



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE *CAMPUS* FORTALEZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL

DEISIANE CARLOS FERNANDES

**PROCESSO COMBINADO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/DECANTAÇÃO E
ADSORÇÃO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS DE LAGOAS URBANAS**

FORTALEZA

2024

DEISIANE CARLOS FERNANDES

**PROCESSO COMBINADO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/DECANTAÇÃO E
ADSORÇÃO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS DE LAGOAS URBANAS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *Campus* Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Instituto Federal do Ceará - IFCE

Sistema de Bibliotecas - SIBI

Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F363p Fernandes, Deisiane Carlos.
 Processo combinado de coagulação/floculação/decantação e adsorção para o tratamento de águas de lagoas urbanas / Deisiane Carlos Fernandes. - 2025.
 87 f. : il. color.
 Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental, Campus Fortaleza, 2025.
 Orientação: Profa. Dra. Rinaldo dos Santos Araújo. Coorientação: Profa. Dra. Adriana Guimarães Costa.
 1. Lagoas urbanas. 2. Coagulação. 3. Policloreto de alumínio. 4. Carvão ativado. 5. Adsorção. I. Título.

CDD 628



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
Av. 13 de maio, 2081 - Bairro Benfica - CEP 60040-531 - Fortaleza - CE - www.ifce.edu.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Processo: 23256.012400/2024-47

Interessado: Coordenadoria do Curso de Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental (PGTGA) - Campus Fortaleza

DEISIANE CARLOS FERNANDES

PROCESSO COMBINADO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/DECANTAÇÃO E ADSORÇÃO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS DE LAGOAS URBANAS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *Campus* de Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Aprovada em: **28/11/2024**.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Profa. Dra. Carla Bastos Vidal

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Caroline Goes Sampaio

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE/PGECM)



Documento assinado eletronicamente por **Carla registrado(a) civilmente como Carla Bastos Vidal, Usuário Externo**, em 06/12/2024, às 14:28, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Caroline de Goes Sampaio, Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 19/12/2024, às 13:06, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rinaldo dos Santos Araújo, Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 14/01/2025, às 14:24, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **6770743** e o código CRC **F50F36AC**.

A minha família, em especial, aos meus pais
Rosélia Carlos e José Fernandes (*in memoriam*)
e ao meu irmão David Carlos, por toda
educação e amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me iluminar e dar forças para chegar até aqui.

À minha família, em especial minha mãe, meu irmão, minha tia Terezinha e Marina por terem sido meu alicerce.

Ao meu companheiro Danilo Melo e meus sogros Nilo Sérgio e Fátima Gomes por terem me apoiado e ajudado de muitas formas.

Ao meu orientador prof. Dr. Rinaldo Araújo por toda sua paciência, orientação, conhecimentos partilhados, compreensão, amizade e principalmente por sua contribuição em minha formação acadêmica e profissional.

Ao profs. Drs. Franciso Maurício de Sá Barreto e Adriana Guimarães Costa pela disponibilidade do Laboratório de Saneamento Ambiental e orientações.

Ao Laboratório de Tecnologia Ambiental, principalmente à Sheila Araújo pela ajuda nas análises.

Aos meus colegas de turma 2022.2 do PGTGA e demais colegas do Laboratório de Tecnologia Química, especialmente ao Jackson Sena, Josiany Costa, Tobias Oliveira, Júlia Alves, Letícia Nobre, Marcos Abílio e Michael Lima, por terem me ensinado muitas coisas, ajudado e terem contribuído diretamente na conclusão deste trabalho.

Ao querido Alex França por toda sua indispensável ajuda durante as coletas.

Aos queridos amigos: Sara Rocha, Marcelo Magalhães, Joice Maciel e Alessandra Bastos por todos os momentos de descontração, ajuda, perrengues compartilhados e risadas que jamais serão esquecidas.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental (PGTGA) pela troca de conhecimentos e orientações.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) por toda estrutura e corpo técnico necessário para a realização deste trabalho e minha formação acadêmica.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de apoio financeiro (bolsa) para a execução desta pesquisa.

RESUMO

Parques urbanos são exemplos de áreas verdes presentes nas cidades se constituindo em área de preservação da vegetação nativa, de matas ciliares e corpos hídricos. A qualidade da água nesses ambientes é um fator importante para a saúde humana visto que parâmetros como cor, turbidez, matéria orgânica e concentração de microrganismos superiores aos padrões de potabilidade podem causar riscos ao bem-estar dos consumidores. Entre as tecnologias usadas no tratamento das águas naturais para fins de abastecimento destacam-se os processos de coagulação/floculação, o tratamento biológico e as tecnologia de adsorção e desinfecção. Neste contexto este trabalho visa avaliar a eficiência do processo combinado de coagulação/floculação/decantação e adsorção com carvão ativado na despoluição das águas de diversas lagoas urbanas (Jacarey, Maraponga, Messejana, Opaia, Parangaba e Porangabussu) na cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil. O tratamento das águas brutas das lagoas foi executado inicialmente segundo um planejamento fatorial com superfície de resposta visando avaliar o efeito das dosagens de coagulante (PAC 23) e floculante (poliacrilamida 0,02%) sobre as eficiências de remoção de cor aparente e turbidez e em sequência, as águas decantadas foram tratadas por adsorção a temperatura ambiente (25 °C) com carvão ativado em pó (1,25 g/L). Os resultados do tratamento de coagulação/floculação/decantação das áreas em estudo mostraram que no período seco as dosagens de 4 a 6 mg/L de PAC determinaram remoções de até 86,7% da cor aparente e 63,7% da turbidez, enquanto no período chuvoso as dosagens de 2 a 4 mg/L de PAC determinaram remoções de 87,4% da cor aparente e de 99% da turbidez. Particularmente, somente após tratamento adsortivo é que foi possível o enquadramento das águas naturais tratadas aos critérios de potabilidade referenciados pela legislação brasileira vigente para os parâmetros de pH, cor aparente, turbidez e DQO. A matéria orgânica dissolvida apresentou reduções de 81% a 98% nas águas decantadas das lagoas em estudo, o que pode ser considerado como um resultado promissor para este tipo de aplicação tecnológica.

Palavras-chave: Lagoas urbanas. Coagulação. Policloreto de alumínio. Carvão ativado. Adsorção. Matéria orgânica. Potabilidade.

ABSTRACT

Urban parks are examples of green areas present in cities, constituting areas for the preservation of native vegetation, riparian forests and water bodies. The quality of water in these environments is an important factor for human health, since parameters such as color, turbidity, organic matter and concentration of microorganisms above potability standards can pose risks to the well-being of consumers. Among the technologies used in the treatment of natural water for supply purposes, the following stand out: coagulation/flocculation processes, biological treatment and adsorption and disinfection technologies. In this context, this study aims to evaluate the efficiency of the combined process of coagulation/flocculation/decantation and adsorption with activated carbon in the decontamination of water from several urban lakes (Jacarey, Maraponga, Messejana, Opaia, Parangaba and Porangabussu) in the city of Fortaleza, Ceará, Brazil. The treatment of the raw water from the lagoons was initially carried out according to a factorial design with response surface aiming to evaluate the effect of the coagulant (PAC 23) and flocculant (polyacrylamide 0.02%) dosages on the removal efficiencies of apparent color and turbidity. Subsequently, the decanted waters were treated by adsorption at room temperature (25 °C) with powdered activated carbon (1.25 g/L). The results of the coagulation/flocculation/decantation treatment of the study areas showed that in the dry season, dosages of 4 to 6 mg/L of PAC determined removals of up to 86.7% of the apparent color and 63.7% of the turbidity, while in the rainy season, dosages of 2 to 4 mg/L of PAC determined removals of 87.4% of the apparent color and 99% of the turbidity. In particular, it was only after adsorptive treatment that it was possible to classify the treated natural waters according to the potability criteria referenced by current Brazilian legislation for the parameters of pH, apparent color, turbidity and COD. The dissolved organic matter showed reductions of 81% to 98% in the decanted waters of the lagoons under study, which can be considered a promising result for this type of technological application.

Keywords: Urban lagoons. Coagulation. Polyaluminum chloride. Activated carbon. Adsorption. Organic matter. Potability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	— Localização das lagoas e seus parques urbanos em estudo de acordo com a área de cada SER que o abriga na cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil.....	37
Figura 2	— Locais de coleta das lagoas urbanas em estudo na cidade de Fortaleza. a) Jacarey; b) Maraponga; c) Messejana; d) Opaia e) Parangaba e f) Porangabussu.....	37
Figura 3	— Valores Preditos <i>versus</i> Valores Observados para remoção de cor na Lagoa Jacarey e remoção de turbidez na Lagoa do Opaia durante o período seco.....	52
Figura 4	— Valores Preditos <i>versus</i> Valores Observados para remoção de cor na Lagoa de Messejana e remoção de turbidez na Lagoa Porangabussu durante o período chuvoso.....	52
Figura 5	— Superfícies de resposta para remoções (%) cor e de turbidez nas lagoas de Jacarey e do Opaia durante o período seco.....	53
Figura 6	— Superfície de resposta para remoção (%) cor e de turbidez nas lagoas de Messejana e de Porangabussu durante o período chuvoso.....	54
Figura 7	— Imagens das águas naturais das lagoas em estudo no período seco antes e após tratamento físico-químico por coagulação/floculação/decantação (C/F/D).....	55
Figura 8	— Imagens das águas naturais das lagoas em estudo no período chuvoso antes e após tratamento físico-químico por coagulação/floculação/decantação (C/F/D).....	57
Figura 9	— Cinética de adsorção a 25 °C de remoção da matéria orgânica dissolvida (MOD) das águas das lagoas urbanas no período seco usando carvão ativado (1,25 g/L) como adsorvente.....	60
Figura 10	— Cinética de adsorção a 25 °C de remoção da matéria orgânica dissolvida (MOD) das águas das lagoas urbanas no período chuvoso usando carvão ativado (1,25 g/L) como adsorvente.....	61
Figura 11	— Imagens dos testes microbiológicos presuntivos (a, b, c) e confirmativos (d, e, f) para a determinação de coliformes totais na Lagoa de Porangabussu.....	67

Figura 12 — Espectros nos UV-Vis das lagoas em estudo durante o período seco após aplicação do tratamento combinado de coagulação/floculação/decantação e adsorção com carvão ativado.....	69
Figura 13 — Espectros nos UV-Vis das lagoas em estudo durante o período chuvoso após tratamento combinado de coagulação/floculação/decantação e adsorção com carvão ativado.....	70
Figura 14 — Amostra de água bruta (a) e tratadas por coagulação/floculação/decantação (b) e adsorção sobre carvão ativado (c) oriundas da Lagoa do Opaia durante o período seco.....	71
Figura 15 — Amostras de água bruta (a) e tratadas por coagulação/floculação/decantação (b) e adsorção sobre carvão ativado (c) oriundas da Lagoa Messejana durante o período chuvoso.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	— Mecanismos principais do processo de coagulação das águas naturais.....	26
Tabela 2	— Etapas do mecanismo do processo de formação dos flocos.....	28
Tabela 3	— Características do georreferenciamento das lagoas urbanas em estudo.....	36
Tabela 4	— Metodologias usadas nas análises físico-químicas das águas das lagoas.....	39
Tabela 5	— Domínio das variáveis para os ensaios de coagulação/floculação/decantação das águas das lagoas urbanas em estudo.....	40
Tabela 6	— Matriz de experimento usada nos ensaios de coagulação/floculação/decantação das águas das lagoas urbanas em estudo.....	40
Tabela 7	— Caracterização físico-química das águas brutas das lagoas urbanas em estudo.	43
Tabela 8	— Remoção de cor (%) das lagoas urbanas em estudo na cidade de Fortaleza após tratamento por coagulação/floculação/decantação.....	45
Tabela 9	— Remoção de turbidez (%) das lagoas urbanas em estudo na cidade de Fortaleza após tratamento por coagulação/floculação/decantação.....	48
Tabela 10	— Dados de Anova e coeficientes de regressão para as remoções de cor e de turbidez no tratamento físico-químico das lagoas urbanas em estudo durante o período seco.....	51
Tabela 11	— Dados de Anova e coeficientes de regressão para as remoções de cor e de turbidez no tratamento físico-químico das lagoas urbanas em estudo durante o período chuvoso.....	51
Tabela 12	— Caracterização físico-química e microbiológica das lagoas urbanas em estudo após o tratamento por coagulação/floculação/decantação nas condições do ensaio 4 (6 mg/L PAC 23 e 4 mg/L PAM) para o período seco e ensaio 6 (4 mg/L PAC 23 e 2 mg/L PAM) para o período chuvoso. $t_{mr} = 60$ s; $G_{floc} = 135, 95, 53 \text{ s}^{-1}$ (escalonado); $t_{floc} = 10 \text{ min}$ e $t_{dec} = 30 \text{ min}$	59
Tabela 13	— Parâmetros cinéticos de primeira ordem a $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para a remoção por adsorção de MOD das lagoas urbanas em estudo usando carvão ativado (1,25 g/L) como adsorvente. Condições: 150 rpm; $\text{pH} = 7,5 \pm 0,1$ e tempo de contato de 60 min.....	61

Tabela 14 — Remoção (%) da matéria orgânica dissolvida nas águas brutas das lagoas em estudo no período do estudo e nas águas decantadas e adsorvidas após aplicação do processo combinado de coagulação/floculação/decantação seguido de adsorção com carvão ativado.....	63
Tabela 15 — Remoção (%) de coliformes totais (CT) das águas das lagoas em estudo após aplicação do processo combinado de coagulação/floculação/decantação seguido de adsorção com carvão ativado.....	65
Tabela 16 — Caracterização final das lagoas urbanas após a aplicação do processo combinado de coagulação/floculação/decantação seguido de adsorção sobre carvão ativado.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de Variância
CA	Carvão ativado
CAG	Carvão Ativado Granulado
CAP	Carvão Ativado em Pó
C/F/D	Coagulação/Floculação/Decantação
COT	Carbono Orgânico Total
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
df	Graus de liberdade
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estações de Tratamento de Água
EPI	Equipamento de Proteção Individual
<i>F</i>	Estatística do teste de Snedecor
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LSA	Laboratório de Saneamento Ambiental
LTQ	Laboratório de Tecnologia Química
MO	Matéria Orgânica
MOD	Matéria Orgânica Dissolvida
MODC	Matéria Orgânica Dissolvida Cromófora
MON	Matéria Orgânica Natural
MPA	Macrozona de Proteção Ambiental
MS	Quadrado médio
mr	Mistura rápida
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
<i>p</i>	Probabilidade de significância
PAC	Policloreto de Alumínio

PAM	Poliacrilamida
PEI	Polietilenoimina
pH	Potencial Hidrogeniônico
POA	Processo Oxidativo Avançado
SS	Soma dos quadrados
SER	Secretaria Executiva Regional
SEUMA	Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente
t	Tempo
URBFOR	Autarquia de Urbanismo e Paisagismo de Fortaleza
UV	Ultravioleta
UV-Vis	Ultravioleta-Visível
ZPA	Zona de Proteção Ambiental
x_0	Valor inicial da propriedade físico-química
x_f	Valor final da propriedade físico-química

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	Objetivo geral.....	19
2.2	Objetivos específicos.....	19
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	20
3.1	Parâmetros da qualidade da água	20
3.1.1	<i>Parâmetros físico-químicos.....</i>	21
3.1.1.1	<i>Cor.....</i>	21
3.1.1.2	<i>Turbidez.....</i>	21
3.1.1.3	<i>pH.....</i>	22
3.1.1.4	<i>Demanda Química de Oxigênio.....</i>	22
3.1.1.5	<i>Matéria orgânica.....</i>	22
3.1.2	<i>Parâmetros microbiológicos.....</i>	24
3.2	Tratamento físico-químico da água.....	25
3.2.1	<i>Coagulação.....</i>	25
3.2.2	<i>Floculação.....</i>	28
3.2.3	<i>Decantação.....</i>	29
3.3	Adsorção.....	30
3.3.1	<i>O carvão ativado.....</i>	31
3.4	Áreas verdes na cidade de Fortaleza.....	32
3.5	Parques urbanos.....	33
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.1	Materiais usados.....	35
4.2	Área de estudo.....	35
4.3	Coleta e caracterização das amostras brutas das lagoas.....	37

4.4	Tratamento físico-químico de coagulação/floculação/decantação.....	39
4.5	Tratamento por adsorção em carvão ativado.....	41
4.6	Análises estatísticas.....	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1	Caracterização das águas brutas.....	43
5.2	Tratamento por coagulação/floculação/decantação.....	45
5.2.1	<i>Efeito das dosagens dos agentes químicos</i>	50
5.3	Tratamento das lagoas por adsorção em carvão ativado.....	60
5.4	Qualidade da água tratada após processo combinado.....	67
6	CONCLUSÃO.....	73
	REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a vida e possui diversas formas de uso, sendo recomendado para o seu emprego seguir os critérios estabelecidos pelos órgãos competentes, para que não haja nenhum risco à saúde do consumidor independente da sua destinação (ANA, 2023). A Lei Federal nº 9433/97 da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) estabelece que o uso múltiplo das águas deve ser imposto pela gestão do corpo hídrico de acordo com as características do mesmo.

Lagoas são classificadas como águas superficiais, consideradas uma alternativa para o abastecimento quando própria para o consumo, visto que são fontes de abastecimento de água potável para a população (IBGE, 2020). De acordo com a Resolução N° 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os padrões de qualidade da água dos corpos hídricos superficiais devem ser monitorados de acordo com o enquadramento que se classificam. Ademais, de acordo com esta legislação, as lagoas podem ser classificadas na Classe II, podendo suas águas serem destinadas ao consumo humano após tratamento adequado.

O tratamento convencional da água para fins de consumo compreende as etapas de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e cloração, as quais são eficientes na remoção de turbidez, microrganismos e substâncias que possam conferir alterações de cor e sabor aos corpos hídricos (SATIRO *et al.*, 2020). O tratamento convencional é considerado ciclo completo e é o método mais utilizado no Brasil (RODRIGUES *et al.*, 2020), permitindo que seja adicionado junto às etapas de potabilização outras tecnologias de tratamento como os processos de adsorção com carvão ativado em pó (CAP) ou carvão ativado granular (CAG), processos oxidativos avançados (POA) e filtração por membrana, visando a remoção de micropoluentes (CARTAXO *et al.*, 2020).

A coagulação é uma etapa empregada no tratamento de água devido às suas características de custo-benefício, simples manipulação e eliminação de partículas coloidais, e para sua execução se utiliza de agentes coagulantes que podem mudar o estado físico dos poluentes (SHEN *et al.*, 2020; ALI *et al.*, 2023). A eficiência da coagulação pode ser determinada pelo tipo de coagulante (GUO *et al.*, 2022) e/ou pela otimização da razão quantitativa coagulante/floculante, o que também é uma maneira de poder reduzir custos (LIU *et al.*, 2019). A floculação, por sua vez, é um dos principais processos presentes no tratamento da água, tendo como finalidade agregar as partículas sólidas presentes formando flocos maiores que decantam para o fundo do floculador, removendo neste trajeto as impurezas indesejadas (COUTINHO *et al.*, 2023).

De acordo com Redondo *et al.* (2019), a etapa da decantação é determinada pela gravidade através da baixa força motriz dos flocos formados na água. De forma complementar, a adsorção é uma técnica aplicada após o tratamento convencional quando não se consegue remover totalmente a matéria orgânica e outros poluentes presentes na água. Entre os materiais empregados (adsorventes) nesta operação destacam-se os carvões ativados comerciais.

Parques urbanos são exemplos de áreas verdes urbanas, definidas no Novo Código Florestal, Lei Federal nº 12.651/2012, como áreas públicas ou privadas com vegetação predominante, preferencialmente nativa, destinadas ao lazer, recreação, qualidade ambiental urbana, proteção de recursos hídricos e atividades culturais entre outras destinações. Devido a sua localização em centros urbanos, a sustentabilidade dos parques urbanos é um potencial ponto de estudo, a fim de verificar o cumprimento do plano de manejo estabelecido (PINTO *et al.*, 2021).

O decreto municipal Nº 13286/14 determina a criação e regulamentação dos parques urbanos das lagoas de Fortaleza, Ceará, assim como suas referidas finalidades com destaque para a preservação do corpo hídrico, da vegetação nativa e a contribuição para pesquisas científicas. Segundo este decreto, a gestão dos parques urbanos está sob responsabilidade da Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente (SEUMA). A criação dos parques urbanos é regulamentada por decretos descritos no Diário Oficial do Município, que trazem a fundamentação legal para sua criação, suas finalidades, a poligonal da área e a definição e responsabilidades dos órgãos envolvidos na gestão (SARAIVA, 2020).

Diante do exposto, considerando a importância da água para a vida de todos os seres vivos e as possibilidades do uso de águas superficiais, este trabalho visa avaliar a aplicação do processo de coagulação/floculação/decantação combinado com a remoção por adsorção no tratamento das águas naturais das lagoas dos principais parques urbanos na cidade de Fortaleza, Ceará, com o objetivo de tornar potável as águas em estudo conforme os requisitos de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS Nº 888/21.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência do processo combinado de coagulação/floculação/decantação e adsorção com carvão ativado no tratamento da água de lagoas urbanas na cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil.

2.2 Objetivos específicos

- Investigar a eficiência do processo de coagulação/floculação/decantação no tratamento das águas de algumas lagoas urbanas na cidade de Fortaleza nos períodos seco e chuvoso, avaliando o efeito das dosagens de coagulante (PAC 23) e floculante aniônico (poliacrilamida) via planejamento fatorial com superfície de resposta.
- Avaliar a eficiência do processo de adsorção como estratégia de pós-tratamento ao processo de coagulação/floculação/decantação (processo combinado) no tratamento das águas naturais das lagoas urbanas na cidade de Fortaleza.
- Caracterizar do ponto de vista físico-químico e microbiológico as águas brutas e tratadas por coagulação/floculação/decantação e adsorção para fins de adequação aos padrões de qualidade da água estabelecidos pela legislação brasileira.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Parâmetros da qualidade da água

Os corpos hídricos geralmente possuem papel fundamental no crescimento da economia, além de fornecer água para as atividades essenciais dos seres humanos (OKUMURA *et al.*, 2020). Silva, A. C. *et al.* (2020) relata que a poluição de águas superficiais tem se caracterizado por inúmeros danos sujeitos a um conjunto de impactos e riscos ambientais desempenhados pela ação do homem, estando a degradação qualitativa dos corpos hídricos diretamente vinculada à poluição orgânica (SANTOS *et al.*, 2018).

O monitoramento da qualidade das águas naturais é necessário devido ao fato das águas superficiais receberem descarga excessiva de matéria orgânica e inorgânica, como nutrientes, microrganismo patógenos ou não e inúmeros microcontaminantes (SANTOS *et al.*, 2022). Tradicionalmente, a qualidade da água tem sido avaliada por meio de parâmetros físico-químicos (PELUSO *et al.*, 2021), sendo o monitoramento uma avaliação integrada das mudanças espaciais e temporais na qualidade das águas superficiais e é baseada em indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade da água (SIDDIQUE *et al.*, 2022).

De acordo com Jayaraman *et al.* (2024), a avaliação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos determinam a qualidade da água de acordo com o tipo de uso que a mesma será destinada, como exemplo: consumo, recreação e preservação do ecossistema. Segundo estes autores, o método de monitoramento é baseado em métodos laboratoriais, envolvendo a coleta de lagoas em pontos específicos, transporte e análise em ambiente apropriado, conforme normas técnicas específicas.

A qualidade da água é aspecto indispensável quando se considera o seu uso com a finalidade de gerar benefícios econômicos, bem-estar e saúde pública (LUZ *et al.*, 2020). A avaliação da qualidade das águas superficiais é de extrema importância para estimar os tipos de impactos causados nos recursos hídricos, podendo ser realizada por meio de índices ou por meio da classificação da água e seu respectivo uso específico (TELES *et al.*, 2022).

Na legislação brasileira, a Resolução CONAMA 357/2005 determina a classificação dos recursos hídricos superficiais, assim como a qualidade da água para seus respectivos tipos de uso. Exemplos dos principais parâmetros indicadores de qualidade física da água são: cor e turbidez, enquanto os indicadores químicos são o pH e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e os microbiológicos podem ser representados pelos coliformes totais e coliformes termotolerantes (TELES *et al.*, 2022).

3.1.1 Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos são indicadores primordiais de qualidade da água, de forma que o desequilíbrio desses indicadores pode indicar comprometimento de seu uso e acarretar complicações à saúde (ALMEIDA; SOUSA, 2019). A seguir descreve-se alguns parâmetros físico-químicos da água importantes ao projeto de estações de tratamento.

3.1.1.1 Cor

De acordo com Xavier, Quadros e Silva (2022), a cor da água é classificada como “cor verdadeira” quando se refere à determinação de cor em amostras sem turbidez, sendo considerada como aquela que não sofre efeito da presença das partículas suspensas. Nesta condição a matéria em suspensão ou partículas devem ter sido removidas por meio de centrifugação ou filtração, podendo-se estabelecer a cor de maneira mais fiel. Já o parâmetro “cor aparente”, elencado nos padrões de potabilidade do Ministério da Saúde, refere-se a amostras com presença de metais, matéria orgânica, animais, plantas microscópicas e outras substâncias dissolvidas na água (ALMEIDA, 2020), sendo medida quando a água não passa por nenhum tipo de tratamento de remoção do material em suspensão.

3.1.1.2 Turbidez

A turbidez da água é um indicador vital de qualidade devido à sua alta relação com cinco outros parâmetros físico-químicos de qualidade da água (nitrogênio, fósforo, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica) (SHEN *et al.*, 2020). A turbidez também é um indicador óptico de qualidade da água bem estabelecido, sendo relacionado à concentração de partículas em suspensão (HUANG *et al.*, 2021), podendo variar com presença de outros poluentes, como microrganismo, metais pesados e vestígios de matéria orgânica (ZHANG *et al.*, 2021). A turbidez é de suma importância no processo de tratamento, uma vez que altos valores determinam a formação de flocos pesados que decantam mais rapidamente e ainda dificuldades de desinfecção pela proteção que pode ser dada aos microrganismo (ARAUJO; ANDRADE, 2020).

