquisição e implantação.

Em situações em que o esgoto é mais complexo, como o efluente industrial, ou quando a qualidade da água tratada deve atender a padrões ambientais mais rigorosos, os sistemas de tratamento avançados são necessários. Esses sistemas empregam tecnologias especializadas, como a filtração avançada, os processos de oxidação avançada e a remoção de nutrientes por precipitação química. O tratamento avançado é frequentemente uma escolha para a recuperação de recursos, como a reutilização da água tratada.

A seguir será dado ênfase em dois tipos de sistemas de tratamento convencionais: fluxo contínuo e lodos ativados por batelada. Esses sistemas podem ser acrescidos de um pós tratamento, como a filtração e remoção de nutrientes, mas não será o foco da pesquisa.

3.1. Fluxo contínuo

Um dos sistemas de tratamento mais comuns é o sistema de fluxo contínuo, que se destaca por sua eficiência, flexibilidade e capacidade de lidar com uma variedade de cargas poluentes.

Esse sistema muitas vezes chamado de sistema de tratamento de esgoto convencional, é um processo pelo qual as águas residuais são tratadas em uma instalação de tratamento de esgoto de forma contínua, 24 horas por dia, 7 dias por semana. Este sistema é amplamente utilizado em todo o mundo para remover poluentes da água residual antes de ser devolvida ao meio ambiente ou reutilizada para outros fins.

Os sistemas de tratamento de fluxo contínuo apresentam diversas vantagens, como a capacidade de tratar grandes volumes de água de maneira eficaz e a possibilidade de ajustar o processo de tratamento de acordo com as condições variáveis da água de entrada. No entanto, também enfrentam desafios, incluindo a necessidade de lidar com poluentes emergentes, como produtos farmacêuticos e produtos químicos industriais (Sutherland et al., 2017).

Muitas ETEs Compactas fazem uso de tecnologias de fluxo contínuo para otimizar o processo de tratamento. Algumas das tecnologias comuns empregadas em ETEs que envolvem sistemas de fluxo contínuo são:

Filtros Aerados Submersos (FAS): São preenchidos com meio suporte e funcionam através da combinação de aeração e filtração. A água flui continuamente pelos filtros, onde as bactérias aeróbicas aderem ao meio suporte e degradam a matéria orgânica.

Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (UASB): Os reatores operam em fluxo contínuo e permitem a digestão anaeróbica de matéria orgânica.

Lodos Ativados Convencional (Fluxo Contínuo): As águas residuais são misturadas com lodo ativado contendo microrganismos aeróbicos, promovendo a remoção da matéria orgânica. Após a aeração, a mistura passa por uma decantação. Diferente do sistema por batelada, esse sistema em fluxo contínuo é frequentemente preferido para operações de grande escala devido à sua estabilidade e eficiência.

Membranas de Ultrafiltração (UF) e Osmose Reversa (OR): São usadas para tratamento de água potável e produção de água de alta qualidade. A água é forçada através das membranas, que retêm partículas, bactérias e contaminantes, permitindo a produção de água limpa e segura em um fluxo contínuo.

Tecnologia MBR (Reatores de Membrana de Lodo Ativado): Os MBRs são uma combinação de reatores de lodo ativado e membranas de ultrafiltração. O lodo é mantido suspenso pelo processo de aeração, e a água é continuamente filtrada através das membranas, permitindo a separação eficaz do lodo.

Essas tecnologias de fluxo contínuo permitem o tratamento eficaz e desempenham um papel crucial na melhoria da qualidade da água. Porém, agora o foco da pesquisa será no Filtro Aerado submerso. Portanto, para exemplificar como funciona um sistema de fluxo contínuo, a seguir será detalhado o tratamento biológico por FAS.

3.1.0. Etapas de tratamento FAS

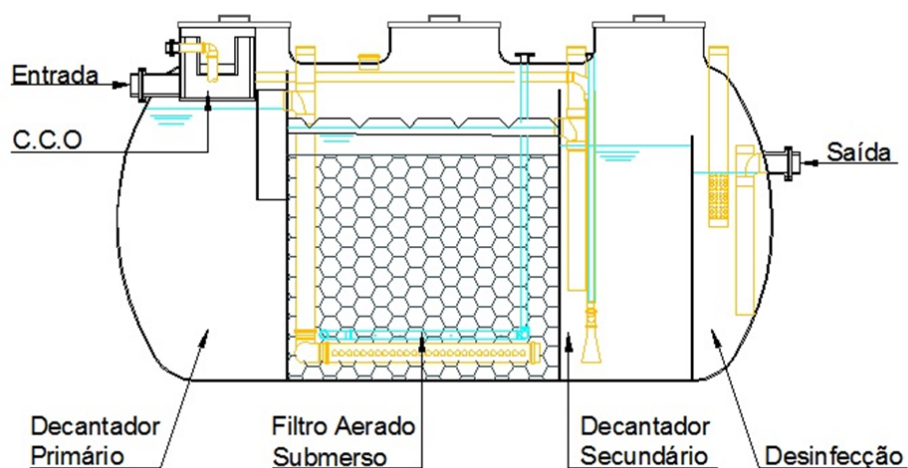
O filtro aerado submerso ou filtro aeróbio submerso é o processo de tratamento de esgoto que utiliza um meio de fixação dos microorganismos, imerso no reator, sendo o oxigênio necessário fornecido através de ar introduzido por meio de equipamento. Sua característica é a capacidade de fixar grandes quantidades de microorganismos nas superfícies do meio, reduzindo o volume do reator biológico, permitindo depuração em nível avançado de esgoto, sem necessidade de recirculação de lodo, como acontece com o lodo ativado (ABNT NBR 13969/1997) .

Esse processo de tratamento ocorre da seguinte maneira: o esgoto flui através do meio suporte, as bactérias aeróbicas aderem ao meio suporte (formando-se o biofilme) e degradam a matéria orgânica presente no efluente. Aeração constante é fornecida através de difusores (sopradores), que introduzem oxigênio na água, permitindo que as bactérias continuem a quebrar compostos orgânicos complexos em produtos mais simples. O esgoto tratado é então coletado na parte superior do reator e pode ser encaminhado para etapas subsequentes de tratamento ou descarte.

Nas estações de tratamento compactas é comum ter várias etapas de

tratamento em um único reator, como remoção de sólidos e decantador, sendo o FAS a principal etapa, pois é onde ocorre de fato a degradação da carga poluidora do esgoto. Como segue na Figura 1 esquemática:

Figura 1 - Reator Horizontal: Esquema Filtro Aerado Submerso



Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

3.2. Lodos ativados por bateladas

É o processo de tratamento que consiste na retenção de esgoto no reator, onde se processa a depuração e formação de flocos de microorganismos basicamente aeróbios, cujo oxigênio necessário é fornecido através de ar injetado pelos equipamentos. Os flocos são separados do líquido tratado na fase de sedimentação no mesmo reator, drenando-se o efluente (ABNT NBR 13969/1997).

