



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS – DTCS -
CAMPUS III - JUAZEIRO
COLEGIADO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS E BIOTECNOLOGIA

CAIO RODRIGO ANDRADE VIEIRA

**EFICIÊNCIA DA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES SANITÁRIOS**

JUAZEIRO-BA
2023

CAIO RODRIGO ANDRADE VIEIRA

**EFICIÊNCIA DA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES SANITÁRIOS**

Trabalho de conclusão de curso a ser apresentado ao Colegiado de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade do Estado da Bahia – UNEB Campus III, como requisito parcial para avaliação da disciplina de Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.

Orientadora: Profa. Dra. Gabriela Macêdo Aretakis de Almeida.

JUAZEIRO-BA
2023

Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais - DTCS - UNEB

Ata de Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia

No dia 15 do mês de dezembro do ano de dois mil e um e três, às 08:00 h, reuniu-se a banca examinadora do projeto apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia do discente CAIO RODRIGO AMARAL VIEIRA, intitulado: EFICIÊNCIA DA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFUENTES SANITÁRIOS. Compuseram a banca examinadora os professores abaixo relacionados. Após a exposição oral, o candidato foi arguido pelos componentes da banca que se reuniram reservadamente e decidiram pelo conceito de "aprovada(o)" / () "reprovada(a)", com média final de 9,7 para o Trabalho de Conclusão de Curso. Para constar, redigi a presente Ata, que aprovada por todos os presentes, vai assinada por mim, Orientador, e pelos demais membros da banca.

Nome Orientador/ Titulação: Dra Gabriela Macedo Azevêdo de Amorim	Instituição/ vínculo: UNEB	Assinatura:
Nome/ Titulação Titular 2: Dra Lúcia Pereira Gonçalves	Instituição / vínculo: UNEB	Assinatura:
Nome/ Titulação Titular 3: Dr. Rômulo Batista Vieira.	Instituição/ vínculo: UNEB	Assinatura:
Prof. Responsável pela disciplina - Dra Gabriela Macedo Azevêdo de Amorim - Dra Lúcia Pereira Gonçalves	UNEB / Coordenador da disciplina de TCC	Assinatura: - Gabriela Macedo Azevêdo de Amorim - Lúcia Pereira Gonçalves

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1 Geral	10
2.2 Específicos	10
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
3.1 Tratamento de efluentes sanitários	10
3.2 Lagoa de estabilização	12
3.3 Legislação ambiental aplicada aos efluentes	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1 Área de estudo	14
4.2 Pontos de monitoramento	17
4.3 Descrição dos métodos de coleta – Controle de qualidade	17
4.4 Métodos Analíticos	19
4.5 Análise de eficiência da Lagoa de estabilização	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1 Entrada da Lagoa de estabilização	21
5.2 Saída da Lagoa de estabilização.....	22
5.3 Eficiência da Lagoa de estabilização	23
6. CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

RESUMO

O tratamento de efluentes sanitários é um processo fundamental para remover contaminantes, reduzir a carga orgânica e proteger a qualidade da água. Nesse sentido, o trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da lagoa de estabilização facultativa no tratamento de efluentes sanitários de um complexo minero-industrial no nordeste do Brasil. As amostras foram realizadas mensalmente, em pontos localizados na entrada e saída da lagoa de estabilização. Os parâmetros analisados foram Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Fósforo Total, Nitrogênio Total, Coliformes Termotolerantes e Totais, Potencial Hidrogeniônico, Sólidos Sedimentáveis e metais. Para avaliar a eficiência da lagoa de estabilização, foram realizados cálculos de eficiência. Todos os parâmetros avaliados mostraram conformidade com a legislação brasileira vigente. Após análises de eficiência, constatou-se a boa eficiência da lagoa de estabilização, destacando-se os parâmetros de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (82,67%), Sólidos Suspensos (97,23%), e Coliformes Termotolerantes (95,20%). O monitoramento e gestão responsável de estações de tratamento são essenciais para o cuidado ambiental e manutenção dos padrões de qualidade em conformidade com a legislação. Tais resultados consolidam a lagoa como componente importante para o tratamento de efluentes sanitários, e reforçam a importância do compromisso de empreendedores com as questões socioambientais.

Palavras-chave: Qualidade de água; legislação ambiental; CONAMA.

ABSTRACT

Sanitary effluent treatment is a fundamental process to remove contaminants, reduce organic load and protect water quality. In this sense, the work aimed to evaluate the efficiency of the optional stabilization lagoon in the treatment of sanitary effluents from a mining-industrial complex in northeastern Brazil. Samples were taken monthly, at points located at the entrance and exit of the stabilization pond. The parameters analyzed were Chemical Oxygen Demand, Biochemical Oxygen Demand, Total Phosphorus, Total Nitrogen, Thermotolerant and Total Coliforms, pH, Settleable Solids and metals. To evaluate the efficiency of the stabilization pond, efficiency calculations were carried out. All parameters evaluated showed compliance with current Brazilian legislation. After efficiency analyses, the good efficiency of the stabilization pond was verified, highlighting the removal parameters of Biochemical Oxygen Demand (82.67%), Suspended Solids (97.23%), and Thermotolerant Coliforms (95.20%). Monitoring and responsible management of treatment plants are essential for environmental care and maintaining quality standards in accordance with legislation. Such results consolidate the lagoon as an important component for the treatment of sanitary effluents, and reinforce the importance of entrepreneurs' commitment to socio-environmental issues.

Key-words: Water quality; environmental legislation; CONAMA.

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

As – Arsênio

CAEs - Comissões de Acompanhamento dos Empreendimentos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

Cr – Cromo

Cu – Cobre

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE - Estação de Tratamento de Efluentes

Fe – Ferro

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

INEMA - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Ni – Níquel

Pb – Chumbo

pH - Potencial Hidrogeniônico

SS – Sólidos Suspensos

US EPA – United States Environmental Protection Agency

Zn - Zinco

1. INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas têm desencadeado um aumento nos impactos negativos aos recursos naturais. A poluição dos corpos d'água, por exemplo, originada pelo descarte inadequado de matéria e/ou energia, provoca alterações nas características naturais do corpo receptor, com potencial impacto na biota (Nagalli; Nemes, 2009). Dessa forma, a qualidade da água em resposta à descarga de efluentes industriais e domésticos é influenciada pelas propriedades físicas, químicas e biológicas, bem como pela natureza das substâncias liberadas (Nagalli; Nemes, 2009).