3.1.1.3 pH

O pH, potencial hidrogeniônico, está relacionado a quantidade de prótons (H^+) em solução e representa a concentração ácida ou alcalina do ambiente aquático (SOUSA *et al.*, 2020). O pH de uma substância em solução pode variar dependendo da concentração de sais, metais, ácidos, bases, substâncias orgânicas e temperatura e pode influenciar diversos equilíbrios químicos, sendo um parâmetro muito importante em diversos campos do saneamento ambiental, permitindo também verificar a qualidade da água e quais os tipos de efluentes lançados (TEDESCO; OLIVEIRA; TROJAN, 2021).

3.1.1.4 Demanda Química de Oxigênio

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um indicador importante no monitoramento ambiental sendo empregada para avaliar a quantidade de compostos orgânicos presentes em águas residuais e superficiais (HUANG *et al.*, 2019). Segundo Elfeky *et al.* (2022), a DQO é uma medida importante que avalia o nível de contaminação causada por produtos químicos orgânicos em geral, pois é uma alternativa mais rápida quando comparada com a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que requer maior tempo para a realização das análises.

3.1.1.5 Matéria orgânica

Loganathan *et al.* (2022) descreve a matéria orgânica natural (MON) como um grupo de poluentes da água natural que, em concentrações elevadas, pode causar resultados adversos na água potável como a produção de cor, sabor e odor e atuar como um substrato capaz de aumentar o crescimento de microrganismo. Os tratamentos tradicionais para remover estes poluentes, como cloração e floculação, nem sempre são bem-sucedidos, e desta forma a adsorção pode ser um adequado tratamento complementar.

A MON é uma matriz complexa de substâncias orgânicas comumente encontradas em águas superficiais e subterrâneas, como resultado de diferentes esquemas de interação hidrológica, biológica e geológica. Em geral, a MON pode ser gerada dentro da fonte de água através de atividades biológicas, principalmente algas e microbianas (MON autóctone), ou introduzida no corpo de água através de drenagem dentro de bacias hidrográficas, incluindo substâncias geradas durante a decomposição de organismos terrestres (MON alóctone) (SILLANPÄÄ *et al.*, 2018).

A matéria orgânica dissolvida (MOD) presente nos sistemas aquáticos pode ser operacionalmente definida como a fração orgânica que passa por poros entre 0,2 e 0,7 μm (STEDMON; NELSON, 2015). Os compostos da MOD constituem a fração da MON mais difícil de remover pelos processos convencionais de tratamento de água potável (JUNIOR, 2019). A MOD é uma mistura heterogênea complexa que compreende constituintes orgânicos, como ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, de natureza colorida, aromática e hidrofóbica. (HUSSAIN *et al.*, 2013), compreendendo também compostos orgânicos de baixo peso molecular e compostos alifáticos e nitrogenados, como aminoácidos, carboidratos e proteínas (MATILAINEN *et al.*, 2011).

Como um componente altamente móvel dos reservatórios de matéria orgânica, a matéria orgânica dissolvida (MOD) desempenha um papel fundamental em muitos processos biogeoquímicos bióticos e abióticos em ecossistemas terrestres e aquáticos (ROSE *et al.*, 2023). as características bioquímicas do MOD em ambientes aquáticos são determinadas pela fonte original do material orgânico e pelo processamento biogeoquímico que sofre durante o transporte (WEN, 2024).

Altos níveis de MOD contribuem consideravelmente para o custo dos tratamentos de água potável pelo consumo elevado de flocculantes para a remoção. De fato, nem todos os MOD são iguais em termos de características funcionais, de forma que a composição química é altamente relevante para prever a facilidade com que o MOD pode ser removido por floculação ou como fonte de energia para bactérias (ZHOU *et al.*, 2023).

A matéria orgânica dissolvida cromófora (MODC), uma fração significativa do MOD com funções ópticas (absorção da região ultravioleta e visível) e com propriedades fluorescentes, pode ser usada como um indicador potencial para avaliar a poluição orgânica e os efeitos das atividades humanas em geral escalas espaciais (SHANG *et al.*, 2021).

Os parâmetros e índices ópticos, abrangendo absorbância absoluta ou intensidade de fluorescência em comprimentos de onda específicos e proporções em diferentes comprimentos de onda permitem a caracterização de variações na composição e conteúdo da MOD (HANSEN *et al.*, 2016). A espectrofotometria na região do ultravioleta-visível (UV-Vis) se apresenta como uma técnica rápida e simples e que tem sido largamente empregada em pesquisas que envolvem a supervisão da qualidade de águas superficiais ou residuárias. Análises na região do UV-Vis são consolidadas por serem rápidas, sensíveis e de baixo custo, além de apresentarem uma excelente precisão.

O UV_{254} é a medida da absorbância diretamente proporcional à quantidade de matéria orgânica natural dissolvida na água (SHAN *et al.*, 2016). A absorbância a 254 nm indica indiretamente, a concentração de aromáticos na água, uma vez que, estes compostos, em sua maioria, absorvem fortemente luz no comprimento de onda de 254 nm (SILVA, 2017). Segundo Jaffe *et al.* (2004), a absorbância medida a 254 nm por ser considerada uma medida da contribuição de substâncias húmicas, ricas em compostos aromáticos.

3.1.2. Parâmetros microbiológicos

As bactérias do grupo Coliforme (coliformes totais) são bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, oxidase-negativos, não esporulados e com capacidade de se desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos fermentadores de lactose e com produção de ácido, gás e aldeído a $35 \pm 0,5$ °C entre 24 e 48 horas, podendo apresentar atividade da enzima β -galactosidase (LACERDA *et al.*, 2019).

De acordo com Santos e Lobo (2024), a denominação Coliformes é dada a um grupo composto por bactérias da família *Enterobacteriaceae* que são classificados em totais e termotolerantes. Ainda segundo estes autores, a maioria pode ser comensal, inofensiva e desenvolver uma importante função na manutenção da fisiologia intestinal, fazendo parte desse grupo as bactérias do gênero *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*. Bernardo e Paz (2008), relatam que os coliformes totais apresentam limitações como referência de poluição microbiológica em águas devido sua presença não necessariamente indicar contaminação fecal. As bactérias coliformes diferentes de *E. coli* podem ser de origem fecal, mas também de origem ambiental (BALZER *et al.*, 2010).

Uma das técnicas de identificação de coliformes é a técnica do Número Mais Provável (NMP) em séries de cinco tubos de ensaio, seguindo as recomendações da Instrução Normativa Nº 62, de 26 de agosto de 2003 do Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2003). A técnica do NMP é baseada em diluições seriadas que consistem na realização sucessiva de diluições, partindo de uma amostra inicial, onde é medido a concentração dos microrganismos indicadores (DELFINO *et al.*, 2011).

Nas metodologias de identificação de coliformes que usam como resultados o Número Mais Provável (NMP), as análises quantitativas são expressas como de coliformes em 100 mL. Para isso, as tabelas para obtenção do NMP de coliformes são baseadas na aplicação da distribuição de Poisson e correspondem a uma estimativa estatística de concentração (LACERDA *et al.*, 2019).

3.2 Tratamento físico-químico da água

As águas superficiais, como rios e lagos, podem representar uma fonte de água disponível, desde que seja aplicado um tratamento adequado para tornar sua qualidade adequada para fins de potabilidade (CHIAVOLA *et al.*, 2023). As águas para o consumo humano fornecidas aos municípios brasileiros são tratadas pelo método convencional de tratamento de água, o que inclui os processos de coagulação e floculação, considerados fundamentais (CRUZ *et al.*, 2020).

Benalia *et al.* (2024) definem o processo de coagulação-floculação como um processo físico-químico de tratamento de águas residuais no qual coagulantes são adicionados para remoção de materiais em suspensão, sendo estes, representados por matérias orgânicas e inorgânicas ou ambas, assim como organismos vivos, como bactérias, algas ou vírus.

De acordo com Ihaddaden *et al.* (2022), a técnica de coagulação-floculação pode ser dividida em três etapas: coagulação, floculação e decantação, sendo a primeira etapa considerada como fase rápida, quando ocorre a desestabilização das partículas coloidais suspensas, a segunda etapa é do tipo etapa lenta, quando as partículas desestabilizadas formam floco, e na terceira e última etapa, ocorre a sedimentação dos flocos que se separam da água.

3.2.1 Coagulação

A coagulação é uma técnica tradicional de pré-tratamento empregada em estações de tratamento de água (ETA) com o objetivo de remover sólidos coloidais ou suspensos que ocorrem naturalmente (GIRIST *et al.*, 2023). Além de econômico, a coagulação melhora a biodegradabilidade, ajudando no desempenho de processos oxidativos quando aplicados posteriormente (CHEN *et al.*, 2019). A eficiência do processo de coagulação depende de fatores como a natureza e dosagem do agente coagulante, temperatura, pH e concentração de materiais coloidais do efluente, velocidade de mistura e tempo de decantação (LV *et al.*, 2019).

De acordo com Lima e Rollemberg (2020), a coagulação é a etapa em que ocorre a desestabilização das partículas coloidais pela adição de um coagulante que elimina ou reduz as cargas elétricas dos coloides, fazendo que estas fiquem neutras e não haja repulsão entre elas, permitindo que possam se agregar em flocos e serem separadas da água por sedimentação.

Segundo Araújo *et al.* (2022), as partículas dispersas possuem superfícies carregadas negativamente que atraem uma grande quantidade de íons de carga positiva, e devido as limitações dimensionais das partículas, um número limitado desses contra-íons são adsorvidos

formando uma camada compacta e rígida denominada de “Camada de Stern” que após sua formação, determinam a origem de uma outra camada difusa (Camada de Gouy-Chapman), onde os íons negativos são atraídos.

Lima e Rollemberg (2020) também relatam que os coagulantes são comumente divididos em dois grupos principais, os polieletrólitos como exemplo os polímeros, no qual as cadeias poliméricas já estão formadas quando são adicionados na água e os coagulantes metálicos, como exemplo o sulfato de alumínio, que ao serem adicionados na água passam por um processo de hidrólise e os íons de cargas positivas são formados no meio.

Ainda segundo estes autores, quando o coagulante entra em contato com as partículas coloidais, podem ocorrer 4 mecanismos principais de interação, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 — Mecanismos principais do processo de coagulação das águas naturais.

Compressão da dupla camada	Ocorre quando íons de carga oposta atravessam a camada difusa e a camada compacta, reduzindo assim o potencial zeta e a espessura da dupla camada, permitindo a aproximação das partículas.
Adsorção-neutralização de cargas	Ocorre quando cátions metálicos são adicionados e há a formação de espécies solúveis hidrolisadas. Esses compostos serão adsorvidos pelos coloides e posteriormente serão neutralizados devido à diferença de cargas.
Varredura	Ocorre quando há dosagens elevadas de sais de alumínio e ferro, geralmente maiores do que a concentração de saturação dos respectivos hidróxidos, formando precipitados de alumínio ou de ferro. Os precipitados possibilitam a formação de flocos desestabilizados que sedimentam com velocidade superior aos flocos formados pelos demais mecanismos.

Adsorção e formação de pontes

Ocorre quando são adicionados polímeros com grandes cadeias moleculares, que servem de ponte entre a superfície que estão aderidos e outras partículas. O polímero adere a um coloide, ocorrendo a dessorção da água superficial ligada ao coloide, a neutralização da carga e aglomeração com outras partículas. Neste caso tem-se a formação de flocos capazes de liberar água mais facilmente.

Fonte: Adaptado de Lima e Rollemberg (2020).

Os coagulantes também são conhecidos como condicionadores, podem ser polieletrólitos sintéticos como a polietilenoimina, naturais como quitosana e o extrato de *Moringa oleifera* e inorgânicos como cloreto de polialumínio (PAC) e o cloreto férrico (FAYE *et al.*, 2017). Os coagulantes inorgânicos mais frequentemente utilizados são os sais de alumínio: policloreto de Al (PAC) e sulfato de Al ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), além dos sais de ferro: cloreto férrico (FeCl_3) e sulfato ferroso (FeSO_4) (LIMA *et al.*, 2020).

O PAC de fórmula genérica $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{(3n-m)}$ (onde: n é o número de átomos de alumínio e m é o número de hidroxilas) é um polímero inorgânico, que apresenta um desempenho melhorado em relação a outros coagulantes em termos de remoção de cor, turbidez e matéria orgânica. O tratamento com PAC requer dosagem menor, levando à geração de um volume de lodo menor do que aquele obtido com outros coagulantes (SRIVASTAVA, 2005). Este autor indica que este coagulante possui algumas vantagens como: não provoca alterações bruscas no pH da água tratada, maior eficiência na remoção de matéria orgânica e inorgânica presente na água bruta e a formação de flocos grandes e pesados, elevando a velocidade de decantação. Por outro lado, há possibilidade do PAC deixar resíduos de Al na água tratada, mesmo que em concentrações menores quando comparado ao residual do sulfato de alumínio.

Cardoso (2006) define o PAC como um coagulante inorgânico polimerizado catiônico de baixo peso molecular e pré-polimerizado, apresentando-se na forma líquida com aparência viscosa. O mesmo possui cadeias de polímeros pré-formadas, contendo uma alta concentração de carga catiônica na unidade polimérica. O PAC apresenta capacidade de formar flocos com uma velocidade superior aos coagulantes tradicionais, não pré polimerizados, o que garante que os mesmos possuam maior densidade, e assim, a precipitação ocorra mais rapidamente.

3.2.2 Floculação

Segundo Chiavola *et al.* (2023), a floculação é o processo seguido da coagulação, onde sob condição de mistura rápida e na presença de coagulantes, as partículas podem ligar-se aos produtos químicos e entre si para formar partículas maiores denominadas de flocos. Na floculação sob mistura lenta se permite a agregação dos flocos insolúveis e seu aumento progressivo de tamanho. Após a floculação, o assentamento dos flocos no fundo da unidade leva ao acúmulo de um lodo químico, formando um sobrenadante claro e livre de turbidez.

A energia cinética fornecida pela agitação mecânica fornece magnitude suficiente para permitir que as partículas se aproximem, de forma que não ocorra fraca agregação ou redispersão de agregados devido a ruptura dos flocos por forte cisalhamento (VIEIRA, 2022).

Libânio (2010) se refere ao transporte das partículas desestabilizadas, como um mecanismo de formação dos flocos em três etapas, sendo elas: (I) floculação pericínética, (II) floculação ortocínética e (III) sedimentação dos flocos. A descrição dessas etapas está mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 — Etapas do mecanismo do processo de formação dos flocos.

Floculação pericínética	Movimento Browniano (aleatório) e ação da gravidade das partículas coloidais menores que 1 μm . Inicia-se na fase de desestabilização das partículas ocorrendo os primeiros choques.
Floculação ortocínética	É introduzido energia externa para fomentar a aglutinação das partículas desestabilizadas e dos microflocos, formando flocos de maior peso capazes de sedimentar, os quais são criados pelas diferenças de velocidades dentro do líquido. Os parâmetros de eficiência neste caso são o gradiente de velocidade e o tempo de detenção hidráulico. Essa é a única etapa que pode ser controlada.

Sedimentação dos flocos

Se origina a partir da desuniformidade de volume e densidade dos flocos formados, resultando assim em flocos com velocidades distintas de sedimentação, podendo ocorrer choques e a consequente formação de flocos mais pesados.

Fonte: Adaptado de Libânio (2010).

Baltar (2010) relata que a floculação tem por finalidade produzir partículas através da agregação, as quais podem ser removidas por meios subsequentes de separação como a sedimentação por gravidade ou filtração. O autor complementa que os floculantes são classificados quanto a sua origem (naturais, modificados ou sintéticos), carga elétrica (neutros, aniônicos ou catiônicos) ou peso molecular (baixo, médio ou elevado).

Poliacrilamida (PAM) de fórmula $(C_3H_5NO)_n$ é um polieletrólito aniônico de alto peso molecular produzido por copolimerização de ácido carboxílico fraco e acrilamida ou por polimerização da acrilamida seguida de hidrólise parcial (KATRIVESIS *et al.*, 2019). A PAM é um floculante polimérico popular adicionado para aumentar a superfície das partículas dos flocos, formando assim agregados maiores e mais compactos segundo o mecanismo de ponte. De acordo com Kumar *et al.* (2016), a adição coagulante e floculante é benéfica para a formação de partículas densas de lodo e pode promover elevada eficiência de separação sólido-líquido.

3.2.3. Decantação

A decantação também conhecida como sedimentação é a fase que ocorre após a floculação. De acordo com Libânio (2010), a decantação é realizada através da gravidade, pois os flocos formados durante a coagulação e floculação, são depositados no fundo do recipiente pela ação da mesma. Detalhadamente, as partículas que permanecem suspensas no meio líquido possuem densidade superior à água, e ao ser deixada em repouso, a gravidade age fazendo que essas partículas se movimentem em direção ao fundo do reservatório.

O desempenho da separação das partículas subsequentes no tratamento de água é diretamente afetado pelas etapas de coagulação e floculação, e desta forma é necessário avaliar as condições de mistura e as características dos flocos para a melhor escolha das etapas posteriores, melhorando assim a eficiência de remoção (LOPES *et al.*, 2020). A velocidade de sedimentação pode sofrer influência devido a forma, massa, o tamanho das partículas suspensas e pelas propriedades físicas da água (MARTINS, 2014).

3.3 Adsorção

A adsorção é um processo terciário utilizado para a remoção eficiente de diversos micropoluentes em água, tendo a vantagem de gerar baixa quantidade de resíduos e nenhum composto intermediário, além da possibilidade de regenerar e/ou reaproveitar o material empregado (KUJAWSKA *et al.*, 2022). A eficiência do processo de adsorção varia de acordo com a interação de cada contaminante com o adsorvente (SGHAIER *et al.*, 2022), assim como com as características superficiais do adsorvente, temperatura e tempo de contato.

Adsorbato é a substância na fase sólida, líquida ou gasosa que é adsorvida, e a substância ou material no qual o adsorbato é adsorvido recebe a designação de adsorvente. Um adsorvente ideal deve possuir características como: alta capacidade de adsorção para os componentes que são desejáveis, procedimento de fabricação fácil e os custos de produção baixos (GANG *et al.*, 2021). O adsorvente deve ainda permitir a separação dos compostos desejados e subsequentemente uma regeneração rápida e bem-sucedida após processo eficiente de dessorção (ATEIA *et al.*, 2020).

Os processos de adsorção estão categorizados em classes físicas e químicas com base na natureza das forças entre o adsorbato e o adsorvente. A adsorção física está relacionada às forças de van der Waals, enquanto as ligações químicas ou forças polares mais fortes estão associadas ao processo de adsorção química (MAJD *et al.*, 2022).

O processo de adsorção de uma espécie química em um material adsorvente poroso pode ser descrito através das etapas gerais de: difusão do soluto do volume de fluido para a superfície da partícula do material adsorvente, difusão do soluto desde a superfície para o interior do poro da partícula e finalmente a adsorção do soluto na partícula em sítios ativos específicos.

O processo de transferência de massa da espécie química transferida da fase fluida para a fase sólida finaliza quando é atingida a condição de saturação do sólido em relação à espécie química transferida (DAURIA *et al.*, 2022).

A adsorção é um processo complementar muito eficaz para o tratamento de água. Particularmente a adsorção é um dos processos mais econômicos, simples e eficientes para remoção de matéria orgânica natural (MON) das águas e tem sido bastante utilizada para essa finalidade devido sua capacidade de remover pequenas quantidades desses poluentes (LOGANATHAN *et al.*, 2022).

3.3.1 O carvão ativado

O carvão ativado (CA) é muito popular por ser um excelente material para remoção de contaminantes orgânicos devido sua elevada capacidade de adsorção (BRESSAN *et al.*, 2020). O CA é um material baseado em carbono com uma estrutura porosa interna bem desenvolvida, grande área superficial, sendo adsorvente muito utilizado para tratamento de água e efluentes em todo mundo (BHATNAGAR *et al.*, 2013). “Carvão ativado” é o nome dado a um grupo de carvões que se caracterizam por possuir material carbonáceo de estrutura porosa que apresenta pequena quantidade de heteroátomos ligados a átomos de carbono, principalmente oxigênio, e uma superfície interna que o torna capaz de adsorver moléculas em líquido ou fase gasosa (GORGULHO *et al.*, 2008).

O processo para obter CA pode ocorrer de duas formas principais: por ativação física e por ativação química. A ativação física consiste na carbonização do material precursor do CA em atmosfera inerte a temperaturas entre 400 e 1200 °C seguido de tratamento com um gás oxidante (BRESSAN *et al.*, 2020). A ativação química consiste na impregnação de agentes ativadores, como ácido fosfórico (H_3PO_4), KOH (hidróxido de potássio), K_2CO_3 (carbonato de potássio), NaOH (hidróxido de sódio), Na_2CO_3 (carbonato de sódio), MgCl_2 (cloreto de magnésio), H_3PO_4 (ácido fosfórico), AlCl_3 (cloreto de alumínio) ou ZnCl_2 (cloreto de zinco). Esses agentes proporcionam a formação de ligações cruzadas, tornando o material menos propenso à volatilização quando aquecido a altas temperaturas (FERREIRA; MELO, 2021).

O carvão ativado é mais poroso que o carvão tradicional. A distribuição do tamanho dos poros depende do tipo fonte de carbono e do método de ativação utilizado. A porosidade do carvão depende dos diferentes tamanhos e formas dos poros, incluindo a sua profundidade (FERREIRA; MELO, 2021). Segundo Patel (2020), os microporos do carvão ativado têm maior capacidade de adsorção (constituindo cerca de 95% de sua superfície total), enquanto os macroporos e mesoporos são funcionalmente transportadores dos adsorbatos até estes microporos (OLIVEIRA, 2020).

Poros com diâmetro superior a 50 nm são chamados de macroporos; poros com diâmetros entre 2 nm e 50 nm são denominados de mesoporos e poros com diâmetros menores que 2 nm são denominados de microporos (IUPAC, 1985).

3.4 Áreas verdes na cidade de Fortaleza

De acordo com a definição da Resolução CONAMA N° 369, de 28 de março de 2006, áreas verdes são consideradas áreas de domínio público que desempenham função ecológica, paisagística e recreativa, que propiciem melhora da qualidade estética, funcional e ambiental da cidade, possuindo vegetação e espaços livres de impermeabilização (BRASIL, 2006).

Segundo Ergin (2021) é necessário um planejamento adequado para a preservação das áreas verdes e garantia da acessibilidade dessas áreas pelos moradores urbanos. Vasconcelos *et al.* (2021) relatam que informar a população sobre os benefícios das áreas verdes contribui para a preservação local e evita que o ambiente se torne vulnerável às ocupações urbanas ou outras formas de uso. Arana *et al.* (2020) definem que áreas verdes são indicadores de qualidade ambiental e desempenham um papel importante na qualidade de vida da cidade, fazendo uma comunicação entre a urbanização e a natureza. Pouso *et al.* (2020), por sua vez, relatam que o contato com a natureza através de áreas verdes proporciona inúmeros benefícios intangíveis, principalmente quando se trata da saúde mental.

Um estudo realizado por Albeal *et al.* (2022) mostra a importância das áreas verdes na promoção de saúde para crianças e jovens através da prática de exercício físico durante a pandemia do Covid-19. Santana *et al.* (2022), neste contexto, mostraram que áreas verdes causam melhoras na qualidade de vida da população através das taxas satisfatórias de absorção de vitamina D em pessoas que utilizam o espaço.

No município de Fortaleza, Ceará, o art. 19 do Plano Diretor Participativo (FORTALEZA, 2009) define áreas verdes como: espaços ao ar livre, de uso público ou privado, que se destinam à criação ou à preservação da cobertura vegetal, à prática de atividades de lazer, recreação e à proteção ou ornamentação de obras viárias. De acordo com Vasconcelos *et al.* (2021), o município de Fortaleza possui diversidade de áreas verdes urbanas protegidas por leis federais, estaduais e municipais, incluindo: dunas, parques urbanos, ambientes lacustres e vegetação nativa.

Ainda seguindo as definições de áreas verdes pela legislação municipal, a Lei N° 236/2017 que trata sobre parcelamento, uso e ocupação do solo, determina que áreas verdes são o percentual da área de parcelamento exclusivamente destinada para praças, parques e jardins que possam ser usufruídas pela população.

A prefeitura municipal de Fortaleza em conjunto com a Secretaria de Urbanismo e Meio Ambiente (SEUMA) desenvolvem políticas públicas voltadas para a sustentabilidade urbana, incluindo a preservação de áreas verdes. Dentre estas políticas, está o Plano Fortaleza 2040, um

planejamento de desenvolvimento urbano sustentável, com medidas a serem implementadas a curto, médio e longo prazo, com metas a serem alcançadas até o ano de 2040 (FORTALEZA, 2020). Os planos propostos para áreas verdes como os parques urbanos estão inseridos no Eixo 4 - Qualidade do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais do referido plano gestor.

O Programa Fortaleza Cidade Sustentável segundo a Prefeitura de Fortaleza é um Programa financiado pelo Banco Mundial e tem como objetivo investir em saneamento e revitalização de áreas verdes, aprimorando o planejamento de ocupação do solo e melhorando o ambiente urbano (FORTALEZA, 2020). Este Programa também tem como um dos objetivos o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial, a meta 11.7 do Objetivo 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis é proporcionar acessibilidade universal em espaços verdes que sejam públicos e seguros (IPEA, 2018).

Outro programa de preservação de áreas verdes, implantado pela Prefeitura em parceria com outras secretarias, é o Programa Fortaleza Mais Verde, em que um dos objetivos é proporcionar a criação de microparques urbanos, através de áreas verdes públicas, promovendo extensão de áreas naturais que estimulam a conscientização ambiental da população. Em parceria com a Autarquia de Urbanismo e Paisagismo de Fortaleza (URBFOR), o programa teve início no ano de 2020, com o primeiro microparque entregue no mesmo ano no Bairro Parque Manibura.

3.5 Parques urbanos

Parque urbanos são considerados como áreas verdes que possuem proteção especial devido a vegetação predominante e características naturais. Parques urbanos fazem parte da integração organizacional formal e espacial urbana, oferecendo vários serviços de saúde, ambientais, sociais, e isto identifica os fatores que influenciam o uso do parque (CHUANG *et al.*, 2022).