O sistema de tratamento por processo LAB se caracteriza por sua eficiência comprovada na remoção de poluentes, aliada à simplicidade operacional e construtiva. Operacionalmente se caracteriza pela intermitência do processo depurativo, com drenagem periódica do esgoto tratado. Apesar da sua simplicidade operacional, ainda exige manutenção regular, com intervalos menores do que nos outros processos, tais como filtro aeróbio submerso, filtros de areia etc. Assim sendo, é um processo mais vantajoso para locais com vazões maiores, com parâmetros de lançamento no corpo receptor bastante restritivos.

Similarmente ao filtro aeróbio submerso, essencialmente o LAB se compõe de um único tanque reator onde se processam a remoção de poluentes,

sedimentação dos sólidos e drenagem do efluente tratado, de modo cíclico. Portanto, é um processo compacto de tratamento. Uma parte do lodo biológico gerado no processo deve ser retirada periodicamente (lodo excedente) e enviada para tanque séptico para digestão anaeróbia.

O tempo de detenção hidráulica (TDH) em sistemas de tratamento de esgoto por Lodos Ativados por Batelada (LAB) pode variar dependendo das especificações do sistema e das necessidades de tratamento. O TDH é o período de tempo em que a água residuária permanece no reator durante um ciclo de batelada. O TDH é um fator crítico, pois influencia a eficácia do tratamento.

Normalmente, o TDH em sistemas de LAB pode variar de algumas horas a um dia ou mais, dependendo das condições específicas e dos objetivos do tratamento. Durante a fase de aeração, o esgoto é mantido no reator e aerado, permitindo que as bactérias aeróbicas consumam a matéria orgânica.

O controle preciso do TDH é fundamental para otimizar o desempenho do sistema de LAB. Ele é influenciado pela vazão de entrada de água residuária, pelo volume do reator e pelo tempo de aeração. Ajustar o TDH pode ser necessário para acomodar variações na carga orgânica, na temperatura da água e em outras condições que afetam o tratamento.

Em sistemas de LAB, o controle do TDH pode ser realizado por meio da programação das fases do ciclo de batelada, como a fase de aeração e a fase de sedimentação. O monitoramento regular e a manutenção do sistema são essenciais para garantir que o TDH seja mantido dentro das faixas ideais para atender aos objetivos de tratamento. Portanto, o tempo de detenção hidráulica em sistemas de LAB pode ser adaptado de acordo com as necessidades específicas de cada instalação de tratamento.

3.2.0. Etapas de tratamento LAB

O ciclo do sistema LAB é composto por várias etapas distintas. A compreensão dessas etapas é fundamental para verificar a eficiência e a versatilidade do LAB como uma solução de tratamento, segue as etapas:

Enchimento (Fase de Alimentação): No início do ciclo de batelada, o esgoto

é introduzido no reator de lodos ativado por batelada.

Aeração (Fase de reação): O reator é aerado, fornecendo oxigênio ao esgoto, isso promove o crescimento das bactérias aeróbicas, que consomem a matéria orgânica presente no esgoto. A aeração geralmente dura várias horas e pode variar dependendo das condições específicas.

Sedimentação (Fase de Sedimentação): Aeração é interrompida, permitindo que os sólidos suspensos e os flocos biológicos formados durante a fase de aeração se depositem no fundo do reator.

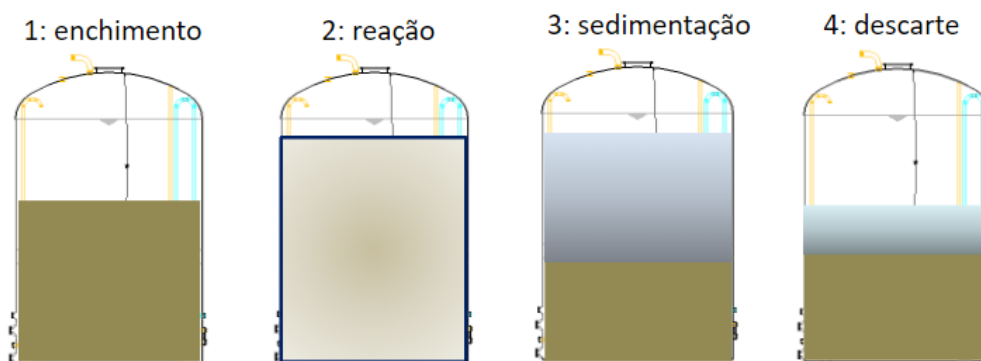
Descarte (Fase de Descarte ou Clarificação): A água tratada, agora mais limpa, é removida da parte superior do reator. A água tratada é encaminhada para etapas adicionais de tratamento, se necessário, ou descartada no meio ambiente, caso atenda aos padrões de qualidade.

Reposição (Fase de iniciar um novo ciclo): O reator é preenchido com mais esgoto para iniciar um novo ciclo e repetir as etapas apresentadas.

Desidratação de Lodo (Opcional): Se houver excesso de lodo biológico acumulado no reator, ele pode ser retirado e submetido a processos de desidratação, como a centrifugação ou lodo desidratação por filtro, para reduzir o volume e permitir o descarte ou disposição adequada do lodo.

O processo de Lodos Ativados por Batelada requer monitoramento e controle rigorosos para garantir que o sistema funcione de forma eficaz em cada ciclo de batelada. Além disso, as etapas e os tempos de operação podem variar dependendo das condições específicas e do projeto do sistema de tratamento de esgoto por LAB. Podemos observar com mais clareza as etapas que foram apresentadas na Figura 2 abaixo:

Figura 2 - Reator LAB: Esquema etapas de tratamento



Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

4. NECESSIDADE DE ANÁLISE COMPARATIVA

A escolha de um sistema de tratamento de esgoto é uma decisão fundamental em projetos de saneamento, pois o desempenho do sistema selecionado afeta diretamente a qualidade do efluente tratado e os custos operacionais. Tanto o Filtro Aerado quanto o LAB possuem suas vantagens e desvantagens, e a seleção entre eles deve ser feita com base em critérios bem fundamentados.

A escolha entre esses sistemas requer uma avaliação completa do desempenho em relação aos parâmetros críticos de tratamento de esgoto. Isso inclui a remoção eficaz de poluentes, a eficiência energética, a produção de resíduos, a robustez operacional e a qualidade do efluente tratado. Logo, uma análise comparativa ajuda a identificar qual sistema é mais adequado para atender às necessidades específicas de um determinado projeto.

As características da carga orgânica do esgoto a ser tratado podem variar significativamente de um local para outro. Em algumas áreas, o esgoto pode ser caracterizado por uma carga orgânica relativamente estável, enquanto em outras, as variações sazonais podem ser extremas. A escolha entre um FAS ou LAB pode depender fortemente dessas variações, uma vez que cada sistema apresenta desempenhos diferentes em condições de carga orgânica variável.

A análise comparativa também deve abordar os custos de implantação e

operacionais associados a cada sistema. Ou seja, a análise de custos deve considerar não apenas os investimentos iniciais, mas também os custos de operação a longo prazo.

Em resumo, a escolha entre sistemas de tratamento de esgoto em fluxo contínuo e sistemas de lodos ativados por batelada é uma decisão complexa que requer uma análise comparativa abrangente. A seleção do sistema adequado deve levar em consideração as variações na carga orgânica, os requisitos de espaço, os custos de capital e operacionais, bem como outros fatores mais específicos que podem haver em diferentes casos.