Nesse sentido, os esgotos são classificados em dois grupos principais: esgotos sanitários e esgotos industriais, sendo a maior parte do esgoto sanitário originada de efluentes domésticos gerados por aparelhos sanitários, lavanderias, cozinhas, chuveiros ou qualquer dispositivo que utilize água para fins domésticos (Lins, 2010). Apesar das variações nas características das águas, nos costumes e nas condições econômicas da população, os efluentes domésticos apresentam características semelhantes (Lins, 2010).

Em vista disso, o tratamento inadequado ou a ausência de tratamento de efluentes sanitários pode resultar na contaminação dos corpos hídricos, acarretando uma série de problemas para a saúde humana, devido à presença de bactérias, parasitas e vírus na água residuária (Menezes; Ramos, 2018). Considerando que a geração de efluentes é inevitável, é crucial proporcionar um tratamento adequado, considerando os diversos tipos de efluentes, sejam líquidos ou gasosos (Beltrame, *et al.*, 2016).

Por conseguinte, diante da importância do tratamento dos efluentes, seus processos são categorizados em quatro etapas: preliminar, primária, secundária e terciária, visando a remoção de sólidos grosseiros, sólidos sedimentáveis, matéria orgânica e, eventualmente nutrientes e poluentes específicos. A Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece condições e padrões para o lançamento de efluentes, enfatizando que o lançamento só é permitido após o devido tratamento, em conformidade com as normas aplicáveis (Brasil, 2011).

Nessa conjuntura, as lagoas de estabilização são apresentadas como uma alternativa tecnológica simples e economicamente acessível para o tratamento de efluentes (Von Sperling, 2002). Com eficácia notável e custos

operacionais reduzidos, esses sistemas concentram-se na remoção de matéria orgânica carbonácea (Von Sperling, 2002). Dessa forma, o presente trabalho visa avaliar a eficiência da lagoa de estabilização no tratamento dos resíduos sanitários de um complexo minero-industrial no nordeste do Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a eficiência da lagoa de estabilização no tratamento de efluentes sanitários de um complexo minero-industrial no nordeste do Brasil.

2.2 Específicos

- Analisar parâmetros físico-químicos da água da lagoa de estabilização;
- Avaliar o enquadramento dos parâmetros obtidos de acordo com a legislação pertinente;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Tratamento de efluentes sanitários

O desenvolvimento e crescimento da população têm contribuído para o aumento das aglomerações, resultando em poluição e contaminação do solo, ar e recursos hídricos. Conforme observado por Leme (2008), o lançamento de efluentes sem tratamento em corpos d'água pode causar vários danos, como variação de cor, odor forte, turbidez e presença de nutrientes.

Von Sperling (2007) destaca que o descarte inadequado de efluentes sanitários pode levar a efeitos prejudiciais, como a mortandade de peixes, crescimento excessivo de algas, poluição da água subterrânea, doenças transmitidas pela água e toxicidade a plantas. A contaminação resultante dessas águas residuais, quando despejadas no meio ambiente sem tratamento adequado, representa uma ameaça significativa à natureza e à saúde humana (VGR, 2018).

O manejo inadequado ou a falta de tratamento de águas residuais sanitárias pode conduzir à poluição de recursos hídricos, acarretando potenciais ameaças à saúde humana devido à presença de microrganismos patogênicos

(Menezes; Ramos, 2018). Portanto, é crucial realizar o tratamento adequado das águas residuais antes de seu descarte nos corpos d'água, não apenas para prevenir a contaminação do corpo receptor, mas também para preservar a qualidade da água que abastece as cidades.

Nesse contexto, Pires, Silva e Monteiro (2015) ressaltam a importância do tratamento de águas residuárias, destacando que tal processo não apenas evita a propagação de doenças e vetores, mas também preserva os mananciais, reduz os custos com o tratamento de água e promove hábitos de higiene na população. O destino apropriado das águas residuárias não tratadas não só contribui para o conforto estético, mas também para a promoção da saúde humana e a preservação do meio ambiente.

Um sistema de tratamento de efluentes consiste em uma sequência de etapas e processos destinados à remoção de substâncias indesejáveis da água ou à sua transformação em uma forma que esteja em conformidade com a legislação ambiental. Os principais processos de tratamento são categorizados em grupos distintos, abrangendo os processos físicos, químicos e biológicos (Projeto Município Verde, 2012).

Conforme destacado por Nunes (2008), as estações de tratamento de efluentes convencionais geralmente passam por quatro etapas distintas:

1. Tratamento Preliminar: Envolve a retenção de materiais grosseiros, flutuantes e sedimentos minerais. Esta fase faz uso de grades, desarenadores (caixa de areia), caixas para retenção de óleo e gordura, além de peneiras.
2. Tratamento Primário: Foca na remoção de matéria orgânica em suspensão. Os processos incluem decantação primária, precipitação química, flotação e neutralização.
3. Tratamento Secundário: Concentra-se na separação da matéria orgânica dissolvida e em suspensão. Métodos conhecidos nesta etapa são lagoas de estabilização, lodo ativado, sistemas anaeróbios eficientes na remoção do carbono orgânico, filtros biológicos, lagoas aeradas e precipitação química.
4. Tratamento Terciário: Aplicado quando se busca um efluente de alta qualidade ou a remoção de outras substâncias nas águas residuais.

Pode envolver adsorção de carvão ativado, osmose inversa, eletrodialise, troca iônica, filtros de areia, remoção de nutrientes, oxidação química e eliminação de organismos patogênicos.

No contexto específico de efluentes sanitários, Colares e Sandri (2013) destacam a variedade de formas de tratamento e destinações apropriadas, cada uma com eficiências e custos distintos. Eles ressaltam a importância de uma análise e planejamento específicos para aplicar, desenvolver ou adaptar tecnologias existentes de tratamento de acordo com as condições locais. O tratamento de efluentes sanitários, segundo Tiraboschi (2004), visa estabilizar a matéria orgânica, transformando-a em inorgânica e removendo microrganismos patogênicos. Os principais processos utilizados incluem lagoas facultativas, filtros aeróbios, reatores anaeróbios e aeróbios, lodos ativados e sistemas de disposição no solo (Von Sperling, 2007). Embora o modo anaeróbico seja eficiente em economizar espaço, Calijuri (2009) destaca sua limitação na remoção de matéria orgânica.