Assim como outros tipos de áreas verdes, os parques urbanos também desempenham uma influência direta na qualidade de vida da população, trazendo benefícios ao proporcionar espaço para lazer, prática de exercícios físicos, contribuindo para o bem-estar físico, psicológico, social e fisiológico (SEUMA, 2023).

Segundo Vilaça *et al.* (2023), os parques urbanos surgem pela necessidade de agregar mais área verde nas cidades, sendo o objetivo principal a preservação da flora e fauna nativas. Além dos benefícios já citados, também possuem papel vital no resfriamento térmico urbano

(PENG *et al.*, 2021), devido às diferenças no fechamento do dossel e na capacidade de evapotranspiração pela vegetação local (ZHEN *et al.*, 2023).

O interesse da população nos parques urbanos pode estar relacionado com as preferências e expectativas segundo alguns fatores como *layout*, comodidade e atividades recreativas disponíveis (BIERNACKA *et al.*, 2020). Parques que possuem espaços verdes e corpos d'água abundantes, atributos paisagísticos e interação com o seu entorno, possuem maior possibilidade de ser atraente mediante os interesses dos visitantes (LI *et al.*, 2020).

De acordo com o Art. 3, inciso XX do Código Florestal Brasileiro, parques urbanos devem estar inseridos no Plano Diretor, dentro das leis de zoneamento urbano e uso do solo. O Plano Diretor Participativo de Fortaleza institui a criação de parques urbanos para fins de preservação e qualidade ambiental da cidade.

Segundo a SEUMA (2023), os espaços verdes presentes no município de Fortaleza foram inseridos dentro da Macrozona de Proteção Ambiental (MPA), a qual segundo o Plano Diretor de Fortaleza, está dividida em três partes, sendo elas: I - Zona de Proteção Ambiental (ZPA); II - Zona de Recuperação Ambiental (ZRA) e III - Zona de Interesse Ambiental (ZIA). Os parques com presença de recursos hídricos foram classificados como Zonas de Proteção Ambiental (ZPA) - Faixa de Preservação Permanente dos Recursos Hídricos, enquanto os que não possuem, são classificados como Zona Ambiental de Desenvolvimento Sustentável.

De acordo com o art. 64, da Lei Complementar Nº 62/2009, a ZPA tem como alguns objetivos: envolver a preservação de sistemas naturais, permitindo apenas o uso indireto dos recursos naturais; promover a realização de estudos e pesquisas científicas; desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental e proteger ambientes naturais nos quais sejam garantidas condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e fauna residente ou migratória (FORTALEZA, 2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta parte do trabalho, o trabalho foi dividido em quatro partes, sendo estas: coleta e caracterização físico-química das águas brutas das lagoas, tratamento das lagoas através de ensaios de coagulação/floculação/decantação (C/F/D), tratamento águas decantadas por adsorção com carvão ativado e caracterização físico-química e microbiológica das águas tratadas por processo combinado.

4.1 Materiais usados

Os materiais utilizados para a realização dos estudos experimentais foram o PAC 23 (23% em Al_2O_3) fornecido pela Bauminas Química e a poliacrilamida 85% ($\text{C}_3\text{H}_5\text{NO}$)_n fornecida pela SNF do Brasil. O carvão ativado em pó (CAP) Norit® SAE Super foi cedido pela Dolder Ltd, o qual de acordo com o fabricante, possui alta adsorção e características de micro e mesoporosidade. Os meios de cultivo representados pelo Caldo Lactosado e Caldo Bile Verde Brilhante foram fornecidos pela Himedia® e utilizados na caracterização microbiológica das amostras.

4.2 Áreas de estudo

As lagoas em estudos estão situadas na cidade de Fortaleza, a qual é a capital do Estado do Ceará, Brasil. Fortaleza possui cerca de 2,4 milhões de habitantes e possui uma área de 312,353 km² de acordo com os dados apresentados no censo de 2022 (IBGE, 2023). De forma administrativa, a cidade de Fortaleza está dividida em 12 Secretarias Executivas Regionais (SER), que administram as políticas públicas e atendem as necessidades da população residente no local de implantação. Devido a carência de novos estudos e a logística para realização das coletas, entre os 14 Parques Urbanos das Lagoas municipais criados pelo decreto municipal N° 13286/14, 6 deles foram escolhidos para esta pesquisa, a saber: Parque Urbano Lago do Jacarey, Parque Urbano Lagoa da Maraponga, Parque Urbano Lagoa Jornalista Demócrito Dummar (Messejana), Parque Urbano Lagoa do Opaia, Parque Urbano Lagoa da Parangaba, Parque Urbano Lagoa do Porangabussu. As características do georreferenciamento das lagoas estão apresentadas na Tabela 3.

A Figura 1 representa o mapa da distribuição das lagoas urbanas em estudo de acordo com a área de cada SER.

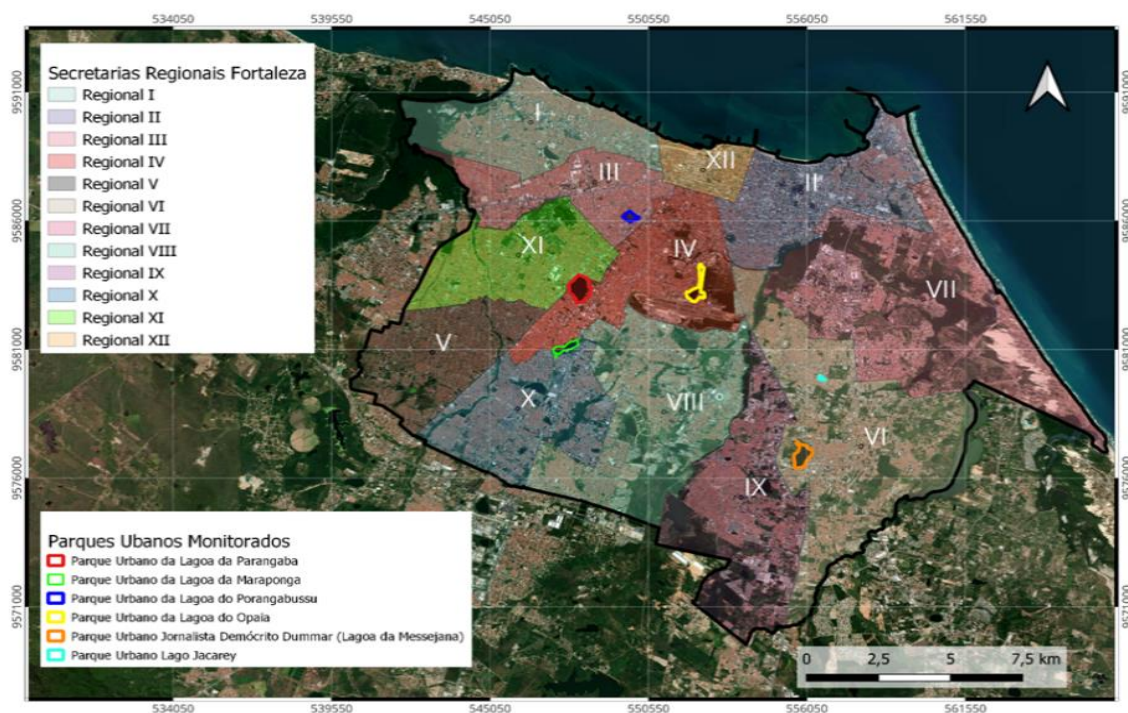
Tabela 3 — Características do georreferenciamento das lagoas urbanas em estudo.

Lagoa	Coordenada geográfica	Área	Bacia hidrográfica	SER	Classificação CONAMA 357/05
Jacarey	3°48'02.28" S 38° 29'26.67" O	21.655,27 m ²	Rio Cocó	VI	Classe II
Maraponga	3°47'21.20" S 38°34'07.59" O	193.697,72 m ²	Rio Cocó	IV	Classe II
Messejana	3°49'42.35" S 38°29'48.55" O	388.060,80 m ²	Rio Cocó	VI	Classe II
Opaia	3°46'16.43" S 38°31'49.13" O	310.748,17 m ²	Rio Cocó	IV	Classe II
Parangaba	3°46'11.22" S 38°34'03.83" O	567.701,84 m ²	Rio Ceará	IV	Classe II
Porangabussu	3°44'41.86" S 38°33'03.14" O	117.258,93 m ²	Rio Cocó	III	Classe II

Fonte: Adaptado de SEUMA (2023).

Diante o ponto de vista meteorológico, para comparação das amostras brutas entre as coletas do período seco e chuvoso, no mês de dezembro de 2023 (período seco) foi registrada uma precipitação de 26,6 mm. Já a quadra chuvosa no ano de 2024 na cidade de Fortaleza foram registradas precipitações de 28,8 mm no mês de janeiro; 487,8 mm no mês de fevereiro; 355,1 mm no mês de março; 162,6 mm no mês de abril e 318,3 mm no mês de maio (INMET, 2024).

Figura 1 — Localização das lagoas e seus parques urbanos em estudo de acordo com a área de cada SER que o abriga na cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil



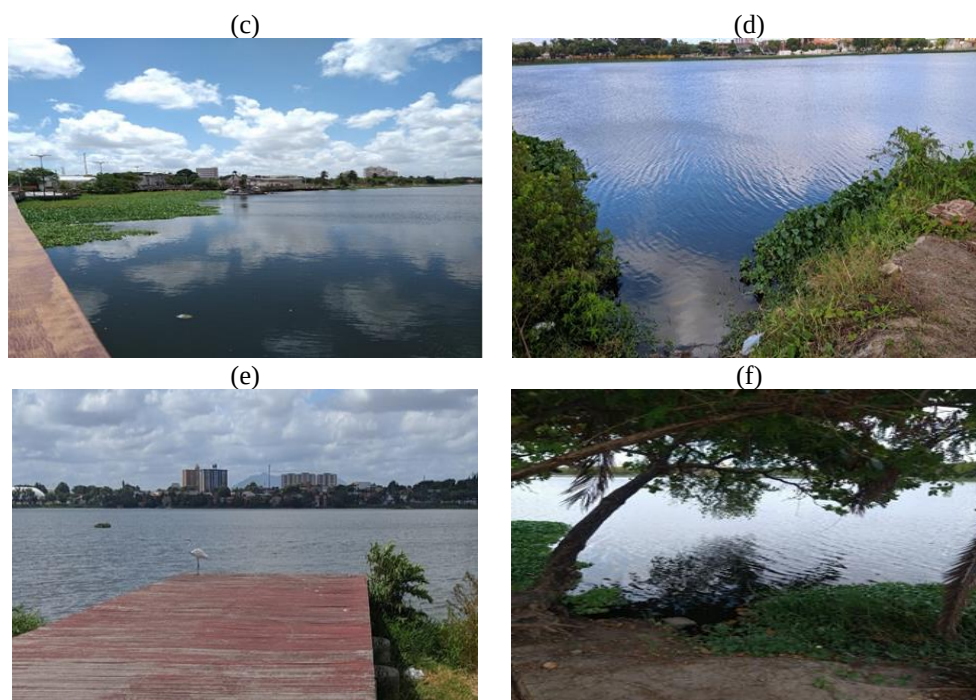
Fonte: Autor (2024).

4.3 Coleta e caracterização das amostras brutas das lagoas

Para cada lagoa em estudo foi escolhido um local de fácil acesso devido ao grande volume de formas vegetativas nas margens dos mananciais (Figura 2).

Figura 2 — Locais de coleta das lagoas urbanas em estudo na cidade de Fortaleza. a) Jacarey, b) Maraponga, c) Messejana, d) Opaia, e) Parangaba e f) Porangabussu





Fonte: Autor (2024).

As amostragens foram realizadas próximas às margens das lagoas com o auxílio de equipamento de coleta lançado sobre as águas e as águas brutas após coletadas foram armazenadas em bombonas de plástico de 20 L, previamente lavadas com água corrente e secas. Todo o material de coleta e o uso de equipamento de proteção individual (EPI) como luvas descartáveis e sapatos fechados, seguiram as recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Lagoas (CETESB, 2011). A primeira coleta para todas as lagoas ocorreu no dia 13 de dezembro de 2023 (estação seca) durante o turno da manhã. A segunda coleta foi realizada nos dias: 24 de abril nas lagoas do Jacarey e Messejana, 06 de maio nas lagoas do Opaia e Porangabussu e 15 de maio nas lagoas da Parangaba e Maraponga. Após a coleta, o material seguiu para o Laboratório de Tecnologia Química (LTQ) do IFCE *campus* Fortaleza para as análises dos parâmetros de: pH, turbidez, cor aparente, DQO e matéria orgânica. As análises seguiram as metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

As metodologias empregadas para as análises físico-químicas estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 — Metodologias usadas nas análises físico-químicas das águas das lagoas.

Parâmetros	Unidade	Método	Equipamento
Cor aparente	uH	Comparação visual	Colorímetro Visual DEL LAB/DLNH-100
DQO	mg/L	Espectrofotometria	Espectrofotômetro Genesys 150 UV-Vis
Matéria orgânica dissolvida	Absorbância a 254 nm	Espectrofotometria	Espectrofotômetro Shimadzu UV-1280
pH	-	Potenciometria	pHmetro Orion Thermo Scientific
Turbidez	UNT	Nefelometria	Turbidímetro DEL LAB/ DLT-W

Fonte: Autor (2024).

A análise microbiológica foi realizada somente para as amostras brutas e tratadas após tratamento adsorptivo da coleta 2 (período chuvoso) devido a logística de fornecimento dos insumos necessários. Neste caso para os testes presuntivo e confirmativo do quantitativo de coliformes totais (CT) foi utilizada a técnica do Número Mais Provável (NMP) com três séries de cinco tubos de ensaio, de acordo com as instruções da Instrução Normativa MAPA N° 62, de 26 de agosto de 2003 (BRASIL, 2003). Tabelas baseadas na aplicação da distribuição de Poisson foram utilizadas para determinar o valor de NMP/100 mL de CT.

4.4 Tratamento físico-químico de coagulação/floculação/decantação

Os ensaios de coagulação/floculação/decantação foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) do IFCE *Campus* Fortaleza usando um Jar-Test MILAN (modelo JT303) com capacidade para 6 jarros. Em cada ensaio foram usados 1,5 L de água bruta, PAC 23 (coagulante) e poliacrilamida 0,02 % (floculante aniônico), sob pH natural.

Para o estudo de efeito das variáveis (dosagens de PAC 23 e PAM) sobre as eficiências de remoções de cor e turbidez foi usado um gradiente de 700 s^{-1} em um tempo de 60 s na etapa de mistura rápida, mr, (coagulação) e gradientes de velocidades escalonados em ordem decrescente de 135, 95 e 53 s^{-1} com tempos (t) de 10 min na etapa de floculação, totalizando 30 minutos de mistura lenta. Para a etapa de decantação (sedimentação) dos flocos foi adotado um tempo de 30 min. Estas condições operacionais hidrodinâmicas foram definidas a partir dos trabalhos de Silva *et al.* (2023) e Galiassi *et al.* (2023).

Na otimização das dosagens de PAC 23 e PAM foi executado um planejamento fatorial de 2 níveis (2^2) de concentração de cada espécie (superior +1 e inferior -1) e um ponto central (0) analisado em duplicata, conforme relatado por Silva, C. *et al.* (2020). A análise estatística dos dados foi realizada com o auxílio do software *Statistica* Version 10.

Para determinação das concentrações do coagulante e floculante foram realizados testes preliminares a fim de verificar a eficiência dos mesmos. O domínio experimental para o planejamento fatorial executado está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 — Domínio das variáveis para os ensaios de coagulação/floculação/decantação das águas das lagoas urbanas em estudo

Variáveis	Níveis		
	-1	0	+1
PAC 23% (mg/L)	2	4	6
PAM 0,02% (mg/L)	0	2	4

Fonte: Autor (2024).

Notadamente foram considerados como fatores independentes (variáveis) as dosagens do PAC e de PAM e fatores dependentes (respostas) as remoções % de cor e da turbidez.

A Tabela 6 mostra a matriz fatorial dos experimentos utilizada para os ensaios de coagulação/floculação/decantação (C/F/D).

Tabela 6 — Matriz de experimento usada nos ensaios de coagulação/floculação/decantação das águas das lagoas urbanas em estudo.

Ensaio	PAC 23 (mg/L)	Poliacrilamida 0,02% (mg/L)	Configurações no Jar-Test	Resposta experimental
1 (-1,-1)	2	0	$t_{mr} = 60\text{ s}$	Remoções (%) de cor aparente e turbidez
2 (-1, +1)	2	4	$G_{floc} = 135, 95, 53\text{ s}^{-1}$	
3 (+1, -1)	6	0	(escalonado)	
4 (+1,+1)	6	4	$t_{floc} = 10\text{ min}$	
5 (0,0)	4	2	$t_{dec} = 30\text{ min}$	
6 (0,0)	4	2		

Fonte: Autor (2024).

Após o tratamento de C/F/D, os sobrenadantes foram coletados imediatamente em tubos Falcon de 50 mL e levados para caracterização, conforme metodologias descritas na Tabela 6. As amostras sobrenadantes que apresentaram os melhores resultados de remoção de cor e turbidez foram posteriormente selecionadas e usadas no tratamento por adsorção em carvão ativado, completando o tratamento via processo combinado em estudo.

4.5 Tratamento por adsorção em carvão ativado

Neste processo as melhores amostras de sobrenadante de cada lagoa após tratamento coagulação/floculação/decantação (águas decantadas) foram submetidas a adsorção em carvão ativado em pó (CAP) para fins da remoção de cor, turbidez e matéria orgânica dissolvida (MOD) para fins de adequação ao uso de consumo e/ou atendimento às legislações ambientais específicas.

Nos estudos de adsorção foram utilizados Erlenmeyer de 125 mL contendo 20 mL das águas decantadas tratada por processo físico-químico e 25 mg de carvão ativado comercial (CAP). Ensaios preliminares com as águas da Lagoa do Opaia usando massas de 25, 50 e 100 mg de adsorvente (carvão ativado) mostraram remoções elevadas (> 90 %) da MOD (UV_{254}) em um tempo de contato de 60 min, estabelecido entre os períodos de 30, 60, 90 e 120 min testados. O CAP antes do uso foi previamente limpo a 220 °C por 2 h em estufa para eliminação de umidade e outros compostos adsorvidos.

Para caracterização do carvão ativado, foi realizado a análise de determinação do número de iodo baseado na metodologia estabelecida pela NBR 12073 MB 3410 (ABNT, 1991). Os resultados mostram um número de iodo de 1017 mg I_2 /g. Este mesmo carvão foi usado por Ferreira *et al.* (2017), que relataram um número de azul de metileno de 28 g/100g, diâmetro médio de partículas de 15 μ m e área superficial de 1150 m²/g.

Para o equilíbrio de adsorção em batelada a temperatura ambiente (25 °C) os Erlenmeyeres foram submetidos a agitação a 150 rpm em Shaker Marconi (modelo 410/CF) a temperatura ambiente durante 1 h. Tempo que se mostrou suficiente para se atingisse o equilíbrio de separação nas condições estudadas. Nos estudos cinéticos foram retiradas alíquotas em intervalos de 5, 10, 15, 30, 45 e 60 min e a MOD foi estimada.

A remoção de cor e turbidez e a remoção de matéria orgânica dissolvida (UV_{254}) para os diferentes estudos realizados foram calculadas a partir da Equação (1), visando avaliar as eficiências dos tratamentos aplicados.

$$\text{Remoção (\%)} = \frac{x_0 - x_f}{x_0} \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde: x_0 é o valor inicial do parâmetro físico-químico analisado (água bruta) e x_f é o valor final do parâmetro físico-químico ao fim do processo executado (água tratada).

Para a modelagem cinética da adsorção em batelada foi adaptado e adotado o modelo de pseudo primeira ordem proposto por Chan e Chu (2003).

$$\frac{UV_t}{UV_0} = 1 - \frac{t}{m + b \cdot t} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde: UV_t corresponde a absorvância a 254 nm da solução remanescente após tratamento adsorptivo no tempo t (min), UV_0 é a absorvância a 254 nm na solução inicial, $1/m$ (min^{-1}) é a constante cinética de pseudo primeira ordem e $1/b$ é uma constante adimensional relacionada à capacidade adsorptiva do sistema.

4.6 Análises estatísticas

A análise estatística dos resultados foi executada usando o software *Statistica* Version 10 para avaliação da significância dos tratamentos aplicados nas lagoas brutas e tratadas a partir do planejamento fatorial utilizado. A análise de variância (ANOVA) segundo o teste F e o p -valor de comparação para uma significância de 95 % ($p < 0,05$) foram aplicados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização das águas brutas

Os valores dos parâmetros físico-químicos de caracterização das águas brutas das lagoas urbanas estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 — Caracterização físico-química das águas brutas das lagoas urbanas em estudo.

Coleta 1 (período seco)						
Lagoa	Cor (uH)	pH	Turbidez (UNT)	DQO (mg/L)	MOD UV₂₅₄	CT (NMP/100ml)
Jacarey	180	7,84	28,9	16,7	0,279	-
Maraponga	100	7,82	13,5	26,7	0,250	-
Messejana	150	7,89	21,5	40,1	0,224	-
Opaia	100	7,52	20,2	54,1	0,243	-
Parangaba	80	7,81	15,3	66,7	0,291	-
Porangabussu	130	7,73	13,2	43,3	0,286	-
Coleta 2 (período chuvoso)						
Lagoa	Cor (uH)	pH	Turbidez (UNT)	DQO (mg/L)	MOD UV₂₅₄	CT (NMP/100ml)
Jacarey	120	7,38	13,4	39,1	0,195	350
Maraponga	80	7,46	8,89	61,7	0,202	1600
Messejana	100	7,95	11,8	65,7	0,261	900
Opaia	140	7,48	13,2	59,1	0,189	1600
Parangaba	60	7,45	6,32	65,2	0,156	1600
Porangabussu	50	7,41	30,2	89,1	0,101	500

-: Não avaliado. Fonte: Autor (2024)

Os valores obtidos na caracterização físico-química das amostras das duas coletas indicam que os parâmetros cor aparente e turbidez das lagoas urbanas estão fora do padrão estabelecido pelo Ministério da Saúde Portaria nº 888/2021 (BRASIL, 2021) que trata dos padrões de potabilidade da água para consumo humano. Os valores estabelecidos por esta legislação são: cor de 15 uH; pH de 6,0 a 9,0, turbidez de 5 UNT e ausência de coliformes totais para 100 ml de água. A DQO não é determinada por esta portaria. A matéria orgânica é

determinada por esta portaria a partir do valor de Carbono Orgânico Total (COT), mas particularmente nesse estudo o acompanhamento foi feito a partir da remoção da matéria orgânica dissolvida (MOD) via leituras de absorbância a 254 nm (UV₂₅₄).

Segundo Berlanda *et al.* (2021), a Resolução CONAMA Nº 357/2005 assim como a Portaria MS Nº 888/2021 não determinam valores limites para a DQO das águas naturais, e neste caso deve-se adotar de modo alternativo, o valor definido pela Resolução CONAMA Nº 430/2011 que é de 180 mg/L (BRASIL, 2011). Para esta referida legislação, nenhuma lagoa das duas coletas apresentou valor acima do limite permitido. Resultados semelhantes foram encontrados por estes autores, em seu estudo sobre qualidade de águas superficiais.

Os resultados encontrados para pH revelam que as amostras em ambas as coletas obedecem ao limite máximo estabelecido pela Portaria Nº 888/2021, que determina uma faixa de pH de 6,0 a 9,0. Estudos realizados por Teles *et al.* (2022) e Bega *et al.* (2020) sobre a qualidade de águas naturais também mostram enquadramento do pH a esta legislação. Esteves (2011) relata que o pH pode ser considerado a variável ambiental mais importante em análises de recursos hídricos e que pode ser uma das mais difíceis de interpretar, devido aos inúmeros fatores que podem influenciar seu valor. Desta forma, considera-se que apesar das lagoas apresentarem outros parâmetros fora do padrão legal, o pH indica que no momento das coletas, não havia outras fontes de contaminação que pudessem aumentar sua acidez ou alcalinidade.

Os valores de matéria orgânica dissolvida (UV₂₅₄) na Tabela 7 são semelhantes e revelam um elevado teor de compostos orgânicos dissolvidos, os quais, em geral, contribuem para o aparecimento das características organolépticas da água, como cor e odor. Estudo realizado por Dantas *et al.* (2011) sobre a caracterização de uma água superficial mostrou valor elevado de 400 uH para cor aparente e 15,9 mg/L de DQO, sendo relatados por eles como indicadores de elevadas concentrações de MOD no corpo hídrico. Semelhante às amostras da coleta 1 (período seco), Silva *et al.* (2022) encontraram valores de $0,260 \pm 0,009$ para a UV₂₅₄ ao avaliarem a Lagoa da Pampulha em Minas Gerais. Oliveira *et al.* (2020), por sua vez, mostraram um valor médio de 0,122 para a UV₂₅₄ na caracterização da Lagoa de Extremoz no Rio Grande do Norte durante o período chuvoso nesta localidade.

De forma geral, em comparação às coletas 1 (período seco) e 2 (período chuvoso), observa-se uma clara tendência de redução dos parâmetros de cor, turbidez e MOD durante o período chuvoso. Para o pH, os valores permaneceram na faixa de 7,6 indicando um caráter levemente neutro. Por outro lado, para a DQO observa-se um incremento dos valores no período chuvoso. Souza *et al.* (2020) encontraram resultados semelhantes ao monitorarem um rio e observarem maior valor de DQO na estação invernal, com valores que variaram de 6,55 mg/L

para 217,33 mg/L do período seco para o chuvoso. Os autores justificam este fato ao relatarem que no período das chuvas, sedimentos são carregados para os canais fluviais, provocando reações químicas, carência de oxigênio e aumento da matéria orgânica disponível.

Zimmermann *et al.* (2008) observaram que no período chuvoso ocorre diluição dos corpos d'água, o que em princípio diminui a DQO, entretanto processos de lixiviação do material orgânico, movimentação do material sedimentado e contaminação na coluna d'água podem preponderar e gerar aumento deste parâmetro físico-químico.