Cada projeto de tratamento de esgoto é único, e essa análise é essencial para determinar qual sistema atenderá de forma mais eficaz às metas específicas de tratamento, econômicas e ambientais do projeto em questão. Portanto, a necessidade de análise comparativa é evidente e fundamental para o sucesso de qualquer projeto de tratamento de esgoto.

5. METODOLOGIA DE PESQUISA

Este estudo é caracterizado como uma pesquisa experimental, uma vez que busca comparar o desempenho de dois sistemas distintos de tratamento de esgoto. A abordagem experimental permite a manipulação das variáveis envolvidas, possibilitando a comparação direta entre os dois métodos de tratamento.

Os dados foram referentes a duas estações de tratamento, uma de cada sistema e ambas as estações já estão instaladas e em operação há mais de um ano. As estações compactas apresentadas foram projetadas e executadas pela empresa EEA - Empresa de Engenharia Ambiental.

O sistema composto por Filtro Aerado Submerso se trata de uma “ETE Horizontal sobre a base” (nome comercial dado pela EEA), a estação que será apresentada foi instalada em 2018 na empresa COMPANHIA ULTRAGAZ SA , localizada em Mauá/SP. Já o sistema de Lodos Ativados por Bateladas, denominado pela EEA como “ETE LAB”, a estação escolhida para o estudo foi instalada em 2017 na empresa CONDUMAX ELETRO METALURGICA CIAFUNDI LTDA, localizada em Olímpia/SP.

Primeiramente foram apresentados os dados básicos de projeto de cada sistema contidos nos memoriais descritivos e de cálculo. Assim, foi possível levantar dados extremamente importantes para a análise comparativa, como os parâmetros adotados, vazão, local de despejo do efluente tratado, carga orgânica de entrada e concentração de DBO.

Após a apresentação desses principais dados de projeto foi realizada uma comparação entre a eficiência de tratamento projetada (calculada no memorial de cálculo) com a eficiência de tratamento dos sistemas com base em análises dos efluentes de entrada e saída das estações em operação.

Em seguida, houve a apresentação das áreas necessárias para implantação de cada sistema em prol de verificar qual demanda mais ou menos área. Por último, o foco foi analisar os fatores econômicos das estações, como uma estimativa do valor de venda dessas ETEs Compactas e os seus custos operacionais.

Em resumo, o levantamento das características principais de cada estação, servirá para obter uma melhor compreensão dos estudos de casos e, por conseguinte, ser possível comparar efetivamente cada sistema em relação a algumas características específicas.

Na tabela 2 da norma NBR 13969/1997, são definidas algumas características dos processos de tratamento, ou seja, são avaliadas características como: área necessária, operação, custo operacional, manutenção e odor/cor no efluente. Isso em relação a diferentes tipos de tratamento como: filtro anaeróbio, filtro aerado submerso, filtro de areia, vala de infiltração, LAB e lagoas com plantas. Portanto, o objetivo principal deste trabalho é chegar em um resultado similar com o apresentado na tabela 2 da norma NBR 13969/1997, porém com o foco somente nos sistemas de filtro aerado submerso e LAB, de acordo com a tabela 3 apresentada a seguir:

Tabela 3 - Algumas características dos processos de tratamento FAS e LAB

Característica	Processo	
	Filtro Aeróbio Submerso	LAB
Eficiência* (%)	60 a 95	70 a 95
Área necessária	Reduzida	Média
Valor Médio de Venda	Médio	Alto
Custo Operacional	Médio	Médio

* Eficiência em relação a capacidade de remoção de DBO

Fonte: adaptado de NBR 13969/1997 - Tabela 2

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Dados de projeto

6.1.0. Fluxo Contínuo - FAS

A estação de tratamento de esgoto de Fluxo Contínuo foi instalada em 2018 e tem por objetivo atender a demanda da COMPANHIA ULTRAGAZ SA , localizada no município de Mauá/SP.

Para a COMPANHIA ULTRAGAZ SA foi considerado o montante de: 118 funcionários da produção contribuindo individualmente com 70 litros de esgoto por dia; 167 funcionários do setor administrativo contribuindo individualmente com 50 litros por dia; 397 refeições diárias que respondem por uma contribuição individual diária de 25 litros de esgoto. Totalizando em um montante de 26,54 m³/dia de esgoto.

Considerando a alta carga do efluente de entrada, propõe-se o uso de um reator horizontal com a capacidade em volume superior aos 26,54 m³/dia, que fornecerá a eficiência necessária de tratamento considerando a DBO de entrada de 700 mg/L.

Após o tratamento, o efluente é encaminhado para o Rio Tamanduateí, sendo as coordenadas de lançamento (UTM): 349407.00 E; 7383402,00 S.

Dado o dimensionamento da vazão e da carga orgânica e local de despejo do efluente tratado, o sistema proposto compreende à uma ETE compacta modelo horizontal com capacidade de tratamento para 50,00 m³/dia, com os seguintes equipamentos:

Estação Elevatória de Esgoto 1 (EEE1): Serve para recalque do efluente bruto até o tratamento biológico;

Tanque séptico: É uma unidade de tratamento de esgoto sanitário de fluxo horizontal contínuo no qual se verifica os processos de: sedimentação dos sólidos suspensos, digestão da matéria orgânica e remoção da gordura;

ETE Compacta Horizontal: É formada por um conjunto de três etapas, cada uma delas com sua característica e contribuição para a eficiência do equipamento, sendo: decantador primário, filtro aerado submerso, decantador secundário e desinfecção;

Reservatório de lodo: Todo sistema de tratamento de efluentes tem como resíduo o lodo gerado dentro dos processos de redução e remoção da carga orgânica do efluente bruto. Nesse projeto, o acúmulo de lodo é em um reservatório de lodo, onde deve ser retirado por caminhão esgota-fossa.

Para melhor representação desse sistema e compreensão das etapas de tratamento apresentadas, seguem as Figuras 3 e 4 da ETE da COMPANHIA ULTRAGAZ SA - Mauá/SP.

Figuras 3 e 4 - ETE Horizontal sobre a base instalada na COMPANHIA ULTRAGAZ SA em Mauá/SP



Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

A fim de sintetizar os parâmetros considerados no projeto e cálculos para dimensionamento do reator, segue as tabelas 4 e 5, elas serão essenciais para a análise comparativa entre os sistemas.