3.2 Lagoa de estabilização

Existem diversos sistemas de tratamento de esgoto que empregam lagoas, e os sistemas de lagoas de estabilização são considerados formas mais simplificadas de tratar efluentes, apresentando variáveis diversas e diferentes níveis operacionais. Os principais sistemas de lagoa de estabilização são: lagoas facultativas, lagoas aeradas-facultativas, lagoas aeradas de mistura completa, e lagoas de maturação (Von Sperling, 2002).

As lagoas facultativas são configuradas de maneira simples e de fácil gestão, aproveitando-se apenas de fenômenos naturais de degradação microbiológica. Esse processo é gradual, levando vários dias, durante os quais ocorre a estabilização da matéria orgânica presente no esgoto. A estabilização refere-se ao estado em que a matéria orgânica é decomposta pelas bactérias até seus compostos mais simples (Vasconcelos, 2016).

O sistema de lagoas aeradas é uma alternativa de tratamento de esgoto que demanda menos espaço quando comparado às lagoas de estabilização sem aeração. Embora apresente um custo mais elevado devido ao consumo de

energia elétrica, as lagoas aeróbias facultativas oferecem maior eficiência, ausência de crescimento de algas e menor exigência de área. Entre as desvantagens, destaca-se o maior consumo de energia elétrica (Nasraui, 2016).

As lagoas aeradas de mistura completa demonstram eficiência ao garantir a oxigenação, dispersando os sólidos em suspensão e a biomassa na massa líquida. No entanto, o efluente resultante contém uma quantidade significativa de sólidos suspensos, exigindo a passagem por outros processos para remover esse material antes do lançamento em corpos hídricos (BDTA, 2019).

Já as lagoas de maturação desempenham um papel crucial como processo biológico de refinamento após tratamento inicial por lagoas ou outros métodos biológicos. Elas reduzem a presença de bactérias, sólidos em suspensão, nutrientes e uma fração negligenciável da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (BDTA, 2019).

3.3 Legislação ambiental aplicada aos efluentes

Empresas e entidades públicas realizam ações de monitoramento da qualidade da água em rios e efluentes, uma exigência de diversos órgãos de fiscalização como a Vigilância Sanitária, ANA/ANEEL e, no Estado da Bahia, o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA). Atividades com potencial efeito poluidor dos recursos hídricos estão sujeitas às resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011.

A resolução CONAMA nº 430/2011, que complementa e altera a resolução nº 357, estabelece as condições e padrões para o lançamento de efluentes. Essa resolução desempenha um papel crucial na manutenção dos padrões dos recursos hídricos, visando garantir que os lançamentos de esgoto estejam em conformidade com valores que o meio ambiente possa sustentar.

Para o lançamento direto nos corpos receptores, os efluentes de fontes poluidoras devem apresentar pH entre 5 e 9, temperatura inferior a 40 °C, materiais sedimentáveis até 1 mL/L, óleos minerais até 20 mg.L⁻¹, óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg.L⁻¹, ausência de materiais flutuantes e remoção mínima de 60% de DBO. Além disso, são avaliados 21 parâmetros inorgânicos, incluindo 14 metais, e 10 parâmetros orgânicos, dos quais 5 são compostos aromáticos (Brasil, 2011).

Para os efluentes de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, as condições para pH, temperatura, materiais sedimentáveis e flutuantes são as mesmas. Contudo, é estabelecido um limite de 120 mg.L^{-1} para a DBO ou tratamento com eficiência de remoção mínima de 60%. Adicionalmente, as substâncias solúveis em hexano, como óleos e graxas, podem atingir o limite de 100 mg.L^{-1} . A critério do órgão ambiental, podem ser exigidos os 21 parâmetros inorgânicos, exceto nitrogênio amoniacal total, e os 10 parâmetros orgânicos. A resolução destaca também que: “Os efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários poderão ser objeto de teste de ecotoxicidade no caso de interferência de efluentes com características potencialmente tóxicas ao corpo receptor.” (Brasil, 2011).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A atividade será conduzida em uma estação de tratamento de efluentes sanitários situada dentro de uma instalação industrial no segmento de mineração.

A instalação industrial está situada na região de Pilar, que constitui um Distrito no município de Jaguarari, abrigando cerca de 20.000 habitantes e situando-se na região Norte da Bahia, a uma distância de 487 km de Salvador (Soriano, 2018). O distrito de Pilar teve sua origem sob o nome de Cidade Nova Caraíba no final da década de 1970, sendo estabelecido como um suporte habitacional destinado aos trabalhadores da empresa Mineração Caraíba, como era denominada a instalação industrial selecionada para esta pesquisa nesta época (Soriano, 2018), atualmente denominada EroBrasil Caraíba.

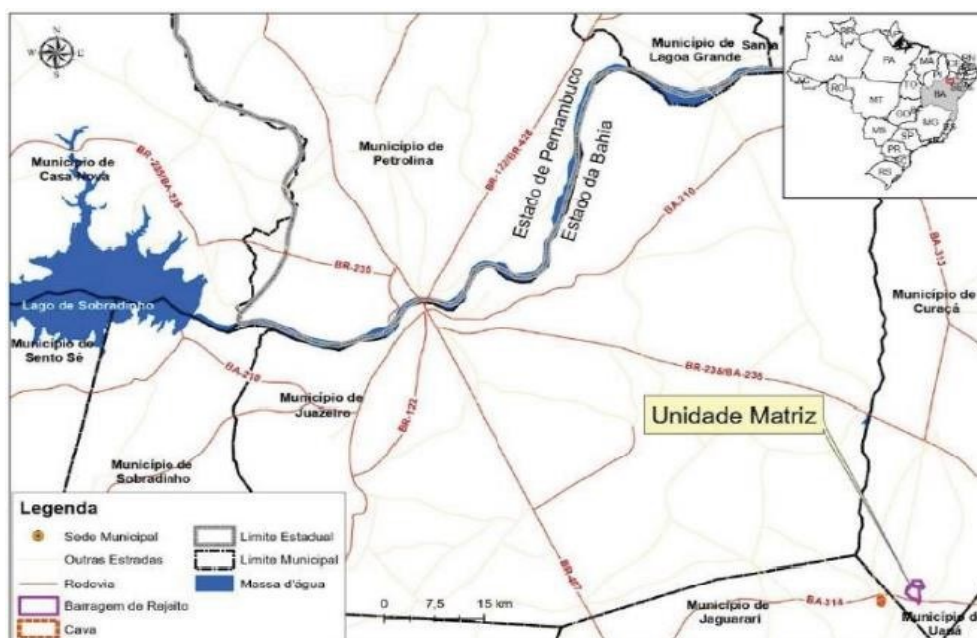
Demonstrando uma organização eficiente, o Distrito (Figura 1) tem sua principal fonte de sustento vinculada à atividade mineradora conduzida pela EroBrasil Caraíba (Figura 2). Além disso, outras atividades como agricultura, pecuária e comércio também desempenham papéis significativos em sua economia (Soriano, 2018).