Outros resultados similares aos encontrados nesta pesquisa foram relatados por Araújo *et al.* (2016) ao monitorarem uma água superficial durante o período seco e chuvoso e encontrarem em vários pontos de coleta, valores reduzidos de cor e turbidez no período chuvoso.

Alencar *et al.* (2019) relatam que para a análise da qualidade da água, a precipitação pluviométrica é uma das variáveis mais importante, já que ela influencia na dinâmica dos demais fatores como na diminuição da temperatura da água, salinidade, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e turbidez.

5.2 Tratamento por coagulação/floculação/decantação

Os resultados dos ensaios de C/F/D realizados segundo o planejamento fatorial estão apresentados na Tabela 8. O pH não foi monitorado por se encontrar dentro da faixa estabelecida para potabilidade nas condições de coleta (Tabela 7), bem como a DQO.

Tabela 8 — Remoção de cor (%) das lagoas urbanas em estudo na cidade de Fortaleza após tratamento por coagulação/floculação/decantação.

Coleta 1 (período seco)								
Ensaio	Fator		Remoção de cor (%)/Valor obtido					
	PAC	PAM	Jacarey	Maraponga	Messejana	Opaia	Parangaba	Porangabussu
1	2(-1)	0(-1)	11,1/160	30,2/69,8	53,3/70,05	30,1/69,9	25,2/59,8	46,2/69,9
2	2(-1)	4(+1)	27,8/129,9	50,1/49,9	66,7/49,9	50,3/49,7	37,5/50	61,5/50,7
3	6(+1)	0(-1)	55,6/79,9	50,3/49,7	80,1/29,8	70,2/29,8	62,5/30	69,2/40,04
4	6(+1)	4(+1)	77,8/39,9	70,2/29,8	86,7/19,9	70,3/29,7	75,1/19,9	76,9/30,03
5	4(0)	2(0)	55,6/79,9	60,4/39,6	80,1/29,8	70,2/29,8	62,5/30	69,2/40,04
6	4(0)	2(0)	55,6/79,9	60,3/39,7	80,1/29,8	70,4/29,6	62,5/30	69,2/40,04

Valores de entrada de cor aparente: Jacarey (180), Maraponga (100), Messejana (150), Opaia (100), Parangaba (80) e Porangabussu (130).

Coleta 2 (período chuvoso)								
Ensaio	Fator		Remoção de cor (%) / Valor obtido					
	PAC	PAM	Jacarey	Maraponga	Messejana	Opaia	Parangaba	Porangabussu
1	2(-1)	0(-1)	33,3/80,04	12,5/70	20,3/79,7	57,1/60,06	40,2/35,8	48,3/25,8
2	2(-1)	4(+1)	75,1/29,8	50,2/39,8	50,4/49,6	85,7/20,02	65,1/20,9	50,4/24,8
3	6(+1)	0(-1)	79,2/24,9	62,5/30	60,4/39,6	87,1/18,06	65,3/20,8	50,1/24,9
4	6(+1)	4(+1)	83,3/20,04	78,1/17,5	82,5/17,5	87,5/17,5	70,2/17,8	50,3/24,8
5	4(0)	2(0)	83,3/20,04	62,5/30	60,3/39,7	87,1/18,06	70,2/17,8	63,3/18,3
6	4(0)	2(0)	85,4/17,5	68,7/25,04	60,2/39,8	87,4/17,6	70,3/17,8	66,7/16,6

Valores de entrada de cor aparente: Jacarey (120), Maraponga (80), Messejana (100), Opaia (140), Parangaba (60) e Porangabussu (50). Fonte: Autor (2024).

Diante dos resultados apresentados, na coleta 1 (período seco) a lagoa que obteve melhor resposta de remoção de cor foi a Lagoa de Messejana correspondente a 86,7%. As menores eficiências foram encontradas nos tratamentos com ausência do floculante (PAM) e na menor concentração de coagulante, com valores entre 11,1% e 53,3%. Notadamente no ensaio 4, para as maiores concentrações de coagulante (PAC 23) e floculante (PAM), 6 mg/L e 4 mg/L, respectivamente, foram obtidas as maiores remoções de cor, com valores entre 70% e 86,7%. Especialmente no ensaio 3 da Lagoa do Jacarey foi observado que o melhor resultado, onde a ausência do floculante foi compensada pela maior concentração do coagulante. Assim, quando se considera a Portaria MS N° 888/2021, que é mais restritiva quanto a cor final da água bruta (15 uH), nenhuma das águas tratadas por C/F/D nas lagoas de Jacarey (40 a 160 uH), Maraponga (30 a 70 uH), Messejana (20 a 70 uH), Opaia (30 a 70 uH), Parangaba (20 a 60 uH) e Porangabussu (30 a 70 uH) mostraram remoções de cor que levassem à conformidade legal para este parâmetro.

Na coleta 2 (período chuvoso), lagoa que obteve melhor resposta de remoção de cor foi a Lagoa do Opaia, correspondente a 87,5%. As menores eficiências foram encontradas nos tratamentos com ausência da PAM, com valores entre 12,5% e 57,1%. As maiores eficiências de remoção foram encontradas no tratamento 4 (6 mg/L de PAC 23 e 4 mg/L de PAM) para as lagoas da Maraponga, Messejana e Opaia, com valores de remoção de 78,1%, 82,5% e 87,5%, e no tratamento 6 (4 mg/L de PAC 23 e 2 mg/L de PAM) para as lagoas do Jacarey, Parangaba e Porangabussu, com valores de remoção de 85,4%, 87,4% e 66,7%, respectivamente. Em conformidade com a Portaria MS N° 888/2021, nenhuma das lagoas: Jacarey (17,5 a 80 uH), Maraponga (17,5 a 70 uH), Messejana (17,5 a 79,7 uH), Opaia (17,5 a 60 uH), Parangaba (17,82

a 35,88 uH) e Porangabussu (16,65 a 25,85 uH) adequou-se ao valor de referência de 15 uH estabelecido pela Portaria MS N° 888/2021.

Em comparação com a resolução CONAMA 357/05 que classifica as águas naturais, os resultados obtidos para a remoção de cor aparente nas duas coletas mostram que para o período seco, o tratamento físico-químico aplicado foi eficiente para melhoria da qualidade da água permitindo a adequação das águas em estudo para a Classe I, particularmente, nos ensaios 5 e 6 para as lagoas de Maraponga, Messejana, Opaia, Parangaba e Porangabussu. Já para a Lagoa Jacarey, somente o ensaio 4 foi capaz de obter o valor de 40 uH permitido por esta resolução para águas de classe I. Para as amostras do período chuvoso, o ensaio 1 nas lagoas de Parangaba e Porangabussu, o ensaio 2 nas lagoas de Jacarey, Maraponga e Opaia e o ensaio 3 na Lagoa Messejana foram eficazes para enquadramento à classe I.

Em geral, os resultados dos ensaios C/F/D em todas as lagoas estudadas indicam que para a remoção de cor nas condições investigadas é importante a combinação entre os agentes químicos coagulante e floculante. Zahmatkesh *et al.* (2024) relatam que a PAM fortalece o efeito de ponte, auxiliando na coagulação e conectando partículas minúsculas para formar outras mais substanciais. Estudo realizado por Balbinotti *et al.* (2024) ratifica a necessidade de coagulante auxiliar ao PAC 12 para maior efeito de remoção de cor. Os autores destacam que o PAC 12 apresenta melhores resultados de remoção de cor quando combinado a um auxiliar natural de coagulação extraído da *Moringa oleífera*. Na dosagem mais alta de PAC (15 mg/L) com 35 mg/L de extrato de *Moringa oleífera* foi alcançado uma remoção máxima de cor de 90,3%. Valverde *et al.* (2018) também realizaram estudo sobre o comportamento de dosagens do PAC combinado com *Moringa oleífera*, constatando melhor desempenho de redução de cor nas concentrações 5 mg/L de PAC e 30 mg/L de *Moringa oleífera*, correspondente a uma remoção de 92%.

Os resultados para a remoção (%) de turbidez nas lagoas urbanas para as diferentes dosagens de coagulante (PAC) e floculante (PAM) conforme o planejamento fatorial executado estão apresentados na Tabela 9.

Na Tabela 9 observa-se que na coleta 1 (período seco) a Lagoa Jacarey obteve a maior eficiência de remoção de turbidez, correspondente a 63,7%. As menores eficiências foram encontradas nos tratamentos com ausência do floculante (PAM), com valores entre 18,5% e 50,2%. No ensaio 4, para as maiores concentrações de coagulante (PAC 23) e floculante (PAM), 6 mg/L e 4 mg/L foram obtidas as maiores remoções de turbidez, com valores entre 34,6% e 63,7%.

Nos resultados apresentados para a coleta 2 (período chuvoso) observa-se que a Lagoa do Opaia obteve a maior remoção dos sólidos suspensos (99,5%). Os menores resultados de eficiências foram encontrados no tratamento 1 (2 mg/L de PAC e 0 mg/L de PAM) com valores entre 7,5% e 26,1%. As maiores remoções foram encontradas novamente no tratamento 4 (6mg/L de PAC e 4 mg/L de PAM) para as lagoas da Maraponga, Messejana e Opaia com valores de 98,8%, 99,1% e 99,5%, no tratamento 6 (4 mg/L de PAC e 2 mg/L de PAM) para as lagoas do Jacarey e Parangaba com 27,5% e 98,5 e no tratamento 2 (2 mg/L de PAC e 4 mg/L de PAM) para a Lagoa do Porangabussu (99,1%).

Em relação à Portaria MS Nº 888/2021, que determina o valor de 5 UNT para turbidez, a Lagoa Jacarey foi a única lagoa que não se adequou ao valor estabelecido em nenhum dos tratamentos estudados, enquanto as demais lagoas encaixaram-se dentro do padrão legal. Apesar da alta turbidez inicial, a Lagoa Porangabussu apresentou remoções com valores acima de 98,5% em todos os tratamentos testados. Delmonico *et al.* (2020) alcançaram 99,9% de remoção de turbidez usando 2% de PAC e polímero a 0,10 mg/L.

Estudo semelhante realizado por Chiavola *et al.* (2023) envolvendo a otimização de coagulantes para remoção de turbidez, mostraram uma melhor eficiência de remoção (90 %) quando o tratamento foi realizado apenas com uso de PAC 12 numa dosagem de 3,5 mg/L. O comportamento é diferente do observado neste estudo e em uma primeira análise pode ser explicado em função das características coloidais como o tamanho da partícula, e as condições físico-químicas da água de entrada.

Katrivesis *et al.* (2019) relataram 98% de remoção da turbidez utilizando uma combinação de PAC e PAM nas concentrações de 20 mg/L e 1,6 mg/L, respectivamente, no tratamento de uma água natural superficial. Balbinotti *et al.* (2024) encontraram resultado semelhante ao observado neste estudo. Estes autores mostraram que o PAC 12 quando combinado com o coagulante auxiliar permitiu até 85% de remoção da turbidez inicial.

Silva *et al.* (2020) relataram que a presença de residual de alumínio no final do tratamento pode levar a um aumento da turbidez. Desta forma, a qualidade das águas naturais e suas características químicas determinam as quantidades de coagulantes e floculantes necessários para um tratamento eficiente (JUNIOR; ABREU, 2018).

Analizando todos os resultados dos ensaios realizados de acordo com o planejamento fatorial aplicado adotou-se como o melhor ensaio de cada lagoa, aquele que obteve o maior percentual de remoção para os parâmetros de cor aparente e turbidez. Desta forma, na coleta 1 (período seco) o ensaio 4 com a concentração de 6 mg/L para PAC 23 e 4 mg/L para PAM foi o melhor ensaio para todas as lagoas estudadas. Para a coleta 2 (período chuvoso) o ensaio 4

foi o melhor tratamento para as lagoas Maraponga, Messejana e Opaia, enquanto para as lagoas Jacarey, Parangaba e Porangabussu o ensaio 6 de concentração 4 mg/L para PAC 23 e 2 mg/L para PAM foi o tratamento escolhido.

Assim os menores requerimentos de concentração (dosagens) dos agentes químicos para o tratamento físico-químico pode estar relacionado ao fato das amostras estarem com sua composição mais diluídas devido as chuvas recorrentes durante o período das coletas. De acordo com Cesar-Riberio e Rosa (2021), os meses que possuem maior concentração de chuvas inferem na dissolução dos poluentes na água, resultando em menores concentrações, sendo necessário verificar como os níveis de poluições variam durante uma perspectiva sazonal.

5.2.1 Efeito das dosagens dos agentes químicos

Para tratamento de águas superficiais visando potabilidade, os parâmetros de qualidade como: cor, DQO, pH e turbidez são considerados muito importantes. Particularmente nesta pesquisa, o efeito das variáveis dosagem de coagulante e floculante foram avaliados via planejamento fatorial simplificado. De antemão relata-se que na coleta 1 (período seco), a análise de variância (ANOVA) dos planejamentos fatoriais em cada uma das 6 lagoas em estudo mostrou parâmetros estatisticamente significativos ($p < 0,05$) apenas para a remoção de cor na Lagoa Jacarey e de turbidez na Lagoa do Opaia, enquanto que na coleta 2 (período chuvoso) esta mesma análise mostrou significância de fatores apenas para a remoção de cor na Lagoa de Messejana e de turbidez na Lagoa de Porangabussu, sendo estes os únicos sistemas que foram efetivamente avaliados do ponto de vista estatístico.

As Tabelas 10 e 11 mostram as ANOVAs para o efeito das variáveis em estudo sobre as remoções de cor e de turbidez nas lagoas urbanas em estudo nos períodos seco (coleta 1) e chuvoso (coleta 2). Os valores em negrito indicam os resultados que apresentaram significância a nível de 95% de acordo com o planejamento fatorial empregado.

Tabela 10 — Dados de Anova e coeficientes de regressão para as remoções de cor e de turbidez no tratamento físico-químico das lagoas urbanas em estudo durante o período seco.

Fator	Cor (Lagoa do Jacarey)				Turbidez (Lagoa do Opaia)			
	<i>F</i>	<i>p</i>	Coef. Regr.	Erro padrão	<i>F</i>	<i>p</i>	Coef Regr.	Erro padrão
Intercepto			60,055	2,25			43,811	0,391
PAC	2,5046	0,2543	4,3611	2,755	106,66	0,0092	4,950	0,479
PAM	11,954	0,0744	-95277	2,755	141,06	0,0070	5,693	0,479
PAC x PAM	56,093	0,0173	20,638	2,755	141,06	0,0070	-5,693	0,479
R ²	0,9724				0,9949			

Fonte: Autor (2024).

A Tabela 10 mostra que para a resposta experimental de remoção de cor aparente na Lagoa Jacarey apenas o fator de interação (PAC x PAM) mostrou significância. Em relação a turbidez todos os fatores (dosagem de PAC, dosagem de PAM e fator de interação PAC x PAM) mostraram-se significantes na Lagoa do Opaia. Notadamente as dosagens de coagulante (PAC) e PAM individualmente são fatores determinantes para a remoção de turbidez, o que não se observa para a remoção de cor.

Tabela 11 — Dados de Anova e coeficientes de regressão para as remoções de cor e de turbidez no tratamento físico-químico das lagoas urbanas em estudo durante o período chuvoso.

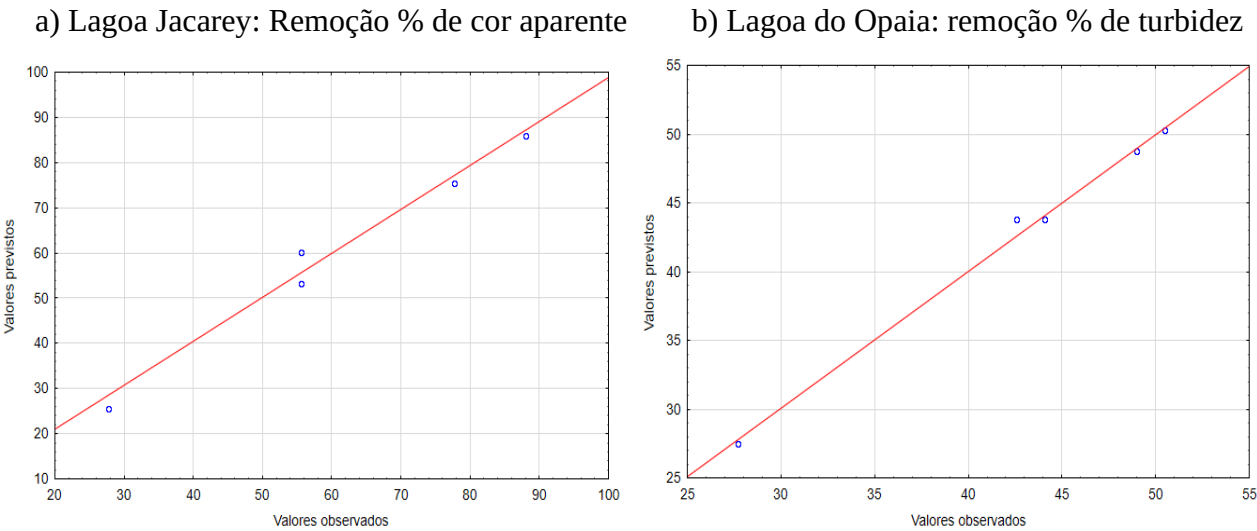
Fator	Cor (Lagoa de Messejana)				Turbidez (Lagoa de Porangabussu)			
	<i>F</i>	<i>p</i>	Coef. Regr.	Erro padrão	<i>F</i>	<i>p</i>	Coef Regr.	Erro padrão
Intercepto			55,683	2,283			98,916	0,0080
PAC	41,657	0,0231	18,050	2,796	150,00	0,0066	0,1250	0,0102
PAM	21,774	0,0429	13,050	2,796	486,00	0,0020	0,2250	0,0102
PAC x PAM	0,5114	0,5487	2,000	2,796	54,000	0,0180	0,0750	0,0102
R ²	0,9697				0,9971			

Fonte: Autor (2024).

A Tabela 11 mostra que tanto a remoção de cor na Lagoa Messejana como a remoção de turbidez são bastante dependentes dos fatores PAC e PAM, ratificando o efeito individual e sinérgico dessas espécies químicas para o fenômeno de coagulação e floculação.

A Figura 3 mostra as curvas entre os valores preditos e observados para as remoções de cor aparente na Lagoa Jacarey (a) e de turbidez na Lagoa do Opaia (b) durante o período seco.

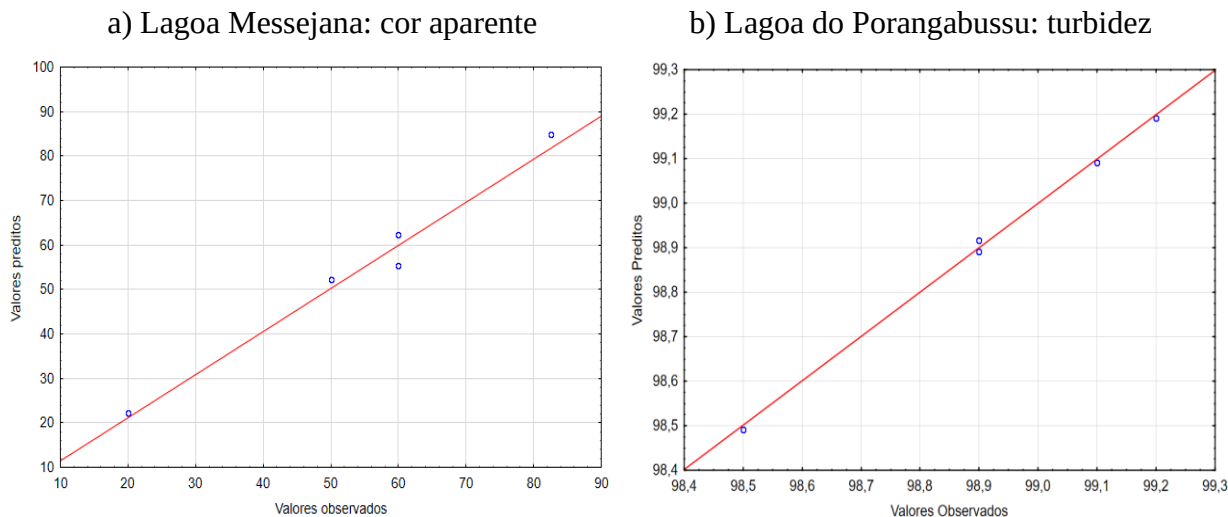
Figura 3 — Valores Preditos *versus* Valores Observados para remoção de cor na Lagoa Jacarey e remoção de turbidez na Lagoa do Opaia durante o período seco.



Fonte: Autor (2024).

A Figura 4 mostra as curvas entre os valores preditos e observados para as remoções de cor aparente na Lagoa Messejana e de turbidez na Lagoa Porangabussu durante o período chuvoso.

Figura 4 — Valores Preditos *versus* Valores Observados para remoção de cor na Lagoa de Messejana e remoção de turbidez na Lagoa Porangabussu durante o período chuvoso.



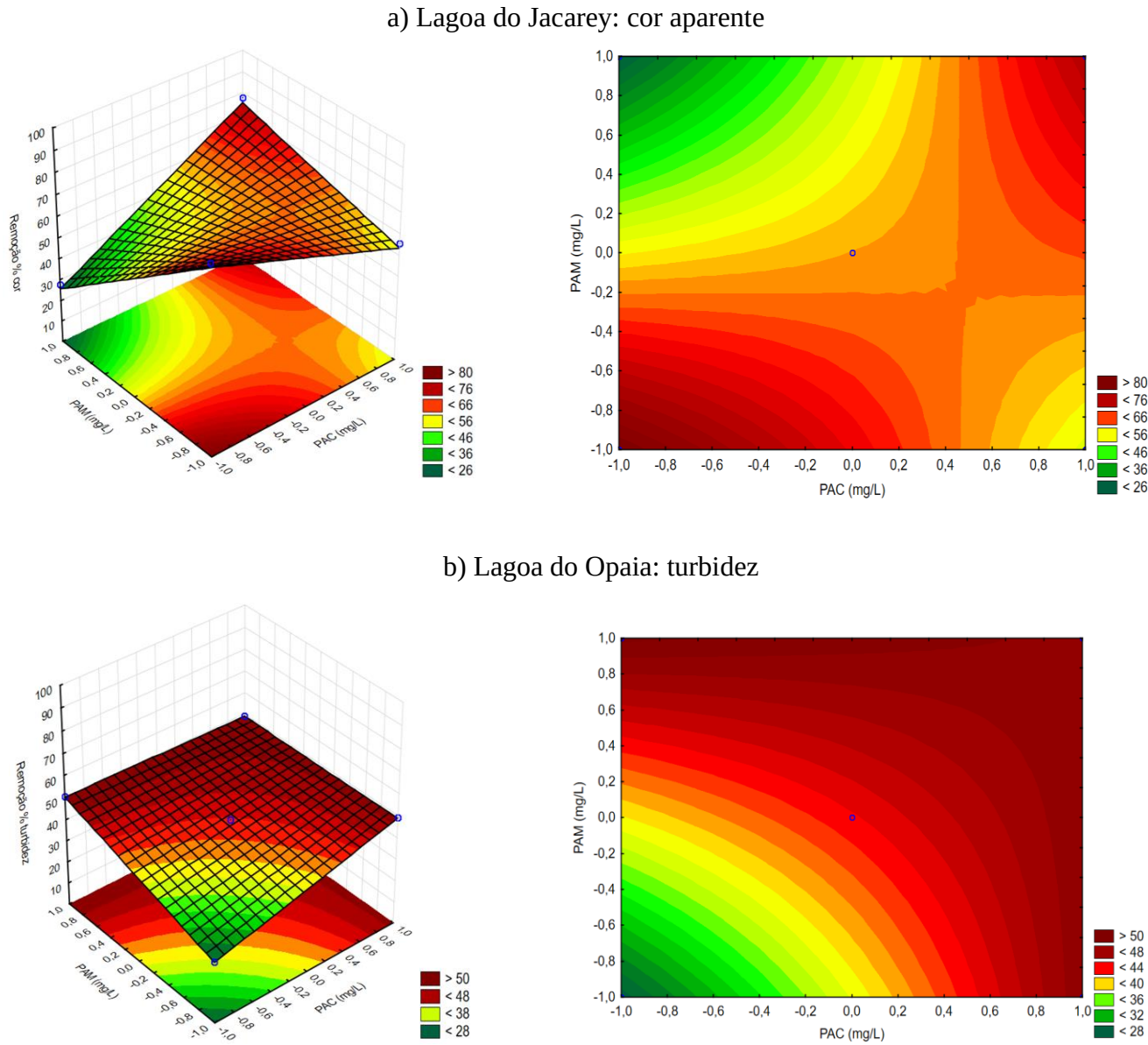
Fonte: Autor (2024).

Em geral, na Figuras 3 observa-se que para as variáveis em estudo, os pontos estão bem distribuídos próximos à linha de tendência, indicando que há uma boa concordância entre os valores experimentais e previstos. Os coeficientes de correlação de Pearson (R^2) encontrados

foram de 0,9724 e 0,9949; respectivamente nas Lagoas do Jacarey e Opaia. De forma semelhante na Figura 4 observa-se também uma elevada concordância entre os valores experimentais e previstos com coeficientes de correlação de Pearson (R^2) de 0,9697 para Lagoa de Messejana e 0,9971 para a Lagoa de Porangabussu.

As superfícies de respostas e diagramas de contorno para remoção de cor aparente na Lagoa Jacarey e remoção de turbidez na Lagoa do Opaia durante o período seco estão apresentadas na Figura 5 a seguir.

Figura 5 — Superfícies de resposta para remoções (%) cor e de turbidez nas lagoas de Jacarey e do Opaia durante o período seco.



Fonte: Autor (2024).