Tabela 4 - Parâmetros adotados para o sistema FAS - ETE Horizontal

Produção	Número de pessoas	118	hab
	Contribuição por pessoa	70	l/hab.dia
	Contribuição de carga orgânica	25	g/hab.dia
Administrativo	Número de pessoas	167	hab
	Contribuição por pessoa	50	l/hab.dia
	Contribuição de carga orgânica	25	g/hab.dia
Refeições	Número de refeições	397	hab
	Contribuição por refeições	25	l/hab.dia
	Contribuição de carga orgânica	25	g/hab.dia

Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

Tabela 5 - Dimensionamento do sistema FAS - ETE Horizontal

Cálculo da vazão média	26,54	m ³ /dia
Cálculo da carga orgânica	17,05	kg/dia
Cálculo da concentração de DBO	643	mg/l
Vazão adotada do sistema	50	m ³ /dia
Concentração de DBO de entrada adotada do sistema	700	mg/l

Fonte: Autoria própria

Para referenciar com o item 2.4 desta pesquisa, é possível observar que o parâmetro que mais influenciou para a dimensionamento do sistema foi o cálculo da carga orgânica do efluente bruto de entrada. Pois, a alta carga do efluente de entrada, propõe-se o uso de um reator horizontal com a capacidade superior aos 26,54 m³/dia de vazão média calculada, necessitando assim de um reator de 50m³/dia para conseguir apresentar uma boa eficiência de remoção de DBO.

6.1.1. Lodos Ativados por batelada

A estação de tratamento de esgoto de Lodo Ativado por Batelada foi instalada em 2017 e tem por objetivo atender a demanda da CONDUMAX ELETRO METALURGICA CIAFUNDI LTDA, localizada no município de Olímpia/SP.

Para a CONDUMAX ELETRO METALURGICA CIAFUNDI LTDA foi considerado o montante de: 390 funcionários contribuindo individualmente com 70

litros de esgoto por dia, além de 397 refeições diárias que respondem por uma contribuição individual de 25 litros de esgoto. Totalizando em um montante de 37,05 m³/dia de esgoto.

Após o tratamento, parte do efluente será destinado para reuso dentro de processos produtivos, Para isso foram incluídos o sistema de filtração e a desinfecção. O efluente excedente (aquele que não será destinado para reúso) será encaminhado para valas de infiltração. Vale ressaltar dessa forma que, a dosagem de cloro não deve ser realizada enquanto houver destinação aos sumidouros, apenas quando o efluente for para reuso.

Dado o dimensionamento da vazão e da carga orgânica e local de despejo do efluente tratado, o sistema proposto compreende à uma ETE compacta modelo LAB com capacidade de tratamento para 50,00 m³/dia, com os seguintes equipamentos:

Estação Elevatória de Esgoto 1 (EEE1) com cesto: Recalca o efluente bruto até o tratamento biológico. Sendo o tratamento biológico projetado por bateladas, a EEE possui ainda um volume de equalização para acúmulo da vazão correspondente a um ciclo de funcionamento do sistema de lodos ativados. O cesto contido dentro dessa EEE serve como tratamento preliminar, ou seja, para remoção de sólidos grosseiros.

Sistema de lodos ativados por batelada (LAB): O processo de lodos ativados por batelada compreende um único reator de mistura completa, no qual por meio do estabelecimento de ciclos operacionais com durações definidas, ocorrem as etapas de tratamento descritas: enchimento, reação, sedimentação, esvaziamento e repouso.

Sistema de Filtração: O sistema de filtração tem o objetivo de promover o polimento do efluente. Os filtros são constituídos de camadas de areia ou de areia e antracito, suportadas por cascalho com diferentes granulometrias.

Sistema de Desinfecção: Para o lançamento do efluente por infiltração não há necessidade de desinfecção, porém conforme mencionado, esta etapa foi incluída para o reuso do efluente tratado. A desinfecção nesse projeto é realizada, quando necessária, no reservatório dos filtros de areia, por bomba dosadora de cloro por acionamento manual.

Descarte do Lodo: Neste projeto, o acúmulo de lodo é em um reservatório de lodo, onde deve ser retirado por caminhão esgota-fossa.

Para melhor representação desse sistema e compreensão das etapas de tratamento apresentadas, segue a Figura 5 da ETE da CONDUMAX ELETRO METALURGICA CIAFUNDI LTDA em Olímpia/SP.

Figura 5 - ETE LAB instalada na CONDUMAX ELETRO METALURGICA CIAFUNDI LTDA em Olímpia/SP



Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

A fim de sintetizar os parâmetros considerados no projeto e cálculos para dimensionamento do reator, segue as tabelas 6 e 7, elas serão essenciais para a análise comparativa entre os sistemas.

Tabela 6 - Parâmetros adotados para o sistema LAB

Produção	Número de pessoas	390	hab
	Contribuição por pessoa	70	l/hab.dia
	Contribuição de carga orgânica	25	g/hab.dia
Refeições	Número de refeições	390	hab
	Contribuição por refeição	25	l/hab.dia
	Contribuição de carga orgânica	25	g/hab.dia

Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

Tabela 7 - Dimensionamento do sistema LAB

Cálculo da vazão média	37,05	m³/dia
Cálculo da carga orgânica	19,5	kg/dia
Cálculo da concentração de DBO	526	mg/l
Vazão adotada do sistema	50	m³/dia
Concentração de DBO de entrada adotada do sistema	500	mg/l

Fonte: Autoria própria

Para referenciar com o item 2.4 desta pesquisa, é possível observar que o parâmetro que mais influenciou para a dimensionamento desse sistema foi o uso pretendido do efluente tratado, que no caso é reuso na própria produção, necessitando assim de um sistema que apresenta bastante eficiência.

6.2. Eficiência de remoção de DBO dos processos de tratamento

6.2.0. Fluxo Contínuo - FAS

Conforme já apresentado na Tabela 2, de acordo com a NBR 13969/97, a eficiência média do sistema de tratamento por Filtro Aerado Submerso fica entre 60 a 95% de remoção de DBO.

Na Tabela 8 é apresentado a eficiência do sistema conforme o calculado/dimensionado em projeto. Já na Tabela 9 demonstra as análises do efluente tanto de entrada (bruto) quanto de saída (tratado), podendo assim, analisar a eficiência real do sistema.

Tabela 8 - Desempenho do sistema FAS - ETE Horizontal

	Carga entrada	Carga saída	Concentração entrada	Concentração saída	Eficiência
	kg	kg	mg/l	mg/l	
DBO	18,6	3,7	700	140,0	80%
DQO	37,1	7,4	1400	280,0	80%

Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

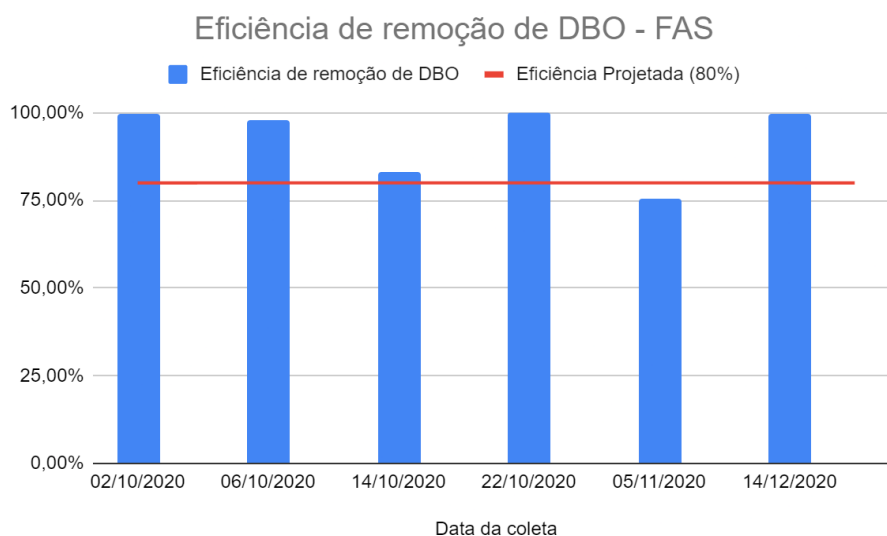
Tabela 9 - Resultados analíticos sistema FAS - ETE Horizontal