Figura 1: Fotografia aérea do Distrito de Pilar, município de Jaguarari, Bahia, Nordeste do Brasil.



Fonte: Henrique.visuals, 2023.

Figura 2: Mapa indicando a localização da área de estudo.



Fonte: Hidrogeo, 2019.

A Caraíba consiste em atividades de mineração e instalações de processamento totalmente integradas, incluindo as minas subterrâneas de Pilar e Vermelhos e a mina a céu aberto de Surubim. Juntos, esse complexo oferece

potencial de exploração em aproximadamente 185.000 hectares (EroBrasil, 2022).

Ao longo dos anos, por meio de esforços de exploração bem-sucedidos, foi expandido gradualmente a vida útil das minas da Unidade Operacional Caraíba para aproximadamente 20 anos, com produção média anual de mais de 45.000 toneladas de cobre (EroBrasil, 2022).

As análises de eficiência foram realizadas na Lagoa de Estabilização da EroBrasil Caraíba (Figura 3), que apresenta profundidade de 1,5 m em toda a sua área, com 0,5m de bordo livre, comprimento de 149m e largura de 44m. Esta lagoa se enquadra como lagoa de estabilização do tipo facultativa. Nas lagoas do tipo facultativas ocorrem 03 rotas metabólicas de tratamento para a degradação da matéria orgânica carbonácea de maneira estratificada em 03 zonas de profundidade da lagoa (Von Sperling, 2002).

Figura 3: Lagoa de estabilização da Estação de Tratamento de Efluentes da Mineradora EroBrasil Caraíba, município de Jaguarari, Bahia, Nordeste no Brasil.



Fonte: A autoria própria, 2023.

A educação ambiental na EroBrasil Caraíba é inspirada no cuidado e respeito a todos. A empresa realiza o trabalho internamente com ações de preservação, recuperação de áreas e momentos de sensibilização para

colaboradores na adoção de práticas responsáveis para a preservação do meio ambiente. Há ações educativas na empresa, nas comunidades das áreas de influência dos empreendimentos em parceria com as escolas municipais, estaduais e Comissões de Acompanhamento dos Empreendimentos (CAEs). São realizadas várias ações educativas alinhadas aos requisitos da sustentabilidade (EroBrasil, 2022).

4.2 Pontos de monitoramento

Os pontos de monitoramento para efluentes sanitários estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Pontos de Coleta de Monitoramento Ambiental da Qualidade da Água.

Código	Referência	Tipo	Coordenadas UTM/ SIRGAS 2000, FUSO 24 SUL	
			X	Y
MA PC AE - 04	Saída da Lagoa de Estabilização	Efluente	405118	8909324
MA PC AE - 05	Entrada da Lagoa de Estabilização	Efluente	405182	8909236

Fonte: Aatoria própria, 2023.

4.3 Descrição dos métodos de coleta – Controle de qualidade

Foram coletadas amostras simples do efluente bruto no ponto de entrada da lagoa (A) e no ponto de saída da lagoa (B) (Figura 4). As diretrizes para coleta das amostras para cada parâmetro analisado seguiram rigorosamente as determinações do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Ed.” (APHA, 2017).

Todo pessoal envolvido na amostragem utilizou luvas nitrílicas sem talco e novas durante todo procedimento e trocadas a cada ponto amostral. A frascaria foi previamente preparada e identificada em laboratório, com códigos totalmente rastreáveis (Figura 5). As fichas de coleta foram preenchidas em campo e encaminhadas juntamente com as amostras, contendo as seguintes informações: Nome dos técnicos responsáveis pela coleta; Número de

identificação da amostra; Identificação do ponto de amostragem (código do ponto, endereço, data e hora da coleta); Natureza da amostra; Tipo de amostra; Eventuais observações de campo; Condições meteorológicas nas últimas 24 horas que possam interferir com a qualidade da água (chuvas); Indicação dos parâmetros a serem analisados; Equipamentos utilizados.

As amostras foram coletadas diretamente nos pontos supracitados, e em seguida foram transferidas para os recipientes de coleta previamente identificados e refrigeradas imediatamente (Figura 6).

Durante a coleta foram utilizados utensílios descartáveis, para evitar alterações nas características das amostras. Foram utilizados recipientes adequados a cada tipo de análise. Como o recipiente coletor foi reutilizado em diferentes pontos de coleta, foi realizada lavagem, entre uma coleta e outra.

Figura 4 - Pontos de Coleta – À esquerda, entrada da lagoa (A), à direita, saída da lagoa (B).



Fonte: Autoria própria, 2023

Figura 5 – Separação da frascaria para as amostras contendo os códigos referentes aos parâmetros avaliados para qualidade da água nos pontos de entrada e saída da lagoa de estabilização.



Fonte: Aatoria própria, 2023.

Figura 6 – Recipientes pré-preparados para coleta, procedimento de coleta e armazenamento.



Fonte: Aatoria própria, 2023.

4.4 Métodos Analíticos

Para avaliar a eficiência da Lagoa de Estabilização da estação de tratamento de efluentes sanitários da Mineradora EroBrasil Caraíba, foram realizadas análises das amostras coletadas na entrada e saída da lagoa, dos parâmetros de DQO - Demanda Química de Oxigênio, DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio, Fósforo Total e Nitrogênio Total, Coliformes Termotolerantes e Coliformes totais de maneira trimestral. Além disso, foram realizadas análises mensais dos parâmetros, pH, Sólidos Sedimentáveis, e os metais As, Ni, Zn, Cu, Fe, Pb e Cr, atendendo a condicionante exigida pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA).