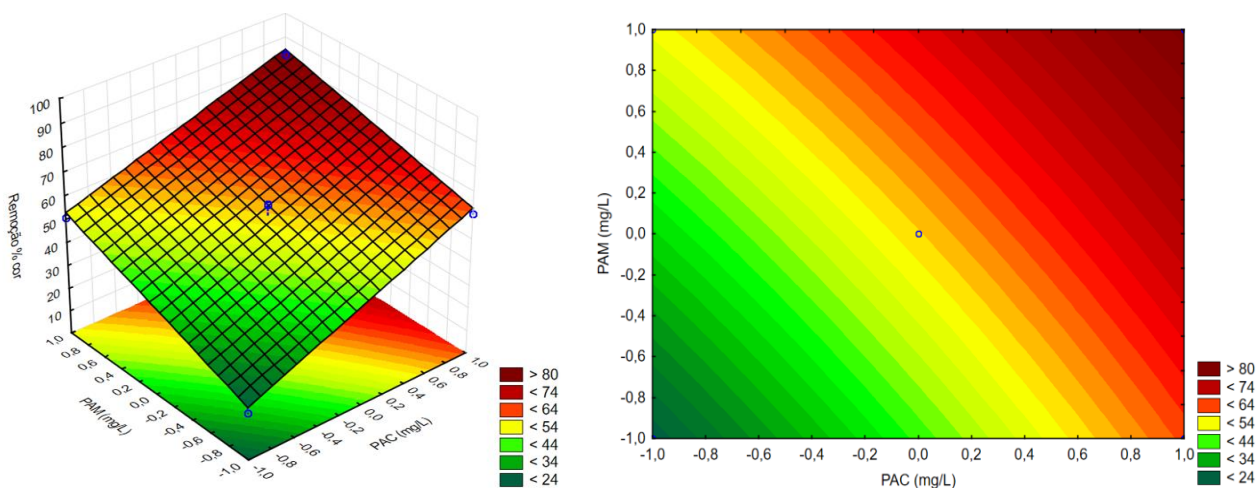
Para a remoção de cor na Lagoa Jacarey, eficiências superiores a 80% podem ser encontradas para os maiores níveis de PAC (+0,82 a +1,0) (5,64 mg/L a 6 mg/L) e de PAM (+0,70 a +1,0) (3,4 mg/L a 4 mg/L). Por outro lado, remoções inferiores de cor, entre 26% e 36%, são observadas nos menores níveis da concentração de PAC (-0,7 a -1,0) (2 mg/L a 2,6 mg/L). Para remoção de turbidez na Lagoa do Opaia, remoções superiores a 50% podem ser encontradas para níveis altos de PAC (+0,93 a +1,0) (5,85 mg/L a 6 mg/L) e baixos de PAM (-0,90 a -1,0) (0 a 0,20 mg/L).

Por outro lado, remoções inferiores de turbidez entre 28% e 32% são observadas nos menores níveis da concentração de PAC (-0,88 a -1,0) (2 mg/L a 2,2 mg/L) e de PAM (-0,86 a -1,0) (0 a 0,28 mg/L).

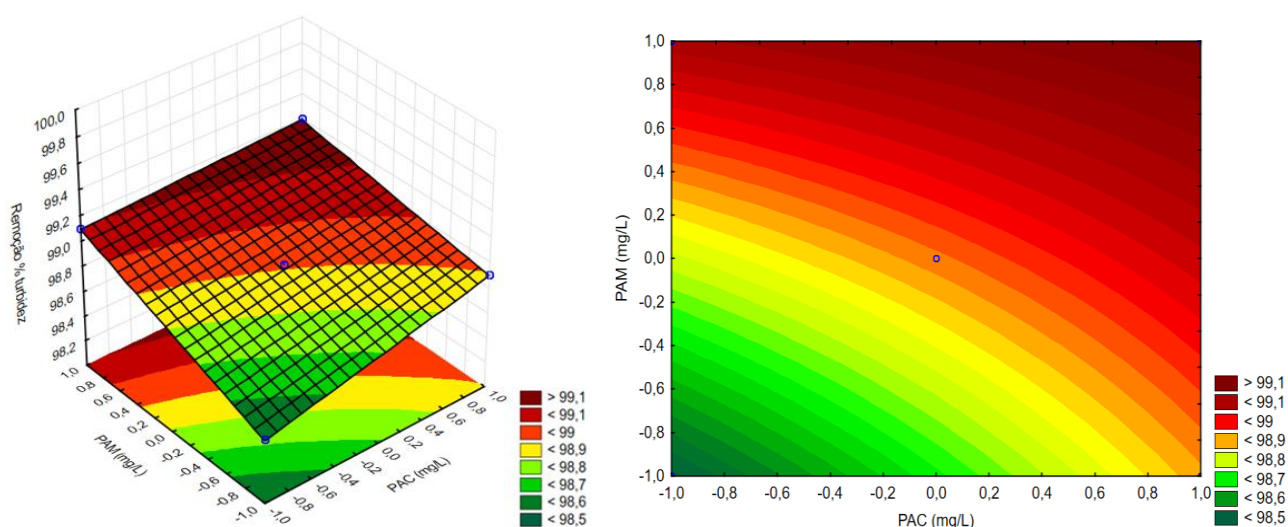
As superfícies de respostas e diagramas de contorno para remoção de cor aparente na Lagoa de Messejana e remoção de turbidez na Lagoa de Porangabussu durante o período chuvoso estão apresentadas na Figura 6.

Figura 6 — Superfície de resposta para remoção (%) cor e de turbidez nas lagoas de Messejana e de Porangabussu durante o período chuvoso.

a) Lagoa de Messejana: cor aparente



b) Lagoa Porangabussu: turbidez

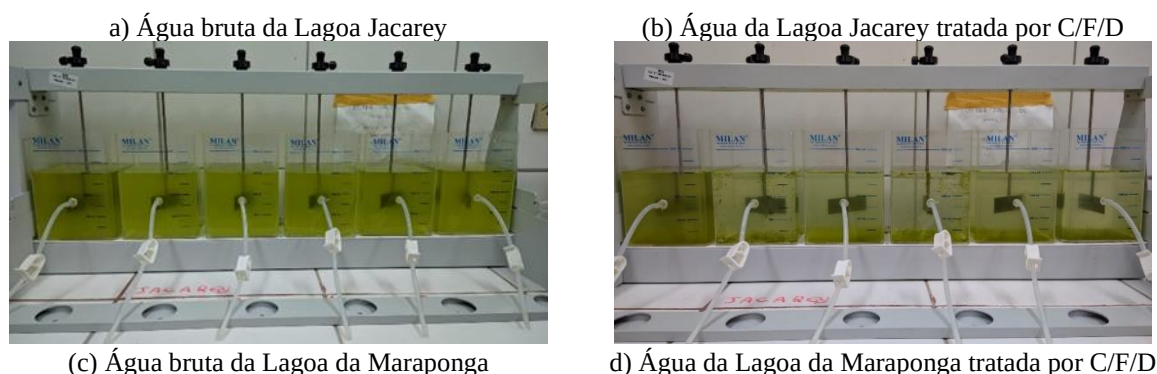


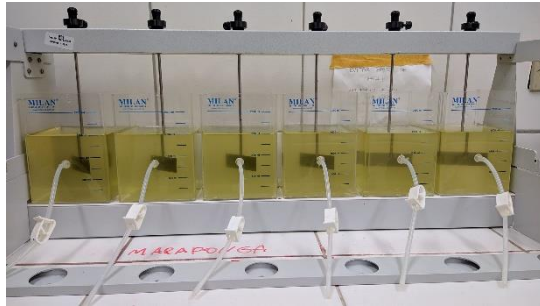
Fonte: Autor (2024).

Na remoção de cor da Lagoa de Messejana, remoções superiores a 80% são encontradas nos maiores níveis de PAC (+0,80 a +1,0) (5,6 mg/L a 6 mg/L) e PAM (+0,60 a +1,0) (3,2 mg/L a 4 mg/L). Os menores valores de remoção, entre 24% e 34%, estão localizados em níveis baixos da concentração de PAC (-1,0 a +0,2) (2 mg/L a 4,4 mg/L) e PAM (-1,0 a +0,6) (0 mg/L a 3,2 mg/L). Para remoção de turbidez na Lagoa Porangabussu, remoções superiores a 99,1% podem ser encontradas para a faixa completa de níveis de PAC (-1,0 a +1,0) (2 a 6 mg/L) e de PAM entre +0,85 e +1,0 (3,7 mg/L a 4 mg/L). Por outro lado, remoções de turbidez entre 98,6% e 98,5%, também muito elevadas, podem ser observadas nos menores níveis de concentração de PAC (-1,0 a 0) (2 mg/L a 4 mg/L) e de PAM (-1,0 a -0,40) (0 a 1,2 mg/L).

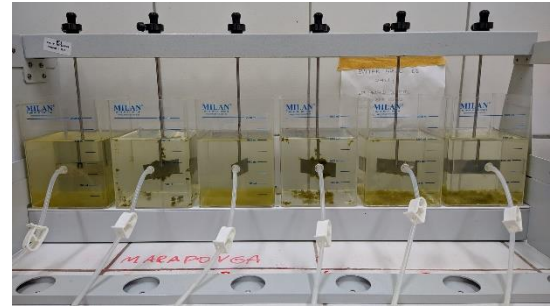
A Figura 7 apresenta as características visuais das águas brutas e das águas tratadas por coagulação, floculação e decantação das lagoas em estudo durante o período seco.

Figura 7 — Imagens das águas naturais das lagoas em estudo no período seco antes e após tratamento físico-químico por coagulação/floculação/decantação (C/F/D)





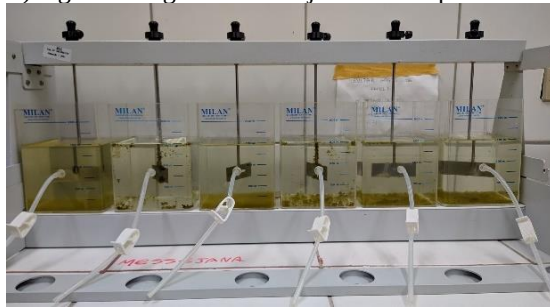
e) Água bruta da Lagoa da Messejana



f) Água da Lagoa da Messejana tratada por C/F/D



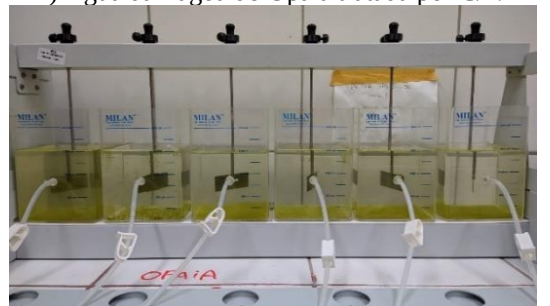
g) Água bruta da Lagoa do Opaia



h) Água da Lagoa do Opaia tratada por C/F/D



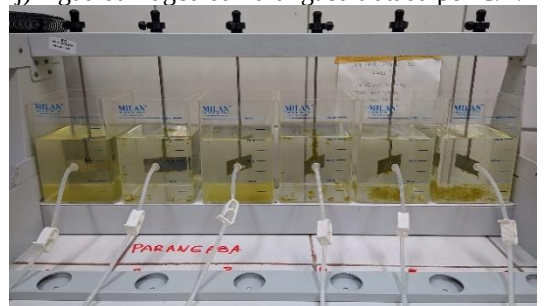
i) Água bruta da Lagoa da Parangaba



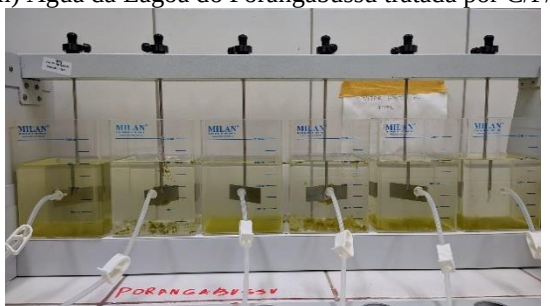
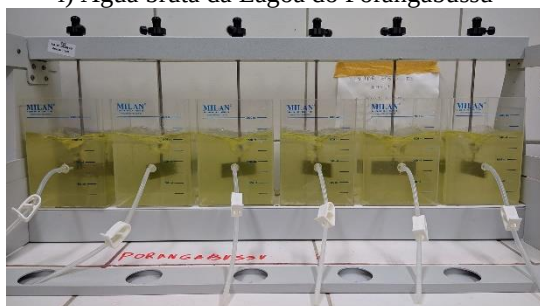
j) Água da Lagoa da Parangaba tratada por C/F/D



l) Água bruta da Lagoa do Porangabussu



m) Água da Lagoa do Porangabussu tratada por C/F/D

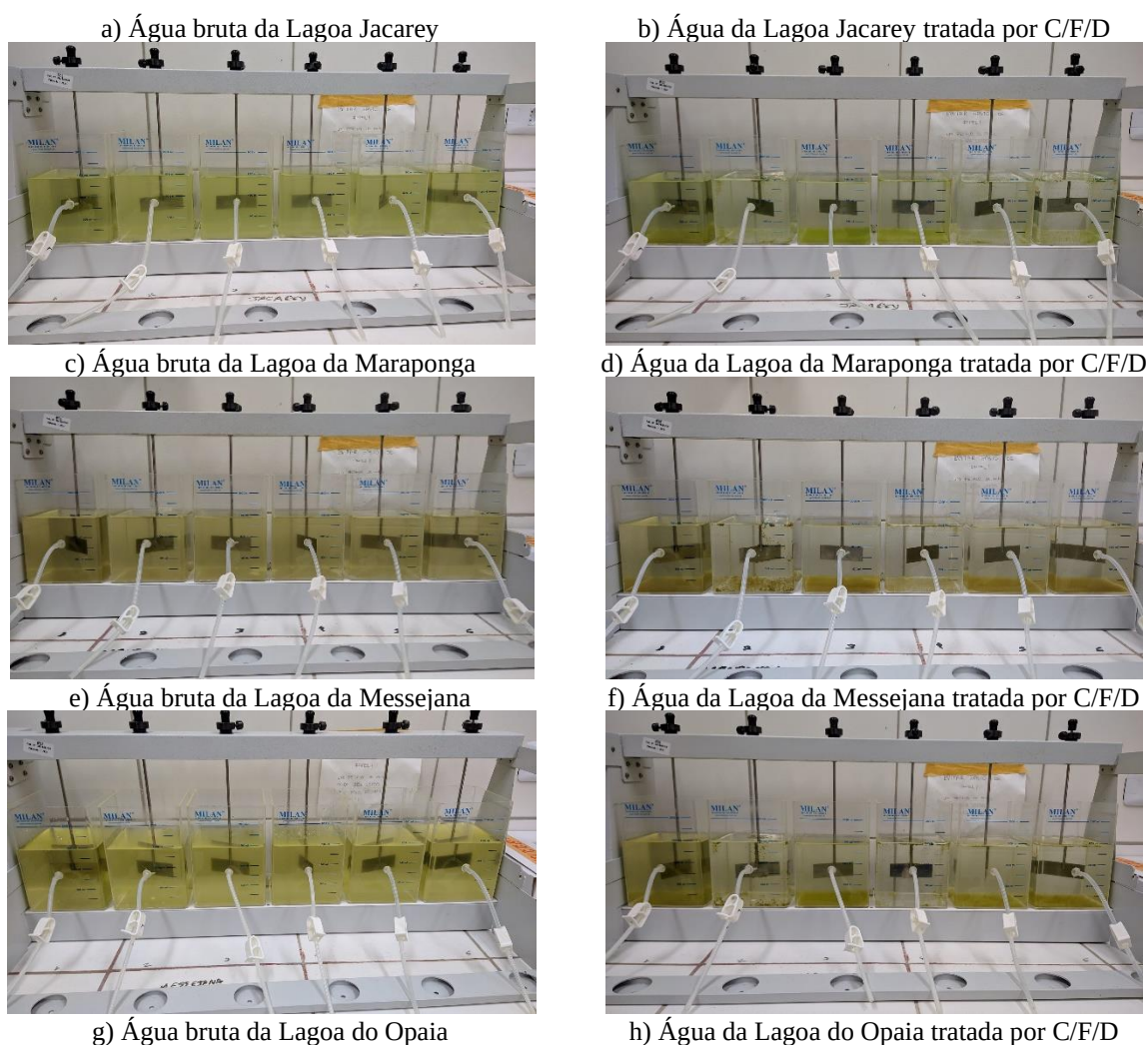


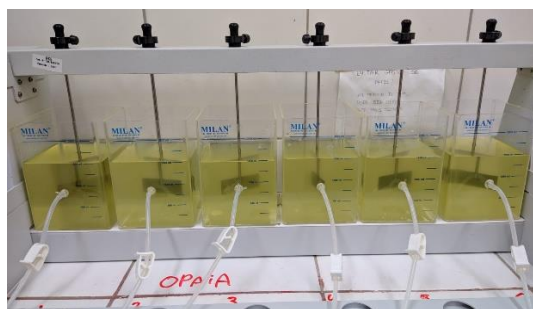
Fonte: Autor (2024).

De acordo com as Figuras 7a,c,e,g,i,l as águas naturais brutas apresentam coloração amarelo-esverdeada típica assim como turbidez em todas as lagoas, principalmente nas lagoas de Jacarey, Messejana e Opaia, tipicamente de natureza algal. Para as águas tratadas pelo tratamento C/F/D (Figuras 7b,d,f,h,j,m) é notório a eficiência da tecnologia aplicada, principalmente nas lagoas da Maraponga e da Messejana onde a água de entrada apresenta um aspecto bem mais límpido, a exceção do ensaio 1 (na ausência de PAM e na mais baixa concentração de PAC). Notadamente a água tratada (sobrenadante) do ensaio 4 apresenta o aspecto visual mais transparente entre todas as lagoas estudadas.

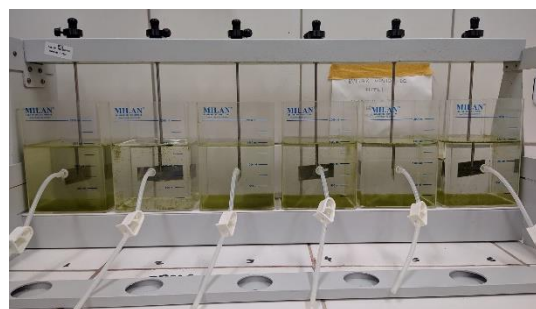
A Figura 8 apresenta as características visuais das águas brutas e das águas tratadas por coagulação, floculação e decantação das lagoas urbanas em estudo durante o período chuvoso.

Figura 8 — Imagens das águas naturais das lagoas em estudo no período chuvoso antes e após tratamento físico-químico por coagulação/floculação/decantação (C/F/D)

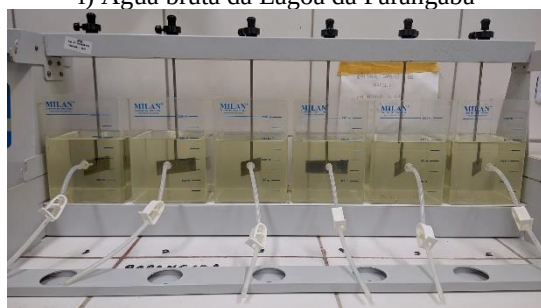




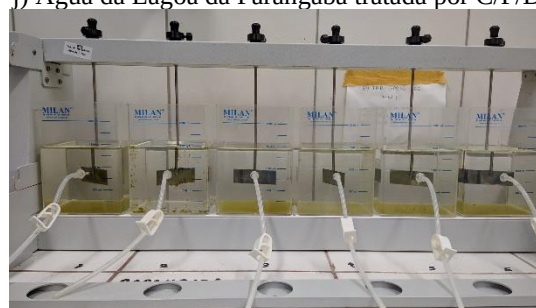
i) Água bruta da Lagoa da Parangaba



j) Água da Lagoa da Parangaba tratada por C/F/D



l) Água bruta da Lagoa do Porangabussu



m) Água da Lagoa do Porangabussu tratada por C/F/D



Fonte: Autor (2024).

As Figuras 8a,c,e,g,i,l mostram as águas brutas dos corpos hídricos em estudo durante o período chuvoso, as quais apresentam, do ponto de visual, cor aparente e turbidez nitidamente menores àquelas coletadas no período seco (Figuras 7a,c,e,g,i,l), principalmente nas lagoas da Parangaba e Porangabussu, que em sua condição natural já se mostravam bem limpas. Nas Figuras 8b,d,f,h,j,m após o tratamento C/F/D observa-se que o tratamento 1 (ausência de flocculante e menor nível de coagulante) foi o menos eficiente quando comparado com os outros ensaios executados onde visualmente os aspectos de cor e turbidez são os esperados.

Notadamente, o tratamento C/F/D é eficaz para remoção de sólidos em suspensão que contribuem para a presença de cor e turbidez, o que pode ser observado na Lagoa do Porangabussu que embora tenha a água de entrada bem límpida, ainda apresentou sólidos decantados no final do tratamento.

A caracterização físico-química das lagoas urbanas em estudo após tratamento C/F/D está apresentada na Tabela 12.

Na Tabela 12 observa-se que os valores de cor, pH, turbidez, DQO e MOD das amostras durante o período seco são superiores aos observados no período chuvoso, a exceção da DQO, que provavelmente foi influenciada pelo arraste de sedimentos e matéria orgânica por efeito das chuvas. As águas decantadas após tratamento por coagulação e floculação apresentaram, em geral, valores próximos dos limites estabelecidos pela Portaria MS 888/21, indicando que o tratamento físico-químico, principalmente para as mostras coletadas no período chuvoso.

Tabela 12 — Caracterização físico-química e microbiológica das lagoas urbanas em estudo após o tratamento por coagulação/floculação/decantação nas condições do ensaio 4 (6 mg/L PAC 23 e 4 mg/L PAM) para o período seco e ensaio 6 (4 mg/L PAC 23 e 2 mg/L PAM) para o período chuvoso. $t_{mr} = 60$ s; $G_{floc} = 135, 95, 53 \text{ s}^{-1}$ (escalonado); $t_{floc} = 10$ min e $t_{dec} = 30$ min.

Coleta 1 (período seco)										
Lagoa	Cor		pH		Turbidez		DQO		MOD	
	(uH)				(UNT)		(mg/L)		(UV254)	
	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada
	C/F/D		C/F/D		C/F/D		C/F/D		C/F/D	
Jacarey	180	39,9	7,84	7,61	28,9	10,5	16,7	6,67	0,279	0,096
Maraponga	100	29,8	7,82	7,57	13,5	8,2	26,7	6,71	0,250	0,167
Messejana	150	19,9	7,89	7,55	21,5	10,2	40,1	26,7	0,224	0,134
Opaia	100	29,8	7,52	7,76	20,2	9,9	54,1	26,7	0,243	0,207
Parangaba	80	19,9	7,81	7,74	15,3	10,0	66,7	22,7	0,291	0,173
Porangabussu	130	30	7,73	7,68	13,2	6,0	43,3	10,1	0,286	0,160
Coleta 2 (período chuvoso)										
Lagoa	Cor		pH		Turbidez		DQO		MOD	
	(uH)				(UNT)		(mg/L)		(UV254)	
	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada
	C/F/D		C/F/D		C/F/D		C/F/D		C/F/D	
Jacarey	120	17,5	7,38	7,65	13,4	9,71	39,1	12,6	0,195	0,063
Maraponga	80	17,5	7,46	7,45	8,89	0,10	61,7	51,7	0,202	0,065
Messejana	100	17,5	7,65	7,57	11,8	0,10	65,7	27,2	0,261	0,108
Opaia	140	17,5	7,48	7,64	13,2	0,06	59,1	21,1	0,189	0,060
Parangaba	60	17,8	7,45	7,55	6,32	0,08	65,2	28,3	0,156	0,061
Porangabussu	50	16,6	7,41	7,51	30,2	0,33	89,1	37,2	0,101	0,042

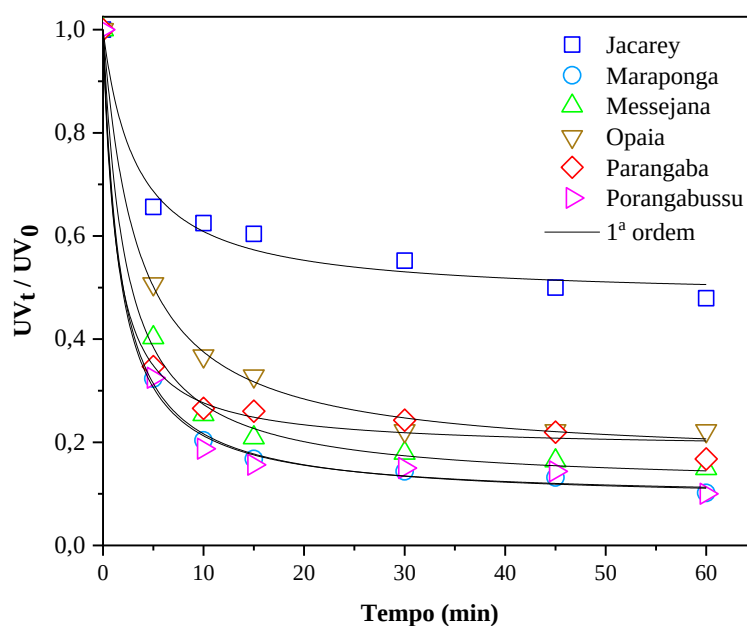
Fonte: Autor (2024).

5.3 Tratamento das lagoas por adsorção em carvão ativado

Nesta parte da pesquisa o tratamento por adsorção sobre carvão ativado em pó foi aplicado nas águas decantadas provenientes do ensaio 4 de C/F/D para todas as amostras de águas coletadas nas lagoas durante o período seco, enquanto para as amostras do período chuvoso foram usadas as águas decantadas do ensaio 4 das lagoas de Maraponga, Messejana e Opaia e do ensaio 6 para as águas decantadas das lagoas do Jacarey, Parangaba e Porangabussu. A escolha desses ensaios se deu a partir dos maiores percentuais de remoção de cor e turbidez observados em suas execuções.