Data da coleta	Ponto de coleta	Resultado DBO	Eficiência de remoção de DBO
02/10/2020	Entrada da ETE	15262,0 mg/L	99,5%
	Saída da ETE	73,0 mg/L	
06/10/2020	Entrada da ETE	2453,0 mg/L	98,0%
	Saída da ETE	50,0 mg/L	
14/10/2020	Entrada da ETE	1772,0 mg/L	83,0%
	Saída da ETE	301,0 mg/L	
22/10/2020	Entrada da ETE	6,0 mg/L	100,0%
	Saída da ETE	< 2,0 mg/L	
05/11/2020	Entrada da ETE	170,0 mg/L	75,3%
	Saída da ETE	42,0 mg/L	
14/12/2020	Entrada da ETE	18181,0 mg/L	99,8%
	Saída da ETE	28,0 mg/L	

Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

Fazendo uma breve análise da Tabela 9, é possível verificar que a eficiência média da ETE Horizontal é de 92,6%, resultado este acima da eficiência projetada (figura 6).

Figura 6 - Resultado da Eficiência sistema FAS - ETE Horizontal



Fonte: Autoria própria

6.2.1. Lodos Ativados por batelada

Conforme já apresentado na Tabela 2, de acordo com a NBR 13969/97, a eficiência média do sistema de tratamento por Lodo Ativado por Bateladas fica entre 70 a 95% de remoção de DBO.

Na Tabela 10 é apresentado a eficiência do sistema conforme o calculado/dimensionado em projeto. Já na Tabela 11 demonstra as análises do efluente tanto de entrada (bruto) quanto de saída (tratado), podendo assim, analisar a eficiência real do sistema.

Tabela 10 - Desempenho do sistema LAB

	Carga entrada	Carga saída	Concentração Entrada	Concentração Saída	Eficiência
	kg	kg	mg/l	mg/l	
DBO	25,0	2,5	500,0	50,0	90%
DQO	35,0	3,5	700,0	70,0	90%

Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

Tabela 11 - Resultados analíticos sistema LAB

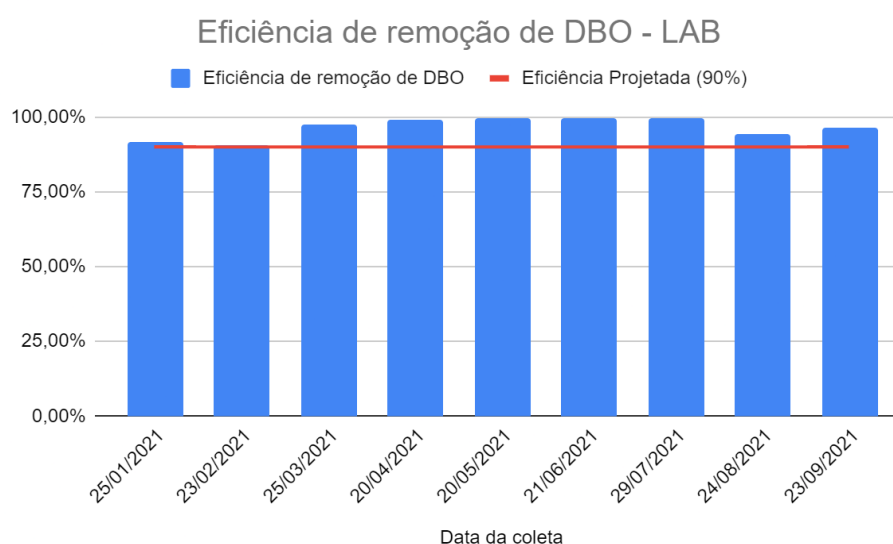
Data da coleta	Ponto de coleta	Resultado DBO	Eficiência de remoção de DBO
25/01/2021	Entrada da ETE	321,40 mg/L	91,50%
	Saída da ETE	27,32 mg/L	
23/02/2021	Entrada da ETE	448,30 mg/L	90,59%
	Saída da ETE	42,20 mg/L	
25/03/2021	Entrada da ETE	263,10 mg/L	97,32%
	Saída da ETE	7,04 mg/L	
20/04/2021	Entrada da ETE	410,09 mg/L	99,23%
	Saída da ETE	3,15 mg/L	
20/05/2021	Entrada da ETE	1822,20 mg/L	99,84%
	Saída da ETE	3,00 mg/L	
21/06/2021	Entrada da ETE	779,30 mg/L	99,62%
	Saída da ETE	3,00 mg/L	
29/07/2021	Entrada da ETE	483,90 mg/L	99,38%
	Saída da ETE	3,00 mg/L	

24/08/2021	Entrada da ETE	502,40 mg/L	94,55%
	Saída da ETE	27,40 mg/L	
23/09/2021	Entrada da ETE	566,80 mg/L	96,65%
	Saída da ETE	19,00 mg/L	

Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

Fazendo uma breve análise da Tabela 11, é possível verificar que a eficiência média da ETE LAB é de 96,52%, resultado este acima da eficiência projetada (Figura 7).

Figura 7 - Resultado da Eficiência sistema FAS LAB



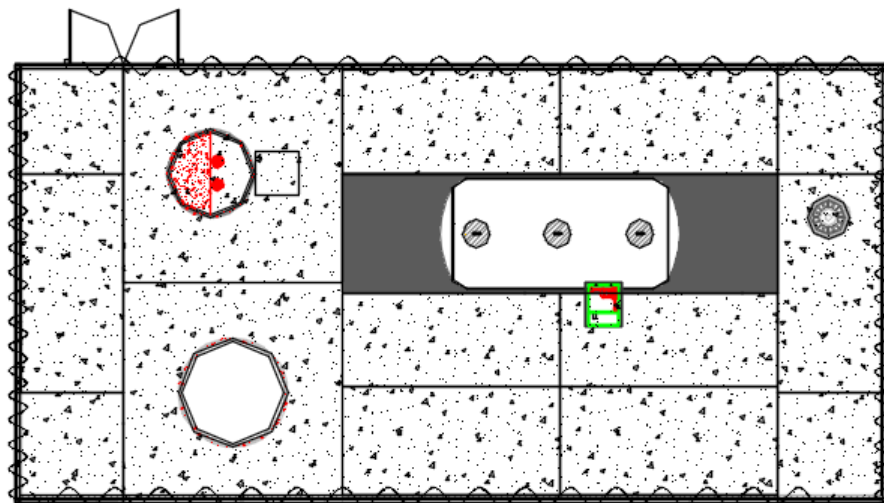
Fonte: Autoria própria

6.3. Área necessária para implantação das Estações

6.3.0. Fluxo Contínuo - FAS

Para um projeto padrão de ETE horizontal de 50m³/dia, pode-se considerar uma área de 200m² (10 metros de largura e 20 metros de comprimento), conforme layout apresentado na figura 8 abaixo:

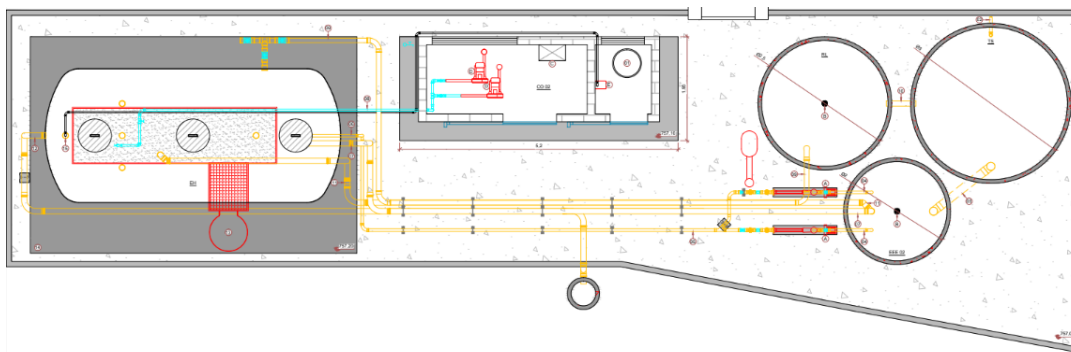
Figura 8 - Layout padrão sistema FAS “ETE Horizontal 50m³/dia”



Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

Porém, para o projeto da estação deste estudo de caso demandou uma área de 159m², como pode ser observado na planta geral da estação apresentado na figura 9:

Figura 9 - Planta geral do sistema FAS “ETE Horizontal”

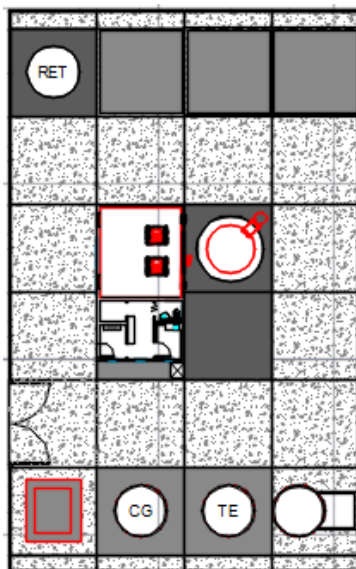


Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

6.3.1. Lodos Ativados por batelada

Para um projeto padrão de ETE LAB de 50m³/dia, pode-se considerar uma área de 640m² (20 metros de largura e 32 metros de comprimento), conforme layout apresentado na figura 10 abaixo:

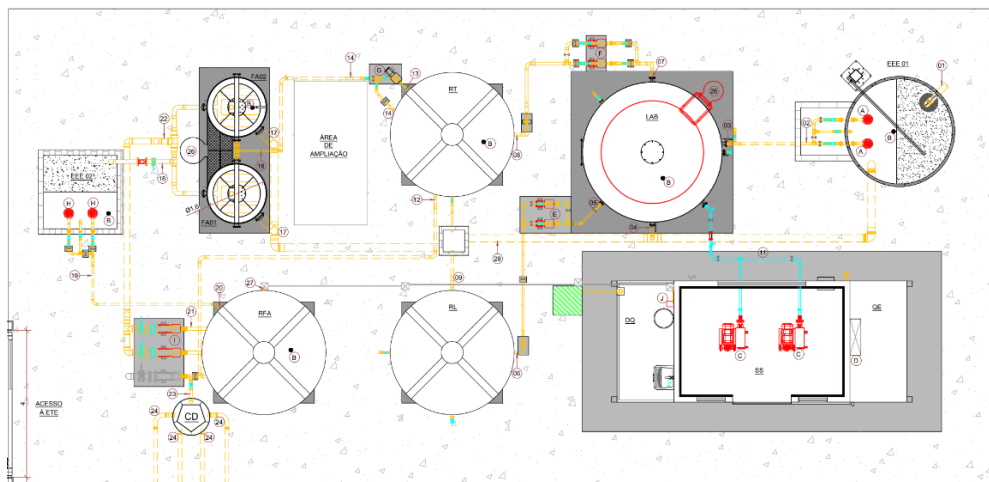
Figura 10 - Layout padrão ETE LAB 50m³/dia



Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

Porém, para o projeto da estação deste estudo de caso demandou uma área de 351m² (27 metros de largura e 13 metros de comprimento), como pode ser observado na planta geral da estação apresentado na figura 11:

Figura 11 - Planta geral do sistema LAB



Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

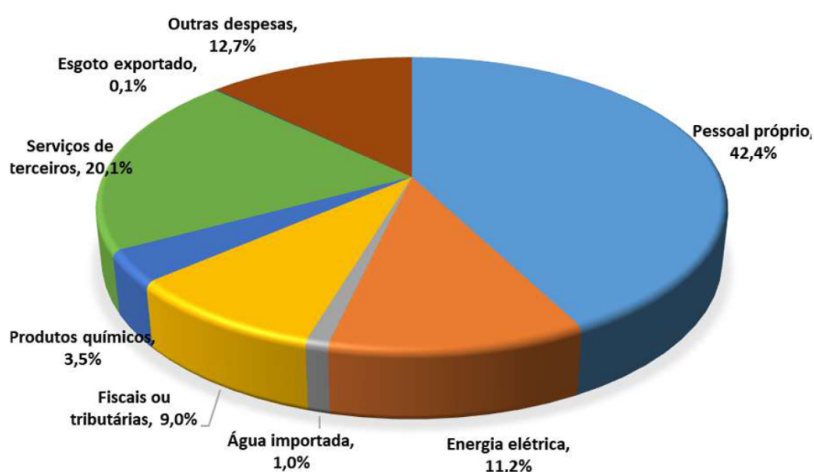
6.4. Preço médio de venda e Custo Operacional

É fundamental considerar não apenas o investimento inicial (CAPEX), mas também os custos ao longo do ciclo de vida útil do sistema (OPEX). Geralmente, os custos operacionais envolvem a energia elétrica (utilizada no bombeamento de

águas residuais e na aeração de sistemas biológicos), produtos químicos (como coagulantes e desinfetantes), mão de obra (operadores, pessoal de manutenção e gestão da estação), os custos associados à manutenção e reparos, análises laboratoriais (monitoramento da qualidade do efluente), despejo adequado de resíduos gerados durante o processo de tratamento e, em algumas instalações, a necessidade de água de processo.

Vale ressaltar que a proporção de cada componente pode variar dependendo das características e condições específicas de cada ETE, mas de forma representativa, pode-se subdividir os custos operacionais conforme a figura 12 abaixo:

Figura 12 - Custo operacionais de uma ETE



Fonte: Adaptado de BRASIL (2016)

A determinação dos preços médios de venda das ETEs Compactas da EEA - Empresa de Engenharia Ambiental para o ano de 2023, foi elaborada a partir da análise do histórico de preço de venda das ETEs de 2014 a Dezembro de 2022.