As análises laboratoriais foram realizadas de acordo com o SMEWW – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23^a Edição (2017), internacionalmente reconhecido e adotado pelos laboratórios certificados e órgãos de controle ambiental.

4.5 Análise de eficiência da Lagoa de estabilização

Para avaliar a eficiência da lagoa de estabilização, os parâmetros analisados foram comparados com parâmetros da resolução CONAMA n° 430/2011, que estabelece valores de referência para o lançamento de efluentes

de esgoto sanitário, e com os parâmetros de eficiência de lagoas de estabilização facultativas, indicados por Von Sperling (2007).

O cálculo da eficiência para cada parâmetro avaliado foi medido pela diferença dos resultados das concentrações encontradas de maneira percentual entre os valores obtidos nas amostras de entrada e saída.

A expressão utilizada para cálculo é:

$$\text{Eficiência (\%)} = 100 - (\text{saída da lagoa} \times 100 / \text{entrada da lagoa})$$

Na literatura de Von Sperling (2007) são apresentadas as faixas típicas de eficiência das lagoas facultativas para parâmetros de qualidade (Tabela 2), que serão comparados com os dados obtidos nesta pesquisa. Enquanto a resolução CONAMA 430/11 apresenta os valores limites para os metais que serão comparados com os dados obtidos nesta pesquisa (Tabela 3).

Tabela 2 – Eficiência de lagoas facultativas de acordo com Von Sperling (2007).

Parâmetro	Eficiência (%)
DBO	75-85
DQO	65-80
SÓLIDOS SUSPENSOS	70-80
NITROGÊNIO	<60
FÓSFORO	<30
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	90-99

Fonte: Adaptado (VON SPERLING, 2007).

Tabela 3 – Limite máximo permitido de acordo com a Resolução CONAMA 430/11.

Parâmetro	Resolução CONAMA 430/11	Unidade
pH	5 a 9	-
DQO	*	mgO ₂ /L
S. Suspensos	*	mg.L ⁻¹
Cr	1	mg.L ⁻¹
Pb	0,5	mg.L ⁻¹
As	0,5	mg.L ⁻¹
Fe	15	mg.L ⁻¹

Cu	1	mg.L ⁻¹
Zn	5	mg.L ⁻¹
Ni	2	mg.L ⁻¹

* Sem valor limite na Resolução CONAMA 430/11

Fonte: CONAMA, 2011.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a elaboração da proposta, e diante das referências encontradas na literatura citada, bem como o padrão de eficiência informado no Art. 21, da resolução CONAMA 430/11, que complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que trata sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, foi realizada a análise da eficiência da lagoa de estabilização da Caraíba.

5.1 Entrada da Lagoa de estabilização

Na Tabela 4, que corresponde à entrada da lagoa, os valores dos parâmetros pH, DQO, S. Suspensos, e os metais As, Ni, Zn, Cu, Fe, Pb e Cr estão todos dentro dos limites permitidos na legislação, estando em conformidade com os padrões de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/11 (Brasil, 2011).

Tabela 4 – Resultados dos Monitoramentos da Entrada da Lagoa de Estabilização.

2023 Meses	Resolução CONAMA 430/11	pH	DQO	S. Suspe nsos	Cr	Pb	As	Fe	Cu	Zn	Ni
		5 a 9			1,0	0,5	0,5	15,0	1	5	2
		Unidade	-	mgO2/L	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹
Janeiro		6,2	240	1360	0,0151	0,01	0,01	5,440	0,474	0,077	0,018
Fevereiro		6,4	775	414	0,0307	0,01	0,01	6,970	0,566	0,147	0,028
Março		6,4	474	93	0,0177	0,01	0,01	4,810	0,363	0,090	0,026
Abril		7,0	175	180	0,0147	0,01	0,01	3,300	0,370	0,034	0,017
Maio		6,7	415	402	0,1290	0,01	0,01	0,638	0,038	0,280	0,118
Junho		7,0	235	30	0,0111	0,01	0,01	2,950	0,242	0,022	0,013
Julho		7,3	305	1186	0,1760	0,01	0,01	1,910	0,125	0,224	0,185
Agosto		7,1	324	670	0,0291	0,01	0,01	5,380	0,588	0,087	0,027
Setembro		7,1	322	238	0,0234	0,01	0,01	3,200	0,305	0,045	0,027
Outubro		7,6	248	54	0,0100	0,01	0,01	0,207	0,008	0,060	0,010

Novembro	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Dezembro	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

*Sem resultado

5.2 Saída da Lagoa de estabilização

Na Tabela 5, referente à saída da lagoa, os valores dos parâmetros pH, DQO, S. Suspensos, e os metais As, Ni, Zn, Cu, Fe, Pb e Cr estão todos abaixo dos limites máximos permitidos. Isso indica que estão em conformidade com os padrões de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/11 (Brasil, 2011).

Tabela 5 – Resultados dos Monitoramentos da Saída da Lagoa de Estabilização.

2023 Meses	Resolução CONAMA 430/11	pH	DQO	S. Suspe nsos	Cr	Pb	As	Fe	Cu	Zn	Ni
		5 a 9			1,0	0,5	0,5	15,0	1	5	2
	Unidade	-	mgO ₂ /L	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹
Janeiro		5,99	32,47	10	0,013	0,01	0,01	3,39	0,271	0,081	0,016
Fevereiro		6,90	89,4	5	0,010	0,01	0,01	0,68	0,046	0,153	0,010
Março		6,95	107	5	0,010	0,01	0,01	0,52	0,027	0,021	0,010
Abril		6,81	25	10	0,010	0,01	0,01	0,94	0,119	0,023	0,021
Mai		6,83	150	6	0,010	0,01	0,01	0,22	0,024	0,061	0,010
Junho		6,93	92	12	0,010	0,01	0,01	0,25	0,032	0,045	0,010
Julho		7,49	115	14	0,010	0,01	0,01	0,40	0,086	0,031	0,010
Agosto		8,40	146	63	0,010	0,01	0,01	0,27	0,013	0,069	0,010
Setembro		7,49	106	13	0,010	0,01	0,01	0,43	0,043	0,095	0,010
Outubro		7,68	101	13	0,010	0,01	0,01	0,05	0,005	0,022	0,010
Novembro		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Dezembro		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

*Sem resultado

Segundo Costa (2007), o pH tem grande interferência nas águas residuais, sendo bastante necessário para poder determinar as formas de tratamento, pois irá auxiliar na remoção de certos poluentes que se complexam e assim precipitam, conforme a faixa apresentada.