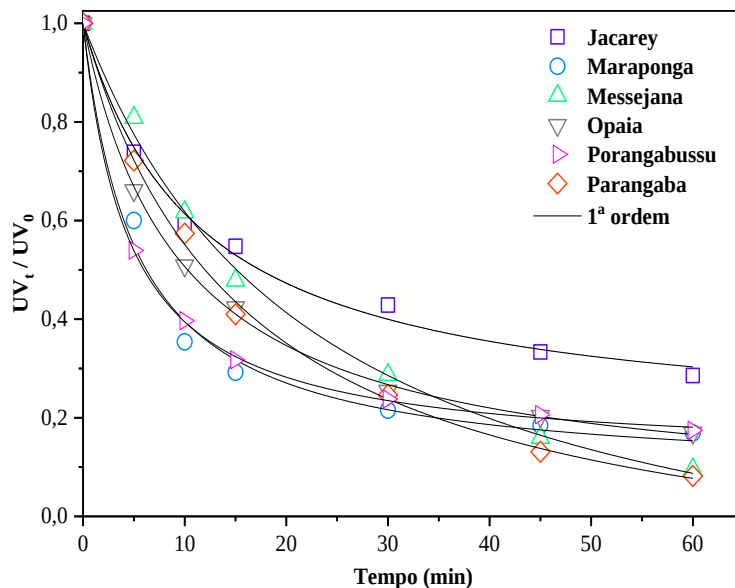
As Figuras 9 e 10 apresentam a cinética de remoção da matéria orgânica adsorvida (MOD) por adsorção em batelada a 150 rpm e a temperatura ambiente sobre 1,25 g/L de carvão ativado durante os períodos seco e chuvoso.

Figura 9 — Cinética de adsorção a 25 °C de remoção da matéria orgânica dissolvida (MOD) das águas das lagoas urbanas no período seco usando carvão ativado (1,25 g/L) como adsorvente.



Valores de entrada de UV_{254} : Jacarey (0,096); Maraponga (0,167); Messejana (0,134); Opaia (0,207); Parangaba (0,173) e Porangabussu (0,160). Faixa de pH_0 : 7,55 a 7,76. Fonte: Autor (2024).

Figura 10 — Cinética de adsorção a 25 °C de remoção da matéria orgânica dissolvida (MOD) das águas das lagoas urbanas no período chuvoso usando carvão ativado (1,25 g/L) como adsorvente.



Valores de entrada de MOD (UV_{254}): Jacarey (0,063), Maraponga (0,065), Messejana (0,108), Opaia (0,060), Parangaba (0,061) e Porangabussu (0,042). Faixa de pH: 7,45 a 7,65. Fonte: Autor (2024).

A Tabela 13 apresenta os parâmetros cinéticos a temperatura ambiente para a remoção de MOD segundo o modelo de pseudo primeira ordem aplicado.

Tabela 13 — Parâmetros cinéticos de primeira ordem a 25 °C para a remoção por adsorção de MOD das lagoas urbanas em estudo usando carvão ativado (1,25 g/L) como adsorvente. Condições: 150 rpm; pH = 7,5 ± 0,1 e tempo de contato de 60 min.

Lagoa	Período seco			Período chuvoso		
	$1/m$ (min ⁻¹)	$1/b$	R^2	$1/m$ (min ⁻¹)	$1/b$	R^2
Jacarey	0,157	0,522	0,981	0,072	0,831	0,995
Maraponga	0,551	0,914	0,996	0,176	0,920	0,991
Messejana	0,403	0,887	0,998	0,055	0,791	0,997
Opaia	0,245	0,839	0,999	0,101	0,967	0,999
Porangabussu	0,651	0,910	0,996	0,074	0,854	0,998
Parangaba	0,583	0,814	0,996	0,193	0,881	0,999

Fonte: Autor (2024).

O perfil cinético de ordem 1 da adsorção nas lagoas urbanas durante o período seco (Figura 9) mostra uma redução acentuada da MOD nos primeiros 10 minutos de contato com remoções significativas de 63 a 80% da UV_{254} nas lagoas de Maraponga, Messejana, Opaia, Parangaba e Porangabussu e de cerca de 37% na Lagoa do Jacarey, a qual revela uma composição orgânica mais complexa e difícil interação superficial com a estrutura de poroso do carvão em pó utilizado. As remoções finais de MOD em 60 minutos de contato foram de: 52,1%; 77,8%; 83,2%; 85,1%; 89,8% e 90,1%, respectivamente nas lagoas do Jacarey, Opaia, Parangaba, Messejana, Maraponga e Porangabussu. A remoção final de 52,1% na amostra de água tratada da Lagoa Jacarey ratifica a maior complexidade da MOD neste ambiente hídrico.

No período chuvoso (Figura 10) o comportamento cinético foi semelhante com remoções em 10 min de contato de 60 a 65% da UV_{254} nas lagoas de Maraponga e Porangabussu e de 38% a 50% nas lagoas de Jacarey, Messejana, Opaia e Parangaba. Neste período de chuvas as maiores remoções foram de: 40,5%; 49,2%; 82,5%; 83,1%; 90,2% e 91,8%, respectivamente, nas lagoas de Jacarey, Opaia, Maraponga, Porangabussu, Messejana e Parangaba.

Na Tabela 13 observam-se valores de R^2 superiores a 0,980 para todos os sistemas adsorptivos nos períodos seco e chuvoso, confirmando o bom ajuste dos dados experimentais ao modelo de pseudo primeira ordem. No período seco as maiores taxas de remoção de MOD foram observadas nas lagoas do Porangabussu ($0,651 \text{ min}^{-1}$), Parangaba ($0,583 \text{ min}^{-1}$) e Maraponga ($0,551 \text{ min}^{-1}$), indicando uma elevada interação da matéria orgânica dissolvida com o carvão ativo utilizado. Por outro lado, a cinética foi mais lenta na Lagoa do Jacarey ($0,157 \text{ min}^{-1}$), a qual já havia mostrado uma água muito rica em matéria orgânica algal e de elevada turbidez.

Por outro lado, os valores encontrados para k_1 (min^{-1}) no período chuvoso ratificaram mesmo sob condição de diluição por conta das chuvas uma cinética de remoção mais rápida para as lagoas de Porangabussu ($0,193 \text{ min}^{-1}$) e Maraponga ($0,176 \text{ min}^{-1}$) e uma cinética também mais lenta nas Lagoa de Messejana ($0,055 \text{ min}^{-1}$), Jacarey ($0,072 \text{ min}^{-1}$) e Porangabussu ($0,074 \text{ min}^{-1}$), o que pode estar associado a natureza dos compostos orgânicos dissolvidos. As capacidades de adsorção ($1/b$) estimadas variaram entre 79,1% e 96,7%; a exceção da observada na lagoa do Jacarey no período seco, ratificando a elevada atividade adsorptiva do adsorvente (carvão ativado) empregado.

Neto *et al.* (2020) apresentaram resultados semelhantes ao desse estudo ao relatarem 91% de remoção de matéria orgânica em um tempo de contato 25 min usando carvão ativado (30 mg/L) como adsorvente. Zhao *et al.* (2021) realizaram um estudo de remoção de MOD algal via adsorção por carvão ativado granulado (GAC, $1400 \text{ m}^2/\text{g}$) e mostraram uma adsorção próxima de 80% (remoção de UV_{245}) em 8 horas de contato utilizando 1,2 g/L de GAC a 23°C ,

o que foi associado ao maior caráter hidrofóbico das substâncias dissolvidas (ácidos húmicos com aproximadamente 39 kDa). Os autores relacionaram valores da constante cinética de primeira ordem entre 0,004 e 0,016 min⁻¹, os quais comparativamente são inferiores aos observados nas águas em estudo nesta pesquisa

A Tabela 14 apresenta as remoções % de matéria orgânica dissolvida para as amostras de águas brutas e tratadas pelos processos de coagulação/floculação/decantação e adsorção (processo combinado) das coletas ocorridas nos períodos seco e chuvoso.

Tabela 14 — Remoção (%) da matéria orgânica dissolvida nas águas brutas das lagoas em estudo no período do estudo e nas águas decantadas e adsorvidas após aplicação do processo combinado de coagulação/floculação/decantação seguido de adsorção com carvão ativado.

Coleta 1 (período seco)					
Lagoa	UV₂₅₄	UV₂₅₄	UV₂₅₄	Remoção	Remoção
	(água bruta)	(pós-C/F/D)	(pós-adsorção)	MOD (%)	MOD (%)
				(pós-C/F/D)	(pós-adsorção)
Jacarey	0,279	0,096	0,046	65,6	83,5
Maraponga	0,250	0,167	0,017	33,2	93,2
Messejana	0,224	0,134	0,020	40,2	91,1
Opaia	0,243	0,207	0,046	14,8	81,1
Parangaba	0,291	0,173	0,029	40,5	90,1
Porangabussu	0,286	0,160	0,016	44,1	94,4
Coleta 2 (período chuvoso)					
Lagoa	UV₂₅₄	UV₂₅₄	UV₂₅₄	Remoção	Remoção
	(água bruta)	(pós-C/F/D)	(pós-adsorção)	MOD (%)	MOD (%)
				(pós-C/F/D)	(pós-adsorção)
Jacarey	0,195	0,063	0,008	67,7	95,9
Maraponga	0,202	0,065	0,005	67,8	97,5
Messejana	0,261	0,108	0,005	58,6	98,1
Opaia	0,189	0,060	0,011	68,3	94,2
Parangaba	0,156	0,061	0,003	60,9	98,1
Porangabussu	0,101	0,042	0,010	58,4	90,1

Fonte: Autor (2024).

Na Tabela 14 a partir do tratamento da coagulação, floculação e decantação (C/F/D) a maior remoção de MOD encontrada no período seco foi de 65,6% na Lagoa do Jacarey, enquanto na Lagoa do Opaia foi de apenas 14,8%. Oportunamente, após tratamento por adsorção as remoções de MOD podem ser consideradas elevadas em todas as amostras com eficiências de redução da matéria orgânica dissolvida entre 81% e 95%. A Lagoa Porangabussu com 94,4% de remoção de MOD foi a que apresentou melhor perfil de descontaminação após processo combinado.

No período chuvoso observa-se que no tratamento C/F/D, a maior remoção de MOD foi encontrada na Lagoa do Opaia com 68,3%, enquanto o menor percentual de remoção foi encontrado na Lagoa de Porangabussu com 58,4%. Após tratamento por adsorção, as remoções foram ainda mais elevadas que as observadas no período seco, com reduções de MOD entre 90% e 98%.

Edzwald e Tobiason (2011) relataram que a absorção em UV_{254} em águas naturais varia de 0,04 em baixas concentrações de carbono orgânico total e matéria húmica até 0,800 para águas com teores mais elevados de matéria orgânica. Segundo esses autores, a maior parte das águas naturais apresenta UV_{254} entre 0,070 e 0,300. Em geral, as lagoas urbanas estudadas nas duas amostragens se encaixam neste perfil uma vez que as absorbâncias variaram entre 0,224 e 0,291 no período seco e entre 0,101 e 0,261 no período chuvoso.

As características do carvão ativado em pó, incluindo grande área superficial, estrutura de poros e alta atividade superficial são determinantes para as elevadas eficiências de remoção de MON e outros contaminantes orgânicos de águas potáveis (CHIMGONBE *et al.*, 2005), como observado nesta pesquisa.

Hillebrand e Benetti (2020) realizaram estudo de comparação entre processos de remoção de MOD de um lago natural. Os autores observaram através de medidas da UV_{254} valores de: 0,177 para a água bruta; 0,093 para a água decantada após tratamento com PAC; 0,080 para a água após filtração em areia e 0,079 para a adsorção tratada com carvão ativado.

Dantas *et al.* (2011) ao realizarem um estudo para remoção de cor, ferro e manganês em águas com elevados níveis de MOD obtiveram resultados satisfatórios para a legislação de potabilidade utilizando filtro de carvão ativado após a coagulação com sulfato de alumínio. He *et al.* (2023) utilizaram a dosagem de 12 mg/L de PAC e 50 mg/L de carvão e obtiveram altas remoções de MOD de baixo peso molecular, além de grande eficácia para remoção dos resíduos de desinfecção presentes na água após tratamento convencional. Liu *et al.* (2022) utilizando a mesma dosagem de carvão ativado relataram que a MOD de baixo peso molecular é resistente à coagulação convencional e tende a ser adsorvida por este adsorvente.

Neto *et al.* (2020) usaram PAC 18 (120 mg/L) em estudo de coagulação seguido de tratamento com dois tipos de carvão ativado vegetais em pó. As condições usadas na coagulação/floculação foram: gradiente de mistura rápida de 1000 s^{-1} , tempo de mistura rápida de 30 s, tempo de floculação de 20 min e gradiente único de floculação de 25 s^{-1} , enquanto na etapa com carvão foi usado um gradiente único de 100 s^{-1} . O estudo segundo indicou uma dosagem ótima de CAP de madeira de 30 mg/L em um tempo de contato de 25 min, correspondendo a uma eficiência de remoção de carbono orgânico total (COT) de aproximadamente 91%. Em geral, os valores de cor e turbidez apresentaram-se abaixo dos limites estabelecidos pela Portaria MS Nº 888/21 para os parâmetros de cor, turbidez e COT.

Wang *et al.* (2018) utilizaram o PAC na concentração 1,5 mg/L e nanotubos de carbono como adsorvente similar ao carvão ativado no tratamento de águas naturais contaminadas com fármacos para fins de uso potável. O estudo mostrou eficiências de 64% a 93 % de remoção desses poluentes, indicando que tratamento combinado é uma alternativa interessante de tratamento avançado de água para fins de potabilidade.

Em relação as características microbiológicas das águas em estudo no período chuvoso, como já relatado, sendo as análises microbiológicas realizadas somente nas amostras brutas e tratadas após adsorção com carvão ativado para as 6 lagoas estudadas.

A Tabela 15 apresenta os resultados de remoção microbiológica (%) das lagoas urbanas em estudo após tratamento combinado.

Tabela 15 — Remoção (%) de coliformes totais (CT) das águas das lagoas em estudo após aplicação do processo combinado de coagulação/floculação/decantação seguido de adsorção com carvão ativado.

Lagoa	Amostra bruta (NMP/100 mL)	Amostra tratada (NMP/100 mL)	Remoção CT (%) pós-adsorção
Jacarey	350	23	93,4
Maraponga	1600	23	98,6
Messejana	900	26	97,1
Opaia	1600	50	96,9
Parangaba	1600	4	99,8
Porangabussu	500	24	95,2

Fonte: Autor (2024).

Os valores de CT encontrados para água brutas das lagoas em estudo variaram entre 350 NMP/100 mL na Lagoa Jacarey e 1600 NMP/100 mL nas Lagoas da Maraponga, Opaia e Parangaba, os quais são similares aos obtidos por Teles *et al.* (2022) ao monitorarem um rio com a respectiva caracterização microbiológica para coliformes totais.

Faria e Hoffmann (2024) ao monitorarem um lago urbano durante os períodos seco e chuvoso, encontraram valores entre 930 e 995 NMP/100 mL para o período seco e 1058 a 1300 NMP/100 mL para o período chuvoso. Os resultados encontrados nesta pesquisa e pelos referidos autores citados podem ser considerados baixos quando comparados ao usualmente descrito na literatura (COSTA *et al.*, 2021).

Chicava *et al.* (2022) ao realizarem um monitoramento da qualidade da água de lagoas urbanas encontraram valores acima de 1000 NMP/100 mL na caracterização da água bruta. Santos e Lobo (2024) também encontraram valores acima de 1.600 NMP/100 mL para caracterização da água de lagoas urbanas. Lima *et al.* (2023) ao monitorarem um rio para avaliação de balneabilidade encontraram valores entre 1100 NMP/100 mL e 2100 NMP/100 mL de coliformes totais nos pontos de coletas estudados. Costa *et al.* (2021) ao analisarem os impactos antrópicos ao entorno de um lago urbano encontraram valores mínimos de coliformes totais de 11.900 NMP/100 mL e máximo de 1.300.000 NMP/100 mL.

Os percentuais de remoção microbiológica de CT nas diversas lagoas em estudo foram considerados elevados, apresentando valores acima de 93% de remoção de microrganismos, sendo na Lagoa da Parangaba observada a maior eficiência de remoção (99,8%).

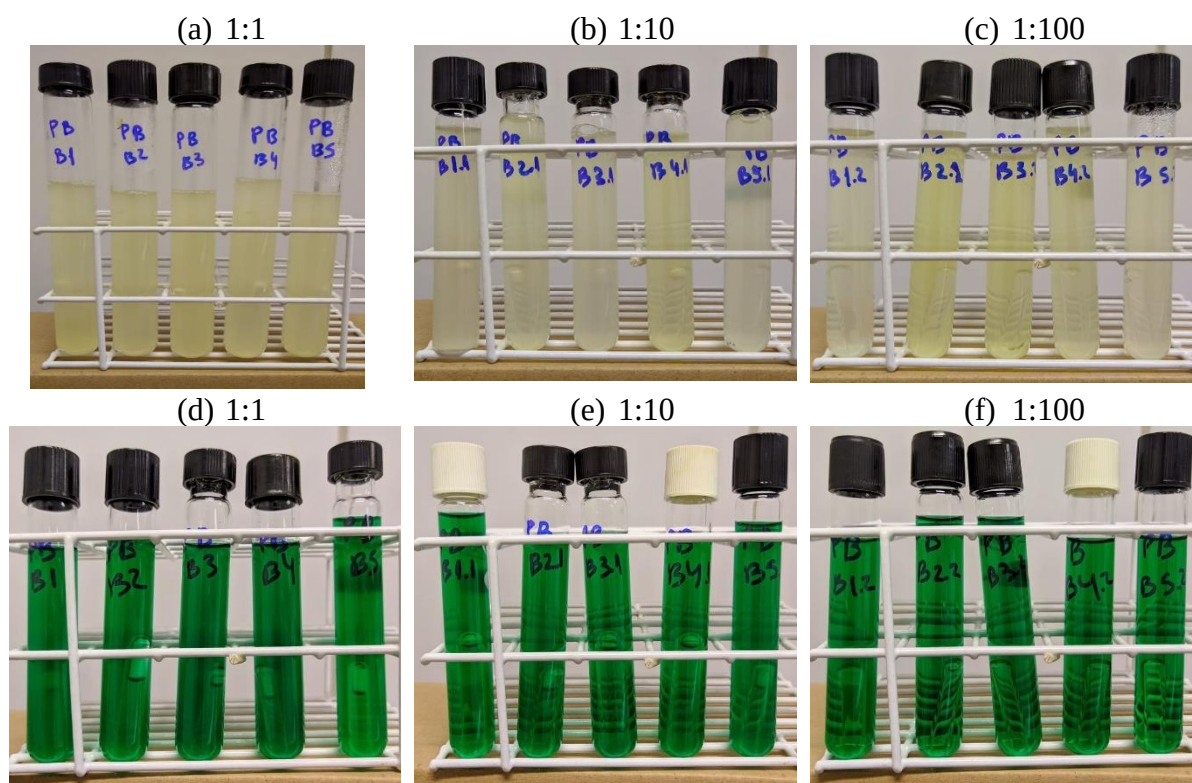
Araujo *et al.* (2022) ao compararem as eficácias do sulfato férrico e sulfato de alumínio para tratamento de água de um açude obtiveram como melhor resultado microbiológico a remoção de 86% de coliformes totais utilizando uma dosagem de 6 mL de sulfato de alumínio.

Pimenta *et al.* (2018) ao realizarem um estudo comparativo entre os coagulantes sulfato de alumínio, PAC e cloreto férrico para o tratamento de água de um rio com valor inicial de 11.300 UFC/100 mL de coliformes totais relataram uma remoção máxima de 99,36% ao usarem 70 mg/L de sulfato de alumínio. Particularmente o PAC foi o coagulante que apresentou o pior resultado para remoção de coliformes com 98,7% de redução para uma dosagem de 10 mg/L.

Aziz e Ibrahim (2020) ao utilizarem carvão ativado e zeólita em filtros para o tratamento da água de rio encontraram remoções de 95% de coliformes totais sob uma taxa de filtração de 18,3 cm³/min e tempo de retenção de 30 minutos. Todas as eficiências de remoção observadas por estes autores são próximas às encontradas neste estudo, mostrando a aplicabilidade da metodologia usada a baixas concentrações de coagulante e floculante no tratamento de águas naturais para fins de potabilidade.

A Figura 11 apresenta as imagens dos testes presuntivo (Figuras 11a-c) e do teste confirmativo (Figuras 11d-11f) para os valores de coliformes totais na Lagoa de Porangabussu, usada aqui como exemplo.

Figura 11 — Imagens dos testes microbiológicos presuntivos (a, b, c) e confirmativos (d, e, f) para a determinação de coliformes totais na Lagoa de Porangabussu.



Fonte: Autor (2024).

As Figuras 11a a 11c mostram os resultados das respectivas diluições de 1:1, 1:10, 1:100 do teste presuntivo de coliformes totais, sendo observado em todos os tubos resultados positivos de turbidez e formação de gás, o que é indicativo da presença de bactérias do grupo coliforme. As Figuras 11d a 11f mostram os resultados do teste confirmativo para coliformes totais (CT) provenientes dos tubos positivos do teste presuntivo. Assim na série 1:1 todos os tubos apresentaram bolhas e turbidez; na série 1:10 todos os tubos apresentaram bolhas, ratificando a presença de CTs, enquanto na série 1:100 nenhum tubo apresentou bolha ou turbidez;

5.4 Qualidade da água tratada após processo combinado

A Tabela 16 apresenta de forma sumarizada a caracterização físico-química e microbiológica das amostras das águas tratadas após aplicação completa do processo combinado envolvendo as etapas de tratamento físico-químico seguido de adsorção.

Tabela 16 — Caracterização final das lagoas urbanas após a aplicação do processo combinado de coagulação/floculação/decantação seguido de adsorção sobre carvão ativado.

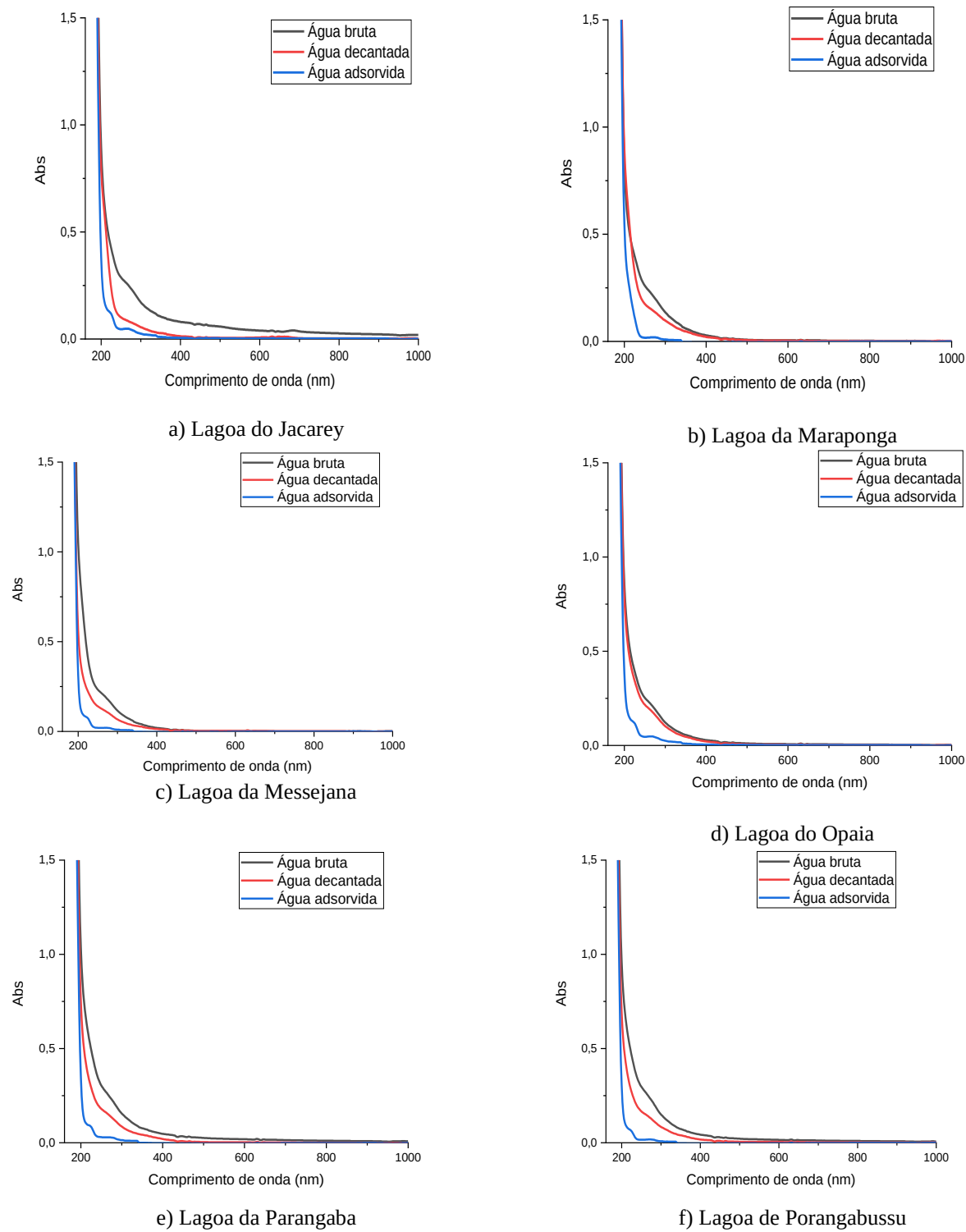
Coleta 1 (período seco)						
Lagoa	Cor	pH	Turbidez	DQO	MOD	CT
	(uH)		(NTU)	(mg/L)	(UV₂₅₄)	(NMP/100 mL)
Jacarey	10	7,48	1,83	3,33	0,046	-
Messejana	10	7,66	0,82	1,37	0,017	-
Maraponga	5	7,44	0,91	13,6	0,021	-
Opaia	10	7,13	1,21	15,6	0,046	-
Parangaba	15	7,93	1,42	16,7	0,029	-
Porangabussu	10	7,95	1,02	2,21	0,016	-
Coleta 2 (período chuvoso)						
Lagoa	Cor	pH	Turbidez	DQO	MOD	CT
	(uH)		(NTU)	(mg/L)	UV₂₅₄	(NMP/100 mL)
Jacarey	5	7,22	0,11	1,61	0,008	23
Messejana	5	7,16	0,09	11,6	0,005	23
Maraponga	5	7,09	0,09	1,23	0,005	26
Opaia	5	7,27	0,05	14,3	0,011	50
Parangaba	5	7,18	0,07	11,7	0,003	4
Porangabussu	5	7,12	0,01	8,81	0,010	24

-: Não avaliado. Fonte: Autor (2024).