Já para a determinação do custo operacional de cada sistema, foi elaborado pela EEA em 2022 um levantamento do consumo de energia, valor de mão de obra, de produtos químicos e de retirada de lodo.

6.4.0. Fluxo Contínuo - FAS

O preço médio de venda do sistema FAS, mais especificamente da ETE Horizontal, varia conforme a vazão e o modelo da estação. A EEA trabalha com

modelos D0, D1, D2 e D3, para cada modelo se diferencia características estéticas e quantidade de equipamentos reservas, sendo D0 esteticamente mais simples e com poucos equipamentos reservas e D3 uma ETE mais completa.

Atualmente, em 2023, o preço médio de venda de uma Estação Horizontal padrão sobre a base de 50m³/dia modelo D1 da EEA é de R\$205.000,00 (somente equipamentos).

Já a estimativa dos custos operacionais desta mesma estação é representado na tabela 12 abaixo:

Tabela 12 - Custo operacionais ETE Horizontal

Vazão (m ³ /dia)	Energia R\$/m ³	Mão de obra* R\$/m ³	Produtos químicos R\$/m ³	Retirada de lodo R\$/m ³	Custo total R\$/m ³
10	R\$ 0,44	R\$ 0,83	-	R\$ 0,82	R\$ 2,10
15	R\$ 0,41	R\$ 0,78	-	R\$ 0,82	R\$ 2,02
25	R\$ 0,25	R\$ 0,60	-	R\$ 0,82	R\$ 1,67
50	R\$ 0,48	R\$ 0,60	-	R\$ 0,82	R\$ 1,91
75	R\$ 0,32	R\$ 0,40	-	R\$ 0,82	R\$ 1,55
100	R\$ 0,24	R\$ 0,30	-	R\$ 0,82	R\$ 1,36
*Limpeza 1 (uma) vez ao dia e Manutenção Preventiva					

Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

6.4.1. Lodos Ativados por batelada

O preço médio de venda do sistema LAB, também varia conforme a vazão e o modelo da estação. Atualmente, em 2023, o preço médio de venda de uma estação de tratamento do tipo Lodos Ativados por batelada padrão de 50m³/dia modelo D1 da EEA - Empresa de Engenharia Ambiental é de R\$ 290.000,00 (somente equipamentos).

Já a estimativa dos custos operacionais desta mesma estação é representado na tabela 13 abaixo:

Tabela 13 - Custo operacionais ETE LAB

Vazão (m ³ /dia)	Energia R\$/m ³	Mão de obra* R\$/m ³	Produtos químicos R\$/m ³	Retirada de lodo R\$/m ³	Custo total R\$/m ³
30	R\$ 0,80	R\$ 1,00	-	R\$ 2,15	R\$ 3,94
60	R\$ 0,75	R\$ 0,50	-	R\$ 1,33	R\$ 2,58

90	R\$ 0,50	R\$ 0,33	-	R\$ 1,02	R\$ 1,85
120	R\$ 0,70	R\$ 0,25	-	R\$ 1,33	R\$ 2,29
180	R\$ 0,47	R\$ 0,17	-	R\$ 1,02	R\$ 1,66
270	R\$ 0,46	R\$ 0,19	-	R\$ 1,02	R\$ 1,66
360	R\$ 0,45	R\$ 0,14	-	R\$ 1,02	R\$ 1,61
*Limpeza 1 (uma) vez ao dia e Manutenção Preventiva					

Fonte: EEA - Empresa de Engenharia Ambiental

7. ANÁLISE COMPARATIVA

A análise comparativa dos parâmetros de projeto entre o Filtro Aerado Submerso e o Sistema de Lodos Ativados por Batelada, como apresentado na Tabela 14, destaca nuances importantes no desempenho de cada sistema.

Tabela 14 - Comparação entre os Parâmetros de Projeto das Estações

Dados de Projeto	FAS	LAB
Cálculo da vazão média	26,54 m³/dia	37,05 m³/dia
Cálculo da carga orgânica	17,05 kg/dia	19,5 kg/dia
Cálculo da concentração de DBO	643 mg/l	526 mg/l
Vazão adotada do sistema	50 m³/dia	50 m³/dia
Concentração de DBO de entrada adotada do sistema	700 mg/l	500 mg/l

Fonte: Autoria própria

A vazão calculada nos projetos é o fator mais importante para dimensionamento de cada estação, afinal o cálculo preciso da vazão assegura que o sistema seja projetado para lidar eficientemente, evitando que, por exemplo, a estação seja subdimensionada. Como pode ser observado na Tabela 14, a vazão foi devidamente calculada de acordo com os dados específicos de cada empresa e o sistema então foi projetado para receber uma vazão acima da calculada para garantir a capacidade e eficiência de tratamento.

A carga orgânica calculada no FAS é de 17,05 kg/dia, enquanto no LAB é de 19,5 kg/dia. Essa disparidade pode indicar uma maior capacidade de remoção de matéria orgânica no LAB, embora seja crucial considerar a eficiência na relação carga orgânica removida por unidade de energia consumida que é apresentada na Figura 13.

O FAS recebe esgoto com uma concentração de DBO de entrada de 700 mg/l, enquanto o LAB trata esgoto com uma concentração inicial de 500 mg/l. Essa diferença impacta diretamente nos desafios enfrentados por cada sistema no que diz respeito à remoção de poluentes.

A escolha entre essas tecnologias deve considerar não apenas os resultados quantitativos de projetos, mas também fatores como eficiência de tratamento, espaço físico disponível, preço e custos associados, que serão apresentados em sequência.

No que diz respeito à eficiência de remoção de DBO, observamos variações notáveis entre os dois sistemas sob diferentes condições operacionais. Conforme o apresentado na Tabela 9, o FAS demonstra resultados significativos, atingindo eficiências impressionantes, como evidenciado pelo ponto de 99,80% para uma eficiência projetada de 80,00%. Estes resultados indicam uma notável capacidade do FAS em reduzir substancialmente a carga orgânica no esgoto tratado, proporcionando um ambiente eficaz para a atividade microbiana.

Por outro lado, o sistema LAB apresenta eficiências igualmente impressionantes, destacando-se especialmente no ponto de 99,84% para uma eficiência projetada de 90,00%, de acordo com a Tabela 11. Este resultado destaca a robustez do LAB na remoção de DBO, sinalizando uma eficiência superior em condições específicas de operação. Além disso, a consistência dos resultados ao longo das diferentes porcentagens projetadas sugere a confiabilidade do sistema LAB em diversas situações operacionais, principalmente por conta da capacidade de equalização do efluente.

Ao analisar a Figura 13, percebe-se que ambas as tecnologias possuem suas próprias forças, com o FAS mostrando excelentes resultados em eficiências projetadas mais baixas, enquanto o LAB se destaca em eficiências mais elevadas.

Figura 13 - Comparação da Eficiência de Remoção de DBO



Fonte: Autoria própria

Dando sequência na análise comparativa, a Tabela 15 apresenta informações sobre a área demandada para instalação das duas ETEs, uma destinada ao tratamento por FAS e outra por LAB, ambas com uma capacidade de 50m³/dia e modelo "D1".