De acordo com a pesquisa conduzida por Moraes e Santos (2019), observa-se que, no que diz respeito ao parâmetro DQO, a legislação federal não estabelece um limite máximo permitido, conferindo maior autonomia aos estados e permitindo que estes adotem padrões mais alinhados com suas realidades ambientais e econômicas.

Quanto ao parâmetro de Sólidos Sedimentáveis, também não há uma concentração limite definida pela legislação federal. Morais e Santos (2019) argumentam que, dependendo do estado, pode-se encontrar um limite de concentração de 100 mgSS/L.

É importante salientar que a prática de realizar análises mensais desses parâmetros ambientais é crucial para assegurar a manutenção do licenciamento de operação da lagoa e para cumprir as condicionantes impostas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA). Além disso, ao seguir os requisitos da Resolução CONAMA nº 430/2011, que define os padrões para o lançamento de efluentes de esgoto sanitário, a gestão ambiental demonstra um compromisso efetivo com a preservação da qualidade da água, saúde pública e proteção dos ecossistemas aquáticos.

5.3 Eficiência da Lagoa de estabilização

A Tabela 6 exibe os resultados adquiridos ao longo da campanha de monitoramento no período analisado, contemplando os valores de eficiência, entrada e saída para cada parâmetro monitorado.

Na Tabela 7 é apresentado a comparação dos valores de eficiência características de lagoas facultativas, segundo Von Sperling (2007), com os valores de eficiência das médias de entrada e saída de cada parâmetro monitorado.

No que se refere a remoção da matéria orgânica carbonácea, o tratamento de lagoa de estabilização está adequado, pois as concentrações de DBO estão inferiores a 120 mg.L^{-1} , que representa o limite preconizado na Resolução CONAMA 430/11. A remoção de DBO está acima de 60%, alcançando eficiência satisfatória de 82,67% (Tabela 7).

Com relação à DQO - Demanda Química de Oxigênio, a redução alcançou 77,03%, o que representa uma eficiência satisfatória, diante da margem padrão de eficiência 65-80% (Tabela 7).

Para o parâmetro sólidos suspensos, a análise indicou uma redução de 97,23%, o que confirma uma ótima eficiência de redução para o parâmetro avaliado (Tabela 7).

A seguir, os parâmetros nitrogênio e fósforo estão adequados com a margem de eficiência. O primeiro apresentou resultado de -36,41, sendo o padrão de eficiência <60; o segundo apresentou resultado de -18,83, sendo o padrão de eficiência <30 (Tabela 7).

No caso dos coliformes termotolerantes, a remoção ficou em 95,20%, sendo excelente, dentro da margem padrão de eficiência 90-99% (Tabela 7).

Tabela 6 - Resultados das Análises da Lagoa de Estabilização de Efluentes Sanitários, entrada, saída e sua eficiência. DBO, Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO, Demanda Química de Oxigênio; Nitrogênio Total; Fósforo Total; Coliformes Termotolerantes; Coliformes Totais e Sólidos Suspensos.

2023	Lagoa de dejetos sanitários	Demanda Bioquímica de Oxigênio	Demanda Química de Oxigênio	Nitrogênio Total	Fósforo Total	Coliformes Termotolerantes	Coliformes Totais	Sólidos Suspensos
1º Trimestre	Entrada	240	720,83	44	7,4	2420000	2420000	1360
1º Trimestre	Saída	32,47	91,67	56,49	6	770000	1200000	10
1º Trimestre	Eficiência (%)	86,47	87,28	-28,39	18,92	68,18	50,41	99,26
2º Trimestre	Entrada	63,29	175	49,1	5,7	16000000	16000000	180
2º Trimestre	Saída	2	25	46,83	5,7	160000	160000	10
2º Trimestre	Eficiência (%)	96,84	85,71	4,62	0	99	99	94,44
3º Trimestre	Entrada	73,1	305	46,5	4,55	2420000	2420000	1186
3º Trimestre	Saída	32,5	115	68,5	7,98	185000	649000	14
3º Trimestre	Eficiência (%)	55,54	62,3	-47,31	-75,38	92,36	73,18	98,82
4º Trimestre	Entrada	114	248	36,2	4,59	2420000	2420000	54
4º Trimestre	Saída	18	101	68	6,75	1000	5200	13
4º Trimestre	Eficiência (%)	84,21	59,27	-87,85	-47,06	99,96	99,79	75,93
Unidade de medida	-	mgO ₂ /L	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	NMP/100mL	NMP/100mL	mg.L ⁻¹

Tabela 7 – Comparação dos valores de eficiência características de lagoas facultativas com os valores de eficiência dos parâmetros analisados.

Parâmetro	Eficiência (%) – Literatura (Von Sperling - 2007)	Eficiência (%) - Resultado
DBO	75-85	82,67
DQO	65-80	77,03
SÓLIDOS SUSPENSOS	70-80	98,30
NITROGÊNIO	<60	- 36,41

FÓSFORO	<30	-18,83
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	90-99	95,20

Segundo Osmar (2022), a lagoa facultativa pode propiciar eficiência na remoção de DBO, superior a 80%, quando em condições normais de funcionamento e operação. Costa (2007), estimou a eficiência esperada no nível de tratamento secundário, onde se encontra a lagoa facultativa, para DBO, entre 80-95%.

Em um estudo realizado sobre o desempenho e influência das condições ambientais e operacionais de lagoas de estabilização, com base em um banco de dados internacionais, Cordero (2016) avaliou que as lagoas facultativas demonstraram eficiências na remoção de DBO de 78% (mediana), ligeiramente abaixo do resultado de 80,2% obtido por Sánchez e Matsumoto (2012), mas superior à eficiência de 71% alcançada por Silva et al. (2010). O valor de 78% também se enquadra nas faixas estabelecidas por Mara e Spearman (1998d), US EPA (2011), Jordão e Pessôa (2014).

Em seguimento, segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1 (COPAM-MG, 2008), o tratamento com eficiência de redução de DQO tem que ter mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65% para sistemas de esgotos sanitários.