A análise global dos resultados obtidos indica a elevada eficiência dos tratamentos executados para atingir as características de potabilidade das águas urbanas em estudo, principalmente no período seco, mesmo com valores de entrada superiores de cor e turbidez inicial em relação aos observados no período chuvoso. Após o processo de adsorção todos os parâmetros físico-químicos se encaixaram dentro do padrão estabelecido pela Portaria MS N° 888/2021. O parâmetro microbiológico, por sua vez, não se adequou ao padrão legal apesar da alta porcentagem de remoção .

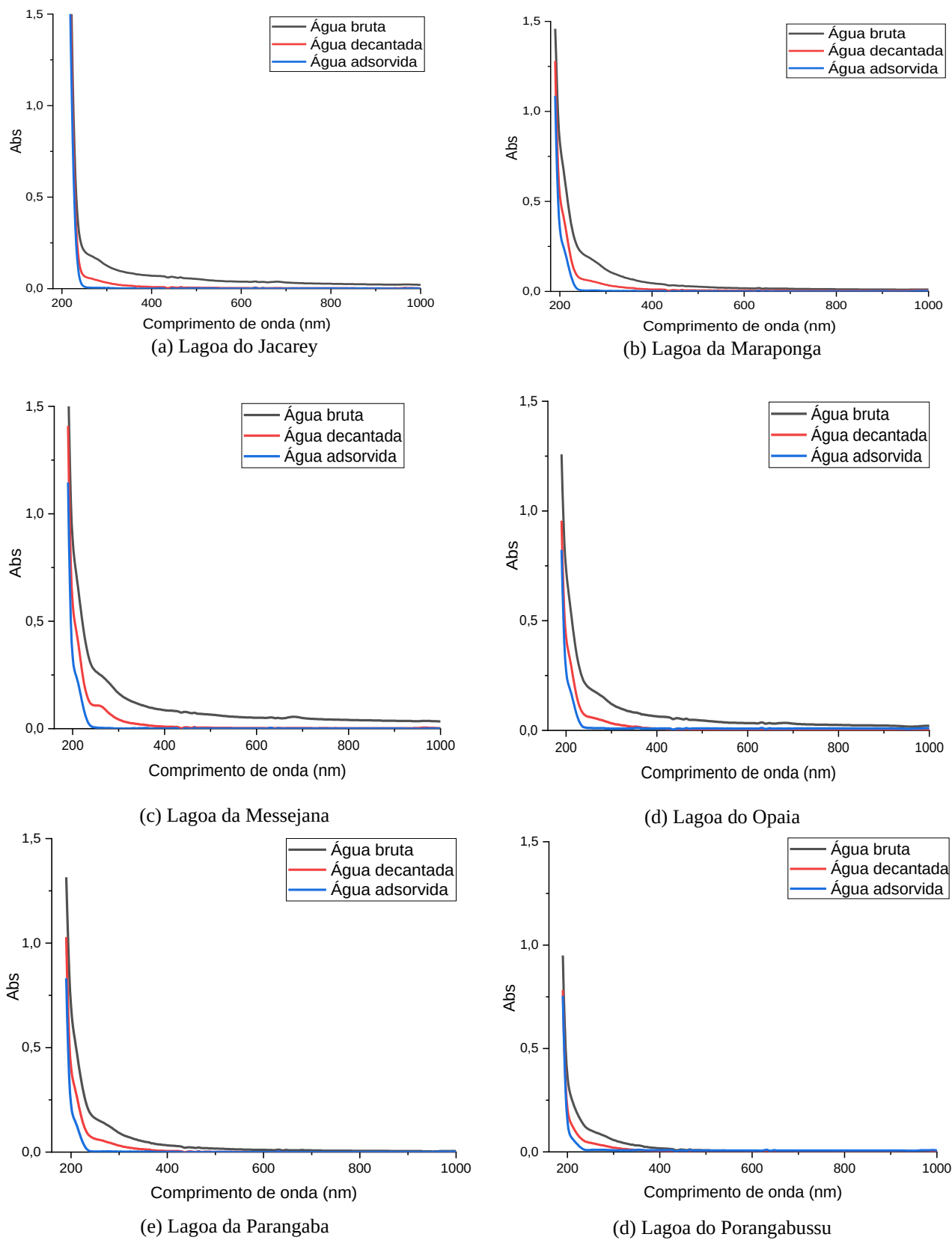
As Figuras 12 e 13 apresentam, como por exemplo, os espectros no ultravioleta-visível das lagoas urbanas em estudo na sua condição natural e após tratamento físico-químico combinado a adsorção com carvão ativo pulverizado.

Figura 12 — Espectros nos UV-Vis das lagoas em estudo durante o período seco após aplicação do tratamento combinado de coagulação/floculação/decantação e adsorção com carvão ativado.



Fonte: Autor (2024).

Figura 13 — Espectros nos UV-Vis das lagoas em estudo durante o período chuvoso após tratamento combinado de coagulação/floculação/decantação e adsorção com carvão ativado.

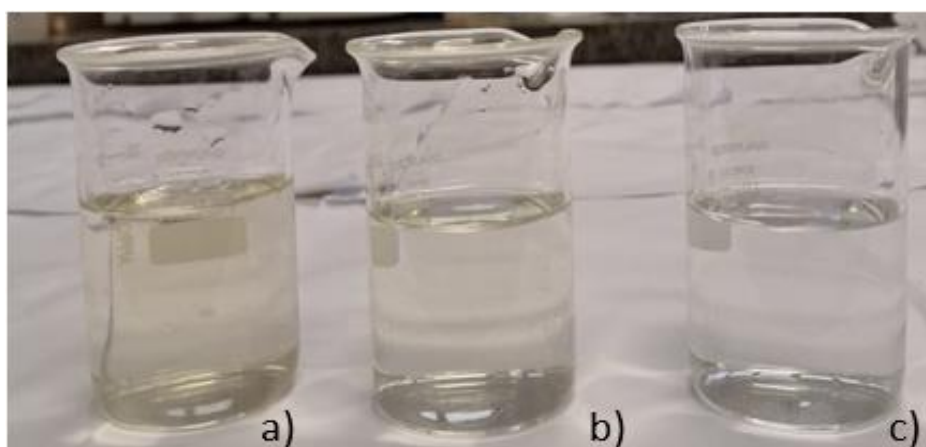


Fonte: Autor (2024).

As Figuras 12 e 13 mostram que os tratamentos de coagulação/floculação/decantação seguido de adsorção por carvão ativado nas amostras nos períodos seco e chuvoso foram eficazes para a remoção da MOD (UV_{254}), com decréscimo progressivo da absorbância a 254 nm. Por outro lado, a absorbância residual entre 200 e 220 nm permaneceu elevada, indicando alta concentração de compostos orgânicos refratários.

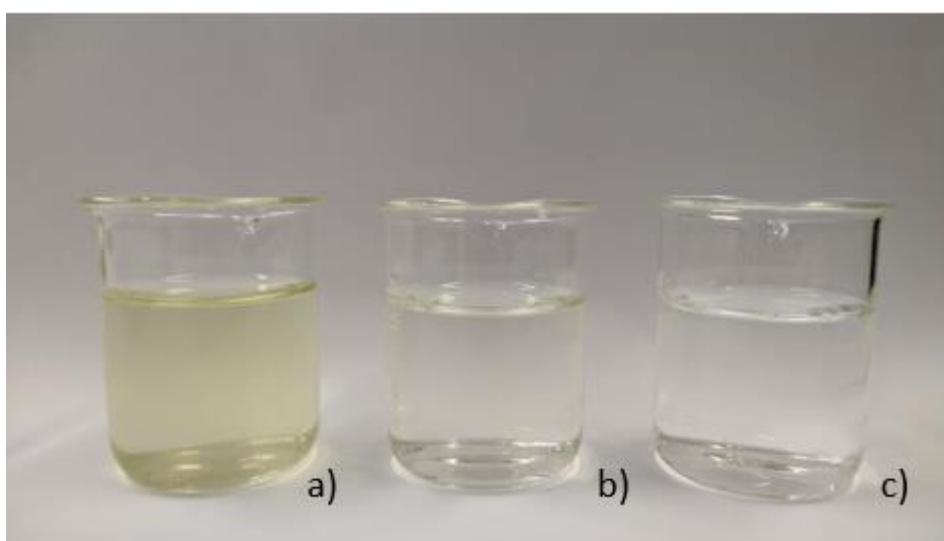
As Figuras 14 e 15 apresentam de forma ilustrativa o aspecto visual das amostras das águas da Lagoa do Opaia durante o período seco e da Lagoa de Messejana, respectivamente antes e após a aplicação do processo combinado de remoção da matéria orgânica.

Figura 14 — Amostra de água bruta (a) e tratadas por coagulação/floculação/decantação (b) e adsorção sobre carvão ativado (c) oriundas da Lagoa do Opaia durante período seco.



Fonte: Autor (2024).

Figura 15 — Amostras de água bruta (a) e tratadas por coagulação/floculação/decantação (b) e adsorção sobre carvão ativado (c) oriundas da Lagoa Messejana durante o período chuvoso.



Fonte: Autor (2024).

Notadamente, as imagens mostram uma água natural de aspecto levemente amarelado (Figura 14a) e mais fortemente amarelado (Figura 15a) cujas colorações se reduzem moderadamente após tratamento por coagulação/floculação/decantação (Figuras 14a e 14b) e praticamente se apresentam incolores e sem turbidez após a etapa de adsorção sobre carvão ativado (Figuras 14c e 15c), que completa o processo combinado de tratamento.

6 CONCLUSÕES

O monitoramento dos parâmetros físico-químicos de cor, DQO, turbidez e matéria orgânica dissolvida presente nas lagoas urbanas de Fortaleza em estudo mostrou que as águas brutas dos mananciais de Jacarey, Maraponga, Messejana, Opaia, Parangaba, Porangabussu estão em desacordo com os critérios de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº 888/2021. A DQO, por sua vez, mostrou concentrações inferiores a 70 mg/L, as quais são valores muito baixo para corpos hídricos desta natureza e podem indicar ausência de aporte de outras fontes de contaminação das águas.

O tratamento físico-químico por coagulação, floculação e decantação segundo o planejamento fatorial executado mostrou que as dosagens de policloreto de alumínio (PAC 23) de 4 a 6 mg/L e de 2 a 4 mg/L de poliacrilamida (0,02%) produziram eficientes remoções de cor aparente e turbidez das águas naturais, porém não o suficiente para adequá-las às características de potabilidade recomendadas pela Portaria MS Nº 888/21.

O tratamento de adsorção com carvão ativado em pó (1,25 g/L) posterior ao tratamento físico-químico convencional permitiu atingir valores recomendados de cor aparente e turbidez abaixo dos limites máximos permitido pela Portaria MS Nº 888/21 que trata sobre a adequação de águas tratadas para uso no consumo humano.

Estudos cinéticos de adsorção a temperatura ambiente e usando carvão ativado como adsorvente mostraram apreciáveis reduções (81% a 98%) da matéria orgânica dissolvida nas diferentes lagoas urbanas investigadas, o que pode ser considerado como um resultado promissor para este tipo de aplicação tecnológica.

Os resultados de qualidade das águas tratadas mostraram que o processo combinado é promissor para redução dos parâmetros cor, DQO, turbidez e MOD das águas de lagoas urbanas na cidade de Fortaleza. No perfil microbiológico, o tratamento combinado foi eficaz na remoção de até 99,8%, porém não foi o suficiente para as amostras se encaixarem dentro do padrão estabelecido pela Portaria MS Nº 888/21, ratificando a necessidade de um processo adicional de desinfecção visando aplicações futuras.

REFERÊNCIAS

- ALBEAL, M. B.; MARTINEZ, C.F.; SOLER, N. S.; RAMIREZ, F. G. Uso de áreas verdes para la actividad física: análisis descriptivo en escolares chilenos durante la pandemia por COVID-19. **Retos**, n. 44, p. 276-284, 2022.
- ALBUQUERQUE, P. C.; LIMA, F. A. X. Políticas públicas de sustentabilidade em Fortaleza, CE. **Interações**, v. 24, n. 2, p. 521-535, 2023.
- ALENCAR, V. E. S. A.; ROCHA, E. J. P.; JÚNIOR, J. A. S.; CARNEIRO, B. S. Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na Baía de Guajará-Belém-PA. **Revista de Geografia Física**, v.12, p. 661-680, 2019.
- ALI, I.; TAN, X.; XIE, Y.; PENG, C.; LI, J.; NAZ, I.; DUAN, Z.; WAN, P.; HUANG, J.; LIANG, J.; RUI, Z.; RUAN, Y. Recent innovations in microplastics and nanoplastics removal by coagulation technique: Implementations, knowledge gaps and prospects. **Water Research**, v. 245, p. 120617, 2023.
- ALMEIDA, T. P.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; VANZELA, L. S.; JUNIOR, R. A. Qualidade e preservação da água das fontes minerais naturais do município de Amparo - SP. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 56, p. 122-141, 2020.
- ALMEIDA, W. R. F.; SOUZA, F. M. Análise físico-química da qualidade da água do Rio Pardo no município de Cândido Sales - BA. **Rev. Mult. Psic.**, v.13, n. 43, p. 353-378, 2019.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Monitoramento e Qualidade da água. Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/qualidade-da-agua>. Acesso em: 6 nov. 2023.
- APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington: APHA, 2012.
- ARANA, A. R. A.; SIQUEIRA, C. A.; ULIANA, M. R.; RODRIGUES, M. V. P.; CAMARA, Y. B.; NOGUEIRA, Z. R. **Meio ambiente e saúde mental: Os benefícios das áreas verdes urbanas. Promoção da saúde em resposta à sociedade contemporânea**. Franca, SP: Ribeirão Gráfica Editora, p. 67-84, 2020.
- ARAÚJO, A. D.; FREITAS, M. O.; BAGGIO FILHO, H. Qualidade ambiental da água superficial do córrego quatro vinténs no município de Diamantina-MG. **Revista Cerrados**, v. 14, n. 1, p. 77-95, 2016.
- ARAUJO, D. L.; ANDRADE, R. F. Qualidade físico-química e microbiológica da água utilizada em bebedouros de instituições de ensino no Brasil: Revisão sistemática da literatura. **Braz. J. Hea. Rev.**, v. 3, n. 4, p. 7301-7324, 2020.
- ARAUJO, R. N.; GOMES, V. S.; LIMA, E. G.; DUARTE, T. M.; FERREIRA, R. S. B.; CAVALCANTI, M. T. Estudo comparativo do sulfato de alumínio e ferro no processo de coagulação/floculação da água do Açude Epitácio Pessoa, Boqueirão-PB. **Revinsa, Revista do Instituto Nacional do Semiárido**, v. 1, n. 2, p. 30-35, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NR 12073 MB 3410:** Carvão ativado pulverizado- Determinação de iodo. Rio de Janeiro, 1991.

ATEIA, M.; HELBLING, D. E.; DICHTTEL, W. R. Best practices for evaluating new materials as adsorbents for water treatment. **ACS Materials Lett.**, v. 2, p. 1532-1544, 2020.

AZIZ, H. A.; LEE, W. J.; IBRAHIM, N. Removal of coliform, suspended solids, UV₂₅₄ and colour using zeolite and activated carbon in riverbank filtration system. **International Journal of Engineering**, v. 33, n. 5, p. 732-736, 2020.

BALBINOTTI, J. R.; JORGE, R. M. M.; JUNIOR, R. E. S.; BALBINOTI, T. C. V.; CORAL, L. A. A.; BASSETTI, F. J. Treatment of low-turbidity water by coagulation combining *Moringa oleifera* Lam and polyaluminium chloride (PAC). **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 1, p. 111624, 2024.

BALTAR, C. A. M. **Processos de Agregação. In.: Tratamento de Minérios.** 5ª Edição. Luz, A. B.; Sampaio, J. A.; França, S. C. A. (Editores). CETEM/MCT. Capítulo 13, p. 557-594, 2010.

BALZER, M.; WITT, N.; FLEMMING, H. C.; WINGENDER, J. Faecal indicator bacteria in river biofilms. **Water Science & Technology**, v. 61, n. 5, p.1105-1111, 2010.

BEGA, J. M. M.; RIBEIRO, N. U. F.; ALMEIDA, J. C. R.; RICARDI, A. M.; OLIVEIRA, J. N. Avaliação dos parâmetros químicos de qualidade da água em um ecossistema aquático lótico. **Fórum ambiental**, v. 16, n. 1, p. 73-84, 2020.

BEHNAJADY, M. A. et al. Kinetic model for the decolorization of C.I. Acid Yellow 23 by Fenton process. **Journal of Hazardous Materials**, v. 148, p. 98-102, 2007.

BENALIA, A.; BAATACHE, O.; KERROUM, D.; KHALFAOUI, A.; AMROUCI, Z.; PIZZI, A.; PANICO, A. The use of central composite design (CCD) to optimize and model the coagulation-flocculation process using a natural coagulant: Application in jar test and semi-industrial scale. **Journal of Water Process Engineering**, v. 57, p. 104704, 2024.

BERLANDA, A. et al. Avaliação temporal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Desquite, Santa Catarina. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 45-51, 2021.

BERNARDO, L.; PAZ, SABOGAL, L. P. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água.** São Carlos: Ldibe, p.1538, 2008.

BHATNAGAR, A.; HOGLAND, W.; SILLANPAA, M. M.; MARQUES, M. An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. **Chemical Engineering Journal**, v. 219, p. 499-510, 2013.

BIERNACKA, M.; KRONENBERG, J.; LASZKIEWICZ, E. An integrated system of monitoring the availability, accessibility and attractiveness of urban parks and green squares. **Applied Geography**, v. 116, p. 102152, 2020.

BRASIL. **CONAMA - Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, n. 053, p. 58-63. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/urbanismo-e-meio-ambiente/411-resolucoes-do-conama>. Acesso em: 12 nov. 2023.

BRASIL. **CONAMA - Resolução nº 369, de 28 de março de 2006**. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente APP. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 151, 2006.

BRASIL. **CONAMA – Resolução nº 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, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da união. Disponível em: <https://www legisweb.com.br/legislacao/?id=114770#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20as%20condi%C3%A7%C3%B5es%20e,Nacional%20do%20Meio%20Ambiente%2DCONAMA>. Acesso em: 13 jan. 2024.

BRASIL. **Instrução Normativa Nº 62, de 26 de agosto de 2003**. Aprova os Métodos analíticos oficiais para análises microbiológicas para controle de produtos de origem animal e água Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. São Paulo, SP, 2003.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: Presidência da República, [1997]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 12 nov. 2023.

BRASIL. **Lei nº 4.771, de 25 de maio de 2012**. Institui o Código Florestal Brasileiro. Brasília: Presidência da República, [2012]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm. Acesso em: 16 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. Acesso em: 12 nov. 2023.

BRASIL. **Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Presidência da República, [2021]. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portariagm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 8 de nov. 2023.

BRESSAN, P. H.; GEREMIAS, R.; SOUZA, E. L. Resíduo da indústria cervejeira como precursor de carvão ativado comparado a outros resíduos agroindustriais: Uma revisão. **Evidência**, v. 20, n. 2, p. 141-148, 2020.

CARDOSO, P. R. S. **Informações sobre o Policloreto de Alumínio**. Resposta Técnica produzida pelo Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas/SBRT06 de junho 2006. Disponível em < <http://.sbrt.ibict.br>>. Acesso em: 10 fev. 2024.

CARMO, W. G. S.; HOFFMANN, N. K. S. A. Tratabilidade de água de ambiente lântico, visando a remoção de carbono orgânico total. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 3, p. e3377, 2024.

CARTAXO, A. S. B.; ALBUQUERQUE, M. V. C.; SILVA, M. C. C. P; RODRIGUES, M. M. R.; RAMOS, R. O.; SÁTIRO, J. R.; LOPES, W. S.; LEITE, V. D. Contaminantes emergentes presentes em águas destinadas ao consumo humano: Ocorrência, implicações e tecnologias de tratamento. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 61814-61827, 2020.

CESAR-RIBEIRO, C.; ROSA, H. C. Effects of seasonality on the environmental quality of the Itanhaém Estuary. **Thalassas: An International Journal of Marine Sciences**, v. 37, p. 745-756, 2021.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Guia nacional de coleta e preservação de lagoas: Água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. ANA/CETESB, Brasília, 2011.

CHAN, K. H.; CHU, W. Modeling the reaction kinetics of Fenton's process on the removal of atrazine. **Chemosphere**, v. 51, p. 305-311, 2003.

CHEN, Z. GU, P.; WEN, Q. Li. Degradation of refractory organic contaminants in membrane concentrates from landfill leachate by a combined coagulation-ozonation process. **Chemosphere**, v. 217, p. 411-422, 2019.

CHIAVOLA, A.; MARCANTONIO, C. D.; D'AGOSTINI M.; LEONI, S.; LAZZAZZARA, m. A combined experimental-modeling approach for turbidity removal optimization in a coagulation-flocculation unit of a drinking water treatment plant. **Journal of Process Control**, v 130, p. 103068, 2023.

CHICAVA, R. M.; SOUZA, A. S.; JESUS, T. B.; SANTOS, L. T. S. O. Análise da qualidade da água superficial das Lagoas Grande e Salgada em Feira de Santana - BA. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 44, p. 162–193, 2022.

CHINGOMBE, P.; SAHA, B.; WAKEMAN, S. B. Surface modification and characterisation of a coal-based activated carbon. **Carbon**, v. 43, v. 15, p. 3132-3143, 2005.

CHUANG I.-T.; CHUANG, F.; RIBEIRO, B. Efeitos das características espaciais dos parques urbanos sobre a densidade e diversidade de visitantes: Uma abordagem de mídia social geolocalizada. **Paisagem e Urbanismo**, v. 226, p. 104514, 2022.

COSTA, K. A.; COL, A. D.; VENTURA, A C. T.; GUMY, M. N.; WEINERT, P. L.; SCHEFFER, E. W. O. Influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água em lagos urbanos: um estudo de caso. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 19889-19907, 2021.

COUTINHO, J. V. S.; CHANCA, N. L.; DIAS, G. I. P.; LOUZADA, G. E.; OLIVEIRA, J.V.X.; OLIVEIRA, E. R.; BARBOZA, D. R. S.; FALSONI, R. M. P. Ensaio de floculação hídrica em lagoa crítica. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 1, n. 1, p. 268-274, 2023.

CRUZ, D.; PIMENTEL, M.; RUSSO, A.; CABRAL, W. J. W. Charge neutralization mechanism efficiency in water with high color turbidity ratio using aluminum sulfate and flocculation index. **Water**, v. 12, n. 2, p. 572-590, 2020.

DANTAS, A. B.; PASCHOALATO, C. F. P. R. P; FIGUEIREDO, J. O.; M. H. C. Remoção de cor, de ferro e de manganês em água com matéria orgânica dissolvida por meio da pré-oxidação, coagulação, filtração e adsorção em carvão ativado granular. **Revista DAE**, v. 59, n. 186, p. 46-55, 2011.

DÁURIA, B. A.; SILVA, A. Q.; OLIVEIRA, L. A.; REVELLO, J. H. P. 2022. Estudo da capacidade de adsorção de um corante reativo do efluente da indústria têxtil, utilizando material adsorvente obtido da cápsula do fruto da Paineira (*Chorisia speciosa* A.St.-Hil). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, p. 252111335249, 2022.

DELFINO, A. C. S.; SILVA, M. I. S.; PICCOLI, R. H.; FILHO, J. S. S. B. Análise Bayesiana de toxidez e interferência em ensaios de diluição seriada. **Rev. Bras. Biom.**, v.29, n.2, p.325-341, 2011.

DELMONICO, E. L., CONSTANTINO, A. F., CARNEIRO, C. Uso de polímeros catiônicos e aniônicos como produtos auxiliares no tratamento de água. **Revista Mosaicos: Estudos em Governança, Sustentabilidade e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 44-54, 2020.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. 1ª edição. São Carlos-SP: LDIBE, 2011.

EDZWALD, J.K; TOBIASON, J. E. **Chemical principles, source water, composition, and watershed protection. Water quality & treatment: a handbook on drinking water**. 6. ed. Nova York: McGraw-Hill. 1696 p. cap. 3, 2011.

ELFEKY, E. M. S.; SHEHATA, M. R.; ELBASHAR, Y. H.; BARAKATA, M. H.; EL ROUBY, W. M. A. Developing the sensing features of copper electrodes as an environmental friendly detection tool for chemical oxygen demand. **Royal Society of Chemistry**, v.1 2, n. 7, p. 4199-4208, 2022.

ERGIN, M. Using geographical information systems to measure accessibility of green areas in the urban center of Nevşehir, Turkey. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 62, p. 127160, 2021.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826p.

FARIA, D. S.; HOFFMANN, N. K. S. Avaliação da qualidade hídrica do lago urbano em Goiânia, Goiás. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 11, p. 024011, 2024.

FAYE, M.C.A.S.; ZHANG, Y.; YANG, J. Extracellular polymeric substances and sludge solid/liquid separation under *Moringa oleifera* and chitosan conditioning: A review. **Environ. Tech. Rev.**, v.1, n. 6, p. 59-73, 2017.

FERREIRA, J.C.R.; NEUFFER, D.; AMARAL, K.J. Evaluation of the use of activated carbon powder for removal of emerging micropollutants from sewage wastewater. **Environment and Ecology Research**, v. 5, n. 3, p. 178-183, 2017.

FERREIRA, L. M.; MELO, R. R. Use of activated charcoal as bio-adsorbent for treatment of residual waters: A review. **Nativa**, v. 9, n. 2, p. 215-221, 2021.

FORTALEZA. **Decreto nº 13.286, de 14 de janeiro de 2014**. Dispõe sobre a criação e regulamentação dos Parques Urbanos das Lagoas de Fortaleza. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, [2014]. Disponível em: <https://acervo.fortaleza.ce.gov.br/download-file/documentById?id=df4fd692-3006-4175-b3ae-3f054b954f02>. Acesso em: 8 de nov. 2023.