Observa-se que a ETE Horizontal demanda uma área padrão significativamente menor, totalizando 200m², em comparação com os 640m² necessários para a ETE LAB. Tal disparidade na área demandada entre os dois sistemas está relacionada com a complexidade de tratamento do LAB ser maior.

Tabela 15 - Comparação da Área

Área Padrão ETE Horizontal 50m³/dia D1	200m²
Área Padrão ETE LAB 50m³/dia D1	640m²

Fonte: Autoria própria

Agora, abordando sobre o preço para aquisição desses sistemas, é possível analisar que a ETE Horizontal, com um custo de R\$205.000,00, emerge como uma opção financeiramente mais acessível em comparação com a ETE LAB, cujo preço médio de venda é de R\$290.000,00.

A ETE Horizontal pode apresentar vantagens em termos de espaço físico

necessário para instalação, pois todo o tratamento é concentrado em um único reator compacto, e esse fator, por sua vez, permite que sua simplicidade de tratamento o deixe mais econômico.

Por outro lado, a ETE LAB, com um custo mais elevado, pode oferecer uma melhor eficiência de tratamento que justifica o investimento adicional, afinal, o sistema possui a vantagem de possibilitar a regulação do tempo das fases biológicas (aeróbias e anóxicas se necessário), assim a automação é uma das partes mais importantes do sistema, o que pode acabar encarecendo.

Tabela 16 - Comparação do Preço de Venda

Preço médio de venda ETE Horizontal 50m ³ /dia D1	R\$205.000,00
Preço médio de venda ETE LAB 50m ³ /dia D1	R\$290.000,00

Fonte: Autoria própria

E para finalizar a análise comparativa, a Tabela 17 destaca a vazão diária e o custo total por metro cúbico tratado. No caso do Filtro Aerado Submerso, a vazão de 50 m³/dia e o custo de R\$ 1,91/m³ refletem uma eficiência operacional notável. Por outro lado, o sistema de Lodos Ativados por Batelada, com os mesmos 50 m³/dia, exibe um custo ligeiramente superior, alcançando R\$ 2,58/m³.

O Filtro Aerado Submerso destaca-se assim como uma opção mais economicamente viável, proporcionando um custo mais baixo por unidade de volume tratado. Isso sugere uma eficiência financeira significativa na implementação e operação do ETE Horizontal em comparação com o sistema de Lodos Ativados por Batelada.

Tabela 17 - Comparação do Custo Operacional

Sistema	Vazão (m ³ /dia)	Custo total (R\$/m ³)
ETE Horizontal	50	R\$ 1,91
ETE LAB	50	R\$ 2,58

Fonte: Autoria própria

8. CONCLUSÃO

Ao longo desta pesquisa, foi apresentado os principais fundamentos do tratamento de esgoto, como as legislações e órgãos que regem o saneamento básico, além de abordar também requisitos básico do tratamento do esgoto sanitário, diferenciando-o do esgoto industrial e trazendo os principais parâmetros a serem avaliados na hora de dimensionar uma estação. Após essa apresentação mais teórica, o foco da pesquisa se voltou para uma análise detalhada e comparativa entre dois sistemas de tratamento de esgoto amplamente empregados na busca de ter um apoio mais assertivo nas tomadas de decisões: o sistema de Filtro Aerado Submerso (caracterizado por ser um tratamento de fluxo contínuo) e de Lodos Ativados por Batelada.

O objetivo primordial deste estudo foi contribuir para o aprimoramento da compreensão sobre a eficiência e as peculiaridades desses sistemas, a fim de orientar escolhas informadas no contexto do saneamento.

A necessidade de uma análise comparativa entre esses dois sistemas fundamenta-se na demanda crescente por sistemas de tratamento de esgoto que possam responder eficientemente às variabilidades ambientais e operacionais. A diversidade de contextos em que esses sistemas são aplicados exige uma compreensão profunda de suas características distintivas, permitindo a seleção adequada de acordo com as demandas específicas de cada situação.

Os resultados obtidos através da metodologia adotada revelaram nuances interessantes entre as vantagens específicas de cada sistema do estudo. O FAS apresenta uma boa eficiência, mas mais baixa e menos constante que o do LAB, além disso, o FAS apresenta não só uma menor área para implantação como também um menor custo de aquisição e operacional em comparação com o LAB.

É imperativo reconhecer as limitações inerentes a qualquer pesquisa. Apesar de abordarmos uma ampla gama de variáveis, é crucial considerar que a dinâmica do tratamento de esgoto é afetada por fatores locais e sazonais específicos. Recomenda-se, portanto, investigações futuras que incorporem uma abordagem mais abrangente, englobando diferentes cenários operacionais e ambientais.

Este estudo forneceu uma base sólida para a compreensão do desempenho comparativo entre o sistema de Fluxo Contínuo e de Lodos Ativados por Batelada. A decisão entre esses sistemas não deve ser considerada como uma escolha única e universal, mas sim como uma decisão estratégica baseada nas características específicas de cada aplicação. A contínua evolução e aprimoramento dessas tecnologias são cruciais para atender às crescentes demandas por soluções sustentáveis de tratamento de esgoto, contribuindo assim para a preservação ambiental e a promoção da saúde pública.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209/1992 - Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16783:2019 - Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969:1997 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. 1997.

Ashbolt, N. J., Grabow, W. O. K., & Snozzi, M. (Eds.). (2015). Assessing Microbial Safety of Drinking Water: Improving Approaches and Methods. IWA Publishing.

Brasil. (1997). Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm].

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (2005). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. [<https://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>].

Eckenfelder, W. W. (2000). Principles of environmental treatment processes. Water Quality and Treatment Library.

EEA - EMPRESA DE ENGENHARIA AMBIENTAL. Companhia Ultragaz S/A - Capuava. Disponível em: <https://eea.eng.br/cases/companhia-ultragaz-s-a-1-1>. Acesso em: 25 out. 2023.

EEA - EMPRESA DE ENGENHARIA AMBIENTAL. Condumax - Eletro Metalúrgica Ciafundi. Disponível em: <https://eea.eng.br/cases/condumax-eleto-metalurgica-ciafundi>. Acesso em: 25 out. 2023.

Kalyuzhnyi, S., Gladchenko, M., Epov, A., Gavala, H. N., Angelidaki, I., & Boulyshev, A. (2006). Main tendencies in the development of biogas production and utilization. Bioresource Technology, 97(6), 1116-1122.

Mara, D. D., & Pearson, H. W. (1998). Design manual for wastewater treatment works (Vol. 1). IWA publishing.

Metcalf, Eddy. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill Education.

Sutherland, B. J., Toor, G. S., & Chrysikopoulos, C. V. (2017). Emerging organic contaminants in water and wastewater: Occurrence and treatment. In *Advances in Water Purification Techniques* (pp. 21-44). Springer.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2002). Wastewater engineering: treatment and reuse. Metcalf & Eddy, Inc.

Von Sperling, M. (2007). Introduction to Wastewater Treatment Processes. IWA Publishing.