FUNASA (2011) avaliou a operação e eficiência de lagoas de estabilização no estado do RN. No que diz respeito à Demanda Química de Oxigênio (DQO), a ETE Ponta Negra apresentou as menores taxas de remoção, tanto na lagoa facultativa primária (32%) quanto no total (51%). Em contrapartida, a ETE Pipa destacou-se como o sistema mais eficiente, alcançando remoções de 63% e 73%, respectivamente.

Cordero (2016) também abordou sólidos suspensos na sua pesquisa, encontrando a mediana total obtida em lagoa facultativa de 53%, resultando em uma maior eficiência a que obtida por Sánchez e Matsumoto (2012) de 43%, porém o valor está fora da faixa estabelecida por Jordão e Pessôa (2014) entre 70% e 80%.

É importante salientar que o tratamento secundário com lagoas facultativas tem eficiência e concentra-se na separação da matéria orgânica

dissolvida e em suspensão. Quando se busca um efluente de alta qualidade ou a remoção de outras substâncias, como nitrogênio e fósforo, aplica-se o tratamento terciário (Nunes, 2008).

Nesse sentido, os valores negativos do presente trabalho, indicam que esses elementos foram encontrados em maiores proporções na saída do que na entrada, porém, essa relação não implicou na eficiência da lagoa, visto os resultados obtidos.

Segundo Von Sperling (2007), o nitrogênio é um nutriente essencial para os microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgoto. Este mesmo autor destaca que o fósforo pode ser um nutriente essencial para o crescimento das algas, uma vez que necessitam deste elemento como um dos nutrientes-chave para seu desenvolvimento (Von Sperling, 2007).

Cordero (2016), ao abordar os Coliformes Termotolerantes, constatou que a remoção média atingiu cerca de 96,5%. Nesse mesmo contexto, a remoção média de *Escherichia coli* foi de 95,9%. Em comparação, Sánchez e Matsumoto (2012) obtiveram uma taxa de remoção de aproximadamente 82,22%, enquanto Reinoso *et al.* (2008) alcançaram 96,84%.

Von Sperling (2005), ao investigar 87 lagoas facultativas primárias (que podem incluir *E. coli*, Coliformes Termotolerantes ou Coliformes Totais), registrou uma notável remoção de 98,74% de coliformes.

Em uma avaliação conduzida por Kantachote *et al.* (2009) em uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) na Tailândia, composta por uma lagoa anaeróbia, uma lagoa facultativa, uma lagoa de maturação e wetlands, a lagoa facultativa demonstrou uma eficiência superior na remoção de microrganismos indicadores, alcançando 94,44% e 95,26% para Coliformes Termotolerantes e *Escherichia coli*, respectivamente.

Diante de todos os parâmetros avaliados, a lagoa de estabilização alcançou uma ótima eficiência ao longo do período de tempo avaliado, no ano de 2023, quando comparados com a literatura e especialmente com a resolução CONAMA 430/11.

Vale pôr em evidência, que após o processo de estabilização na referida lagoa, o efluente resultante é bombeado para a estrutura denominada de Canal Extravasador, posteriormente para a Câmara de Água Recuperada e retorna para

a Usina de Beneficiamento, completando o circuito fechado de efluentes na Matriz.

Segundo Metcalf e Eddy (2003), a prática de reuso de água envolve a recuperação de efluentes para serem empregados em aplicações menos exigentes. Assim, ocorre uma redução na escala do ciclo hídrico, favorecendo o equilíbrio energético.

De modo geral, a prática de reuso da água pode manifestar-se de maneira direta ou indireta, sendo resultado de ações tanto planejadas quanto não planejadas, e destinando-se a fins potáveis e não potáveis (Moruzzi, 2008). De acordo com o documento publicado em 1973 pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que classificou os tipos de reuso em diversas modalidades, levando em consideração seus usos e finalidades, o efluente resultante se enquadra em “reciclagem interna”, que diz:

É o reuso da água internamente as instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição. É constituído por um sistema em ciclo fechado onde a reposição de água de outra fonte deve-se às perdas e ao consumo de água para manutenção dos processos e operações de tratamento (WHO, 1973).

Conforme Mota *et al.* (2007) afirmam, o emprego de esgotos tratados representa uma medida eficaz no combate à poluição da água, constituindo-se como uma alternativa para incrementar a disponibilidade de água em áreas com escassez de recursos hídricos.

6. CONCLUSÃO

A análise abrangente da eficiência da lagoa de estabilização da Caraíba, revelou a eficiência da Lagoa quando considerando os parâmetros de pH, DQO, Sólidos Sedimentáveis, metais (As, Ni, Zn, Cu, Fe, Pb e Cr), DBO, Sólidos Suspensos, Nitrogênio, Fósforo e Coliformes Termotolerantes, apresentado resultados extremamente satisfatórios. A avaliação dos indicadores ambientais demonstrou que a lagoa está operando dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/11, refletindo o compromisso efetivo com a preservação da qualidade da água e a saúde pública.

A eficácia do tratamento de matéria orgânica carbonácea, representada pela DBO, bem como a DQO, destacaram-se, superando as expectativas de

eficiência, proporcionando um ambiente aquático mais saudável. A remoção eficiente de sólidos suspensos contribui significativamente para a diminuição da carga poluente no efluente tratado.

A gestão responsável e a prática de análises mensais reforçam o compromisso com a conformidade ambiental, assegurando a manutenção do licenciamento de operação da lagoa. A adequação aos requisitos da Resolução CONAMA nº 430/2011 ressalta a responsabilidade ambiental, promovendo a preservação dos ecossistemas aquáticos.

Além disso, a eficiência na remoção de Coliformes Termotolerantes contribui para um efluente de alta qualidade, evidenciando a capacidade da lagoa de estabilização em lidar não apenas com a demanda química e orgânica, mas também com microrganismos indicadores de contaminação.

Portanto, ao alcançar resultados consistentes e positivos em todos os parâmetros avaliados ao longo do período analisado, a lagoa de estabilização não apenas atende às expectativas, mas supera as diretrizes ambientais, consolidando-se como um componente fundamental e eficaz no tratamento de efluentes sanitários da empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA (2017). **Standard Methods for the examination of Water and Wastewater – SMEWW**. Washington, USA: American Public Health Association, 23rd ed.