FORTALEZA. **Lei complementar nº 062, de 02 de fevereiro de 2009**. Institui o Plano Diretor Participativo do Município de Fortaleza e dá outras providências. Fortaleza, Camara Municipal, [2009]. Disponível em: https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/catalogodeservico/pdp_com_alteracoes_da_lc_0108.pdf. Acesso em: 10 fev. 2024.

FORTALEZA. **Parcelamento do solo**. Dispõe sobre o parcelamento do solo do município de fortaleza. Prefeitura Municipal de Fortaleza, [2017]. Disponível em: https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/legislacao-municipal/lei_complementar_236_2017.pdf. Acesso em 04 jan 2024.

GALIASI, R.R.G; TEIXEIRA, E.T. LB; OLIVEIRA, K.S; MARTINS, M. H. S; CORINGA, J. E S. Determinação do pH ótimo de floculação de água do Rio Cuiabá através de Jart test. **Periódico Tchê Química**, v. 20, n. 45, p. 1-7, 2023.

GANG, D.; AHMAD, Z. U.; YAO, Q. L. L.; ZAPPI, M. E. A review of adsorptive remediation of environmental pollutants from aqueous phase by ordered mesoporous carbon. **Chemical Engineering Journal**, v. 403, p. 126286, 2021.

GIRISH, N.; PARASHAR, N.; HAI, S. Coagulative removal of microplastics from aqueous matrices: Recent progresses and future perspectives. **Science of The Total Environment**, v. 899, p. 165723, 2023.

GORGULHO, H. F; MESQUITA, J. P; GONÇALVES, F.; PEREIRA, M. F. R; FIGUEIREDO, J. L. Characterization of the surface chemistry of carbon materials by potentiometric titrations and temperature-programmed desorption. **Carbon**, v. 46, n. 12, p. 1544-1555, 2008.

GUO, K.; WANG, Z.; PAN, J.; LIU, B.; WANG, Y.; YUE, Y.Q.; GAO, Y.; BAOYU, G. B. Highly efficient Al-Ti gel as a coagulant for surface water treatment: Insights into the hydrolysate transformation and coagulation mechanism. **Water Research**, v. 221, p. 118826, 2022.

HANG, H.; SUN, N.; LI, L.; AI, J.; ZHOU, H.; YANG, X.; YANG, X.; WANG, D.; ZHANG, W. Effects of dissolved organic matter removal and molecular transformation in different water treatment processes on formation of disinfection byproducts. **Water Research**, v. 245, p. 120626, 2023.

HANSEN, A. M.; KRAUS, T. E. C.; PELLERIN, B. A.; FLECK, J. A.; DOWNING, B. D.; BERGAMASHI, B. A. Optical properties of dissolved organic matter (MOD): Effects of biological and photolytic degradation. **Limnology and oceanography**, v. 61, n.3, p.1015-1032, 2016.

HE, H.; SUN, N.; LI, L.; AI, J.; ZHOU, H.; YANG, X.; YANG, X.; WANG, S.; ZHANG, W. Effects of dissolved organic matter removal and molecular transformation in different water treatment processes on formation of disinfection byproducts. **Water Research**, v. 245, p. 120626, 2023.

HE, X.; LIU, Y.; CONKLIN, A.; WESTRICK, J.; WEAVERS, L.K.; DIONYSIOU, D.; LENHART, J. J.; MOUSER, P. J.; SZLAG, D.; WALKER, H. W. Toxic cyanobacteria and drinking water: Impacts, detection, and treatment. **Harmful Algae**, v, 54, p. 174-193, 2016.

HILLEBRAND, F. J.; BENETTI, A. D. Caracterização da matéria orgânica dissolvida em processos de tratamento de água para consumo humano usando fracionamento rápido. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 25, n. 2, p. 237-246, 2020.

HUANG, J.; R. QIAN, J. GAO, H. BING, Q. HUANG, L. QI, S. SONG, J. HUANG. A new framework for predicting water turbidity using Bayesian modeling. **Water Research**, v. 202, p. 117406, 2021.

HUANG, X; ZHU, Y.; YANG, W.; JIANG, A.; JIN, X.; ZHANG, Y.; YAN, L.; ZHANG, G.; LIU, Z. A Self-supported CuO/Cu nanowire electrode as highly efficient sensor for COD measurement. **Molecules**, v. 24, n. 17, p. 3132, 2019.

HUSSAIN, S.; LEEUWEN, J. V.; CHOW, C. C.; BEECHAM, S.; KAMRUZZAMAN, M.; WANG, D.; DRIKAS, M.; ARYAL, R. Removal of organic contaminants from river and reservoir waters by three different aluminum-based metal salts: Coagulation adsorption and kinetics studies. **Chemical Engineering Journal**, v. 225, p. 394-405, 2013.

ILHADDADEN, S.; ABERKANE, D.; BOUKERROIU, A.; ROBERT, D. Removal of methylene blue (basic dye) by coagulation-flocculation with biomaterials (bentonite and *Opuntia ficus indica*). **Journal of Water Process Engineering**, v. 49, p. 102952, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa nacional de saneamento básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 124 p

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Panorama das cidades. Habitantes do município de Fortaleza. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/panorama>. Acesso em: 15 jan. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Brasil: IPEA, 299 p. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Dados pluviométricos da estação chuvosa do posto de Fortaleza, Ceará. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/Graficos/A305>. Acesso em: 26 ago. 2024.

JAFFE, R.; J.N. BOYER; X. LU; N. MAIE; YANG, C.; SCULLY, N.M.; MOCK, S. Source characterization of dissolved organic matter in a subtropical mangrove-dominated estuary by fluorescence analysis. **Marine Chemistry**, v. 84, p.195-210, 2004.

IUPAC. Recommendations. Pure and Applied Chemistry. Research Triangle Park, n. 57, p. 603-619, 1985.

JAYARAMAN P.; NAGARAJAN, K. K.; PACHAIVANNAN, P.; KRISHNAMURTHY, V. Critical review on water quality analysis using IoT and machine learning models. **International Journal of Information Management Data Insights**, v. 4, p. 100210, 2024.

JUNIOR, L. R. N.; ABREU, F. O. M. S. Produtos naturais utilizados como coagulantes e floculantes para tratamento de águas: Uma revisão sobre benefícios e potencialidades. **Rev. Virtual Quim.**, v. 10, n. 3, p. 709-735, 2018.

JUNIOR, P. A. M. **Remoção de carbono orgânico dissolvido em águas de abastecimento por pré-oxidação e adsorção em carvão ativado granular**. 2019. 108 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

KATRIVESI F.K.; KARELA, A. D.; PAPADAKIS, V. G.; PARASKEVA, C. A. Revisiting of coagulation-flocculation processes in the production of potable water. **Journal of Water Process Engineering**. v. 27, p. 193-204, 2019.

KUJAWSKA, A.; KIELKOWSKA, U.; ATISHA, A.; YANFUL, E.; KUJASWIKI, W. Comparative analysis of separation methods used for the elimination of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) from water - A critical review. **Separation and Purification Technology**, v 290, p. 120797, 2022.

KUMAR, S.; GHOSHA, N. C.; KAZMIB, A. A. Ballasted sand flocculation for water, wastewater and CSO treatment. **Environmental Technology Reviews**, v. 5, n. 1, p. 57-67, 2016.

LACERDA, A. B.; RADER, A. S.; LOPES, E. S. A eficiência de remoção de coliformes em uma estação de tratamento de água convencional. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 6, p. 7523-7359, 2019.

LI, F.; LI, F.; Li, S.; LONG, Y. Deciphering the recreational use of urban parks: Experiments using multi-source big data for all chinese cities. **Science of The Total Environment**, v. 701, p. 134896, 2020.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 3. ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010. Cap 8. Floculação. p. 207-213.

LIMA, J. P. M.; ROLLEMBERG, S. L. Simplified water treatment techniques. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 2, p. 447-460, 2020.

LIMA, M. M.; REGO, C.S.; LIMA, R. B. G.; SANTOS, A. R.; SOUSA, E. C.; MACHADO, N. L.; CARVALHO, S. A.; CLEMENTE, E. S.; OLIVEIRA, C. S.; PASSOS, I. N. G. P. Análise da qualidade da água do Rio Grajaú: Parâmetros microbiológicos. **Research, Society and Development**, v. 12, n.7, p. e12012742578, 2023.

LIMA, P. R.; ALMEIDA, I. V.; VICENTINI, V. E. P. Os diferentes tipos de coagulantes naturais para o tratamento de água: Uma revisão. **Evidência**, v. 20, n. 1, p. 9-22, 2020.

LIU, M.; SIDDIQUE, M. S.; GRAHAM, NIGEL, J. D.; WENZHENG, Y. Removal of small molecular weight organic matter by coagulation, adsorption and oxidation: Molecular transformation and potential for formation of disinfection by-products. **ACS Engenharia ES&T**, v. 2, n. 5, p. 886-894, 2022.

LIU, Z.; WEI, H.; Li, A.; YANG, H. Enhanced coagulation of low-turbidity micro-polluted surface water: Properties and optimization. **Journal of Environmental Management**, v. 233 p. 739–747, 2019.

LOGANATHAN, P.; KANDASAMY, J.; JAMIL, S.; RATNAWEERA, H.; VIGNESWARAN, S. Ozonation/adsorption hybrid treatment system for improved removal of natural organic matter and organic micropollutants from water - A mini review and future perspectives. **Chemosphere**, v. 296, p. 133961, 2022.

LOPES, V.S.; SILVA, L. M.A.; MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, A. L. Estudo da coagulação/floculação de água com turbidez moderada na sedimentação e flotação por ar dissolvido. **Engenharia Sanitária E Ambiental**, v. 25, n.4, p. 567-572, 2020.

LUZ, M. V. S.; SANTOS, R. S. S.; OLIVEIRA, A. C. V.; MARQUES, I. M.; BRIOUDE, M. M.; MOREIRA, Í.T.A. Estudo da qualidade da água superficial do Rio Foz Lucaia, Salvador (BA), Brasil. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 8, p. e736986287, 2020.

LV, M.; ZHANG, Z.; ZENG, J.; LIU, J.; SUN, M.; YADAV, R. S.; FENG, Y. J. S.; TECHNOLOGY, P. Roles of magnetic particles in magnetic seeding coagulation-flocculation process for surface water treatment. **Separation and Purification Technology**. v. 212, p. 337-343, 2019.

MANESH, A. N.; ANNAM, R.; KUMAR, S. P. Practice on treating pharmaceutical compounds (antibiotics) present in wastewater using biosorption techniques with different biowaste compounds: A review. **Environ. Prog. Sustain Energy**, v. 39, n. 6, p. e13429, 2020.

MAJD, M. M.; KERMANI, V.; GHALANDARI, V.; ASKARI, A.; SILLANPÄÄ, M. Adsorption isotherm models: A comprehensive and systematic review (2010-2020). **Science of The Total Environment**, v. 812, p. 151334, 2022.

MARTINS, T.J.C. **Sistemas de abastecimento de água para consumo humano: desenvolvimento e aplicação de ferramenta informática para a sua gestão integrada**. 2014. p.113. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2014.

MATILAINEN A.; GJESSING, E. T.; LAHTINEN, T.; HED, L.; BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, M. An overview of the methods used in the characterisation of natural organic matter (MON) in relation to drinking water treatment. **Chemosphere**, v. 83, n.11, p. 1431-1442, 2011.

NETO, A.F.R; MOREIRA, R.F.; GUARDA, E. A.; SILVA, G.G.; QUEIROZ, S. C. B. O uso da adsorção em carvão ativado pulverizado na remoção de matéria orgânica natural em ETA de ciclo completo. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 12, n. 4, p. 181-193, 2020.

OLIVEIRA, A, B, F. **Potencial de Reutilização de lamas de ETA para remoção de sulfatos Caso de estudo: ETA de Santa Águeda**. Dissertação de mestrado (Licenciatura em Ciências de Engenharia do Ambiente) – Universidade Nova de Lisboa, 2020.

OLIVEIRA, R. R.; ARAÚJO, A. L. C.; DUARTE, M. A. C. Estudo do potencial de formação de trihalometanos na Lagoa de Extremoz (RN). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 2, p. 315-322, 2020.

OKUMURA, A. T. R.; SILVA, A. G.; SILVA, N. R. S.; LOPES, E. R. N.; BIFANO, R. B. A.; QUILENATO, R. V. Determinação da qualidade da água de um rio tropical sob a perspectiva do uso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1835-1850, 2020.

PATEL, H. Batch and continuous fixed bed adsorption of heavy metals removal using activated charcoal from neem (*Azadirachta indica*) leaf powder. **Scientific Reports**, v. 10, p. 16895, 2020.

PENG, J.; DAN, Y.; QIAO, R.; LIUC, Y.; DONG, J.; WU, J. How to quantify the cooling effect of urban parks? Linking maximum and accumulation perspectives. **Remote Sensing of Environment**, v. 252, p. 112135, 2021.

PELUSO, J.; COLL, C. S. P.; CRISTOS, D.; CRISTOS, D.; ROJAS, D. E.; ARONZON, C. M. Comprehensive assessment of water quality through different approaches: Physicochemical and ecotoxicological parameters. **Science of the Total Environment**, v. 800, p. 149510, 2021.

PIMENTA, J. A. A.; FERREIRA, J. W. S.; NICOLAU, R. H. G.; FURUYA, D. E. G.; JÚNIO, G. J. P. Avaliação do sulfato de alumínio, policloreto de alumínio e cloreto férrico no tratamento de água bruta do Rio Santo Anastácio. **Colloquium Exactarum**, v. 9, n. 3, p. 38-56, 2018.

PINTO, J. S.; PINTO, A. L.; PINTO, V. P. S.; OPPLIGER, E. A.; OLIVEIRA, A. K. M. Análise das mudanças do uso e cobertura da terra em dois parques urbanos e seus entornos em Campo Grande, Mato Grosso do Sul. **Boletim de Geografia**, v. 39, p. 33-48, p. e59194, 2021.

POUSO, S.; BORJA, A.; FLEMING, L. E.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; WHITE, M. P.; UYARRA, M. C. Contact with blue-green spaces during the COVID-19 pandemic lockdown beneficial for mental health. **Science of the Total Environment**, v. 756, p. 143984, 2020.

PREFEITURA DE FORTALEZA. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Plano Fortaleza 2040**. Fortaleza, [2020]. Disponível em: <https://fortaleza2040.fortaleza.ce.gov.br/site/>. Acesso em: 04 jan. 2024.

PREFEITURA DE FORTALEZA. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Programa Fortaleza Cidade Sustentável**. Fortaleza, [2020]. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/infocidade/362-programa-fortaleza-cidade-sustentavel>. Acesso em: 04 jan. 2024.

PREFEITURA DE FORTALEZA. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Programa Fortaleza Mais Verde**. Fortaleza, [2019]. Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-lanca-programa-fortaleza-mais-verde>. Acesso em: 04 jan. 2024.

PREFEITURA DE FORTALEZA. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Parques Urbanos de Fortaleza**. Fortaleza, [2023]. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/infocidade/696-parques-urbanos-fortaleza>. Acesso em: 04 jan. 2024.

REDONDO, B.; MILINKUMAR, T. S.; VISHNU, K. P.; RANJEET, P. U.; PAUL, A. W.; JIM, P.; WOO, J. L.; TEJAS, B. Intensified isothermal reactor for methanol synthesis. **Chemical Engineering and Processing**, v. 143, p. 107606, 2019.

RODRIGUES, A. M.; AQUINO, D. S. CORDEIRO, L. L. Avaliação de *Aloe arborescens* como coagulante para remoção de cor e turbidez em tratamento convencional de água. **Ingeniería del agua**, v. 24, n. 2, p. 81-88, 2020.

ROSE, L.; DL KARWAN, DYMOND, S. Variation in riverine dissolved organic matter (MOD) optical quality during snowmelt- and rainfall-driven events in a forested wetland watershed. **Journal of Hydrology**, v. 617, p. 128988, 2023.

SATIRO, J. R.; ALBUQUERQUE, M.V.C.; RAMOS, R. O.; CARTAXO, A. S. B.; SILVA, M. C. C. P.; SILVA, S.F.; LOPES, W.S.; LEITE, V.D. Avaliação do tratamento de água de abastecimento do semiárido em sistema convencional seguido de adsorção de carvão ativado granular. **Braz. J. of Develop.**, v. 6, n. 8, p. 62482-62494, 2020.

SANTANA, K. V. S.; OLIVER, S. L.; MAUA, T.; OLIVEIRA, M. A.; MOREIRA, T. C. L.; LANHAM, S.; RIBEIRO, H. Áreas verdes e status de vitamina D: Análise com mulheres residentes de uma cidade média e de clima tropical. **Finisterra**, v. 57, n. 121, p. 151-170, 2022.

SANTOS, G. R.; PAULINO, G. S. P.; BORGES, G. P. I. SANTIAGO, A. F.; SILVA, G. A. Avanços analíticos baseados em modelos de calibração de primeira ordem e espectroscopia UV-VIS para avaliação da qualidade da água: Uma revisão – Parte 1. **Quim. Nova**, v. 45, n. 3, p. 314-323, 2022.

SANTOS, N. C. P.; LOBO, P. T. D. Qualidade microbiológica da água de lagoas e perfil de resistências antimicrobianas de *Escherichia coli* em Feira de Santana, Bahia. **Studies in Health Sciences**, v. 5, n. 3, p. 1-13, 2024.

SANTOS, S. A.; GASTALDINI, M. C. C.; PIVETTA, G. G.; FILHO, O. S. Qualidade da água na bacia hidrográfica urbana Cancela Tamandaí, Santa Maria. **Rev. Soc. Nat.**, v.30, n. 2, p.23-44, 2018.

SARAIVA, M. A. **Avaliação dos parques urbanos de Fortaleza/CE: uma proposta de ferramenta para auditoria**. 2020. 104 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

SGHAIER, W.; TORKIA, Y. B.; BOUZID, M.; LAMINE, A. B. Thermodynamic analysis of cooling cycles based on statistical physics modeling of ethanol adsorption isotherms. **International Journal of Refrigeration**, v. 141, p. 119-131, 2022.

SHAN, L.; FAN, H.; GUO, H.; JI, S.; ZHANG, G. Natural organic matter fouling behaviors on superwetting nanofiltration membranes. **Water Research**, v. 93, p. 121-132, 2016.

SHANG, Y.; KAISHAN, S.; JACINTHE, P.; WEN, Z.; ZHAO, Y.; LYU, L.; FANG, C.; LI, S.; LIU, G.; HOU, J.; ZHANG, N. Fluorescence spectroscopy of CMOD in urbanized waters across gradients of development/industrialization of China. **Journal of Hazardous Material**, v. 415, p.125630, 2021.

SHEN, M.; SONG, B.; ZHU, Y.; ZENG, G.; ZHANG, Y.; YANG, Y.; WEN, X.; CHEN, M.; YI, H.; Removal of microplastics via drinking water treatment: Current knowledge and future directions. **Chemosphere**, v. 251, p. 126612, 2020.

SIDDIQUE, M. A. B.; ISLAM, A. R. M. T.; HOSSAIN, M. S.; KHAN, R.; AKBOR, M. A.; HASANUZZAMAN, M. W. M.; SAJID, M. Y.; MIA, M. J.; RAHMAN, M. S. Multivariate statistics and entropy theory for irrigation water quality and entropy-weighted index development in a subtropical urban river, Bangladesh. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 8577-8596, 2022.

SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, M. C.; MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINEN, M. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. **Chemosphere**, v. 190, p. 54-71, 2018.

SILVA, AMANDA. L. O.; RAMOS, M. S.; LUIZ, M. R.; SOUZA, N. C.; NASCIMENTO, A. P. S.; SILVA, J. E.O. A.; RAMOS, E. F.; AMORIM, F. V. Possíveis efeitos do alumínio presente na água tratada. **Braz. J. of Develop.**, v. 6, n. 1, p. 1413-1420, 2020.

SILVA, ANA. C. S.; FARIAS, N. S. N.; JUNIOR, A. P. Diatomáceas como indicadoras da qualidade da água em rios urbanos. **Braz. J. of Develop.**, v. 6, n. 6, p. 34616-3464, 2020.

SILVA, C. H. S. T.; NUNES, B. R. P.; MEDEIROS, L. G.; PINHEIRO, M. A. M.; ALMEIDA, S. N. R.; PORTO, H. C.; LEAL, M. C.; PIRES, J. J. B. Avaliação comparativa de agentes coagulantes químico e natural no processo de coagulação de águas de cisterna no município de Sumé-PB. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 5109–5116, 2020.

SILVA, C. M. **Pré-tratamento de água de produção por processo oxidativo avançado visando reduzir incrustação em membranas**. 2017. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

SILVA, D. D. S.; COSTA, A. G.; ARAÚJO, R. S.; BARRETO, F. M. S. Tratamento de um efluente têxtil real via processo combinado de coagulação/floculação/decantação e oxidação Fenton. **Revista DAE**, v. 71, n. 240, p. 65-78, 2023.

SILVA, G. O. R. E. *et al.* Avaliação de alumina e carvão ativado conjugados com nanopartículas de prata como pré-tratamentos para nanofiltração visando à redução da incrustação. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, n. 1, p. 79–89, jan. 2022.

SILVA, S. T. B.; NETO, C. O. A.; INGUNZA, M. P. D. Potencialidade de uso não potável de água de lagoa de detenção. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 24, n. 5, p. 1061-1070, 2019.

SOUSA, B. A. A.; NETO, C. S. N.; ABREU, A. A.; SILVA, C. S. Implantação e avaliação de um sistema para tratamento de água cinza. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 3531-3552, 2020.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G.C.; SILVA, T.G. F. Qualidade física, química e biológica sazonal das águas superficiais da bacia hidrográfica do córrego Moeda em Três Lagoas/MS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 196-210, 2020.

SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D.; MISHRA, I. M. Treatment of pulp and paper mill wastewaters with polyaluminium chloride and bagasse fly ash. **Colloids and Surfaces A: Physiochemical Engineering Aspects**, v. 260, p. 17-28, 2005.

STEDMON, C. A.; NELSON, N. B. **The optical properties of MOD in the ocean**. In: Carlson DAHA, editor. Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter (Second Edition). p. 481-508, 2015.

TEDESCO, A.M.; OLIVEIRA, G.A.; TROJAN, F. Avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por meio dos métodos AHP e TOPSIS. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 26, n. 3, p. 401-407, 2021.

TELES, I. B.; FLORENTINO, LI A.; RAMIRIO, L. D.; BRUNINI, R. G.; PEREIRA, R.W. Análise da qualidade das águas do Rio Mogi - Guaçu por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e73111133285, 2022.

VALVERDE, K. C.; PACCOLA, E. A. S.; POMIN, A. M.; YAMAGUCHI, N. U.; BERGAMASCO, R. Tratamento de água combinado com extrato natural de *Moringa oleifera* Lam e coagulante sintético. **Rev. Ambient. Água**, v. 13, n. 3, p. e2135, 2018.

VASCONCELOS, F. D.; MOTA, F. S. B.; MENESCAL, L. M. Acessibilidade e uso sustentável das Áreas Verdes Urbanas como fator de preservação ambiental. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 9, n. 72, p. 36-49, 2021.

VIEIRA, W. C. S. **Taninos na floculação de rejeito de minério de ferro**. 2022. 65 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

VILAÇA, D. C. S.; CARVALHO, R. C. R.; ANDRADE, R. D. A influência dos parques urbanos para a qualidade de vida: revisão narrativa. **Rev. Científica Integrada**, v. 6, n. 1, p. e202308, 2023.

WANG, Y; YANG, Q; DONG, J; HUANG, H. Competitive adsorption of PPCP and humic substances by carbon nanotube membranes: Effects of coagulation and PPCP Properties. **Science of the Total Environment**, v. 619-620, p. 352-359, 2018.

WEI, H.; GAO, B.; REN, J.; LI, A.; YANG, H. Coagulation/flocculation in dewatering of sludge: A review. **Water Research**, v.143, p. 608-631, 2018.

WEN, Z.; HZN, J.; SHANG, Y.; TAO, H.; FANG, C.; LYU, L.; LI, S.; HOU, J.; LIU, G.; KAISHAN, C. Spatial variations of MOD in a diverse range of lakes across various frozen ground zones in China: Insights into molecular composition. **Water Research**, v. 233, p. 119782, 2023.

XAVIER; M. V. S.; QUADROS. H. C.; SILVA, M. S. S. Parâmetros de potabilidade da água para o consumo humano: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. e42511125118, 2022.

ZAHMATKES, S.; KARIMIAN, M.; CHEN, Z.; NI, B. Combination of coagulation and adsorption technologies for advanced wastewater treatment for potable water reuse: By ANN, NSGA-II, and RSM. **Journal of Environmental Management**, v. 349, p. 119429, 2024.

ZIMMERMANN, M. C.; GUIMARÃES, M. O.; PERALTA-ZAMORA, P. G. Avaliação da qualidade do corpo hídrico do Rio Tibagi na região de Ponta Grossa utilizando análise de componentes principais (PCA). **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1727-1732, 2008.

ZHANG, Y.; YAO, X.; WU, Q.; HUANG, Y.; ZHOU, Z.; YANG, J.; LIU, X. Prediction of lake-type raw water turbidity using random forest model based on meteorological data: A case study of Lake Tai. China. **Journal of Environmental Management**, v. 290, p. 112657, 2021.

ZHAO Z.; SUN, W.; RAY, M. B. Adsorption isotherms and kinetics for the removal of algal organic matter by granular activated carbon. **Science of the Total Environment**, v. 806, p. 150885, 2021.

ZHOU, Y.; CHEN, L.; ZHOU, L.; ZHANG, Y.; PENG, K.; GONG, Z.; JANG, K.; SPENCER, R. G. M.; JEPPESEN, E.; BROOKES, J. D.; KOTHAWALA, D. N.; WU, F. Key factors driving dissolved organic matter composition and bioavailability in lakes situated along the eastern route of the south-to-north water diversion project, China. **Water Research**, v. 233, p. 119782, 2023.