ARAÚJO, A. L. C. **Avaliação operacional e da eficiência de lagoas de estabilização no estado do RN: Programa de pesquisa em saúde e saneamento**. Natal: FUNASA, 2011.

BELTRAME, T. F. *et al.* Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: uma discussão sobre o tema. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 283-294, 2016.

BIBLIOTECA DIDÁTICA DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS- BDTA. **Tratamento de esgoto: lagoas**. 2019. Disponível em:

<http://www.fec.unicamp.br/~bdta/esgoto/lagoas.html#lagmat>. Acesso em: 21 nov. 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF 13 mai 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 21 nov. 2023.

CALIJURI, M. L. *et al.* Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, p. 421-430, 2009.

COLARES, C. J. G.; SANDRI, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, p. 172-185, 2013.

CORDERO, M. F. E. **Avaliação do desempenho e da influência das condições ambientais e operacionais de lagoas de estabilização, com base em um banco de dados internacionais**. 2016.

COSTA, R. H. P. G.; TELLES, D. D. A. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Blucher, 2007.

ERO COPPER. **Nossa Força Vem De Dentro**. Relatório de Sustentabilidade do ano de 2022. Disponível em: https://erocopper.com/site/assets/files/6386/erocopper-2022-sustentabilidade-relatorio-rev1_wd_final-ua.pdf. Acesso em: 21 nov. 2023

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 7a ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.

KANTACHOTE, D.; DANGTAGO, K.; SIRIWONG, C. Treatment efficiency in wastewater treatment plant of Hat Yai municipality by quantitative removal of

microbial indicators. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 31, n. 5, p. 567–576, 2009.

LEME, E. J. D. A. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2008.

LINS, G. A. **Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's)**. 2010. Dissertação (Mestrado em Gestão de Tratamento de Efluentes) - UFRJ, 2010.

MARA, D. D.; SPEARMAN, H. W. **Process design of WSP. Design Manual for Waste Stabilization Ponds in Mediterranean Countries**. p.43–54, 1998d. Leeds: Lagoon Technology International.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering treatment disposal reuse**. 4. ed. Revised by G. Tchobanoglous, F. Burton e D. Stensel. New York: McGraw Hill Book, 2003.

MENEZES, N.; RAMOS, G. **A importância do tratamento de efluentes orgânicos e industriais como mecanismo de reaproveitamento de água em indústrias: análise do programa das bactérias Moura em Belo Jardim**. v. 21, 2018.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam). Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais (CERH). **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº01, de 05 de maio de 2008**. Dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. MG. 2008.

MOTA, S.; AQUINO, M. D. D.; SANTOS, A. B. D. **Reuso de águas em irrigação e piscicultura**. Fortaleza: UFCE/Centro de Tecnologia, 2007.

NAGALLI, A.; NEMES, P. D. Estudo da qualidade de água de corpo receptor de efluentes líquidos industriais e domésticos. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 131-144, 2009.

NASRAUI, P. **Dimensionamento de lagoas aeradas seguidas de lagoas de sedimentação.** 2016. Disponível em:

http://www.arandanet.com.br/revista/hydro/materia/2017/10/06/dimensionamento_de_lagoas.html. Acesso em: 21 nov. 2023.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais.** 5. ed. Sergipe: Editora Info Graphics gráfica & Editora Ltda, 2008.

PIRES, D. P.; SILVA, F. H. B. T.; MONTEIRO, C. A. B. **Avaliação da eficiência da estação de tratamento de esgoto ETE-Alegria em Teresina-PI.** *In: Anais do Congresso Técnico-Científico da Engenharia e da Agronomia.* 2015.

PROJETO MUNICÍPIO VERDE. **Conceitos Fundamentais e Principais Soluções no Tratamento de Esgoto.** Disponível em: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (infraestruturameioambiente.sp.gov.br). Acesso em: 21 nov. 2023.

REINOSO, R.; TORRES, L. A.; BÉCARES, E. Efficiency of natural systems for removal of bacteria and pathogenic parasites from wastewater. **Science of the Total Environment**, v. 395, n. 2-3, p. 80–86, 2008.

SÁNCHEZ, I. A.; MATSUMOTO, T. Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de águas residuales urbanas de ILHA Solteira (SP) por lagunas facultativas primárias. **Ingeniería y Desarrollo**, v. 30, n. 2, 2012.

SILVA, F. J. A. D.; SOUZA, R. O. D.; ARAÚJO, A. L. C. Revisiting the influence of loading on organic material removal in primary facultative ponds. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 27, n. 1, p. 63–69, 2010.

SILVA JUNIOR, O. P. D.; DANIEL, L. A. **Pós-tratamento físico-químico de efluente de lagoas de estabilização: potencialidade da utilização do lodo na construção civil.** 2022.

SORIANO, A. G. W. Pilar: um núcleo habitacional para a indústria mineradora na caatinga baiana. **Labor e Engenho**, v. 12, n. 3, p. 454-468, 2018.

TIRABOSCHI, M. H. F. D. S. **Contribuição para concepção e análise de alternativas de tratamento de esgotos sanitários com base em princípios e critérios de sustentabilidade.** (Dissertação de Mestrado) São Carlos, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 2004.

US EPA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers, and Managers.** 2011.

VGR, Manaus, agosto de 2018. **EFLUENTES: TIPOS, CLASSIFICAÇÕES E QUAL TRATAMENTO ADEQUADO?** Disponível em: < Efluentes: tipos, classificações e qual tratamento adequado? | VG Resíduos (vgresiduos.com.br)> Acesso em: 21 nov. 2023.

VASCONCELOS, E. **Lagoa Facultativa.** 2016. Disponível em: <https://www.logicambiental.com.br/lagoa-facultativa/>. Acesso em: 21 nov. 2023.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de Estabilização.** 3 ed. – Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2002. 95p.

VON SPERLING, M. Modelling of coliform removal in 186 facultative and maturation ponds around the world. **Water research**, v. 39, n. 20, p. 5261–73, 2005. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16310239>>. Acesso em: 21 nov. 2023.

VON SPERLING, M. **Wastewater characteristics, treatment and disposal.** IWA publishing, 2007.

WHO. **Reuse of effluents:** methods of wastewater treatment and health safeguards. Report of a WHO Meeting of Experts. Geneva, World Health Organization (Technical Report Series No. 517), 1973.