

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE HORTÊNSIAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE**

ÊMILI BORGES CARLOS

**EFICIÊNCIA DO COAGULANTE VEGETAL PITAIA (*SELENICEREUS UNDATUS*
(HAW.) D.R. HUNT) NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO**

SÃO FRANCISCO DE PAULA

2022



uergs

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Hortênsias

ÊMILI BORGES CARLOS

**EFICIÊNCIA DOS COAGULANTES VEGETAIS PITAIA (SELENICEREUS
UNDATUS (HAW.) D.R. HUNT) NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO
HUMANO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Hortênsias, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ambiente e Sustentabilidade.

Orientadora: Profa. Dra. Suzana Frighetto Ferrarini

Coorientador: Prof. Dr. Airton Luiz Bortoluzzi

SÃO FRANCISCO DE PAULA

2022

Catalogação de publicação na fonte (CIP)

C284e Carlos, Êmili Borges

Eficiência dos coagulantes vegetais pitaiá (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.r. Hunt) no tratamento de água para consumo humano/ Êmili Borges Carlos. – São Francisco de Paula: Uergs, 2022.

107 f. il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade, Unidade Hortênsias, 2022.

Orientadora: Prof.^a Dra. Suzana Frighetto Ferrarini

Coorientador: Prof. Dr. Airton Luiz Bortoluzzi

1. Coagulantes naturais. 2. Potabilidade. 3. Sustentabilidade 4. Dissertação. I. Ferrarini, Suzana Frighetto. II. Bortoluzzi, Airton Luiz. III. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade, Unidade Hortênsias. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Marcelo Bresolin CRB 10/2136

ÊMILI BORGES CARLOS

**EFICIÊNCIA DOS COAGULANTES VEGETAIS PITAIA (SELENICEREUS
UNDATUS) NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Hortênsias, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ambiente e Sustentabilidade.

Aprovado em: 04/08/2022

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Suzana Frighetto Ferrarini (orientadora)

PPGAS Uergs - Unidade Hortênsias



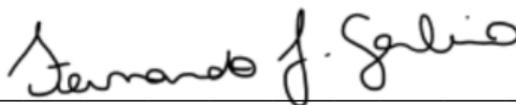
Profa. Dra. Márcia dos Santos Ramos Berreta

PPGAS Uergs - Unidade Hortênsias



Prof. Dr. Marçal José Rodrigues Pires

PGETEMA PUCRS/Escola Politécnica



Prof. Dr. José Fernando Garbuio

IFC- Santa Rosa do Sul

Dedico este projeto às futuras gerações, que elas possam continuar dando passos ao encontro da sustentabilidade, em especial ao meu filho Davi, minha motivação diária para seguir em busca de um mundo melhor.

AGRADECIMENTOS

Tenho muito a agradecer, pois durante o período em que fui mestranda tive o privilégio de encontrar pessoas maravilhosas em meu caminho, professores fantásticos e uma turma multidisciplinar que adorava um debate. Esses ambientes de debate proporcionaram a melhor experiência de sala de aula que já vivenciei e isso certamente não conseguiria ser traduzido nem por uma nota dez em uma prova tradicional. Portanto, gratidão, UERGS Hortênsias, professores e colegas da turma da Jacutinga, foi um prazer conhecer e conviver com vocês. Reservo um espaço especial para minhas amigas do peito, Elisa Teixeira Aires e Luciane Cherobini, que foram os melhores presentes desta vivência de mestranda.

Imensa gratidão ao Instituto Federal Catarinense - Campus Santa Rosa do Sul que, por meio de cooperação técnica, proporcionou a estrutura física para execução do projeto, além de profissionais dedicados e dispostos a ajudar, como o laboratorista Leandro Lunardi, meu braço direito no dia a dia de laboratório, e o professor Dr. Fernando José Garbuio, que dedicou seu tempo para auxiliar com a organização dos dados. Agradeço também a SATC, especialmente ao pesquisador professor Dr. Thiago Fernandes de Aquino e a pesquisadora professora Dra. Beatriz Bonetti, que tornaram possíveis as análises de FRX.

Ressalvo que nada disso seria possível se não fosse o professor Dr. Airton Luiz Bortoluzi, professor do Instituto Federal Catarinense - Campus Santa Rosa do Sul, que idealizou o projeto e se fez presente durante toda execução enfrentando todos os contratemplos de equipamentos e reagentes, inclusive financiando alguns. Gratidão imensa também ao meu anjo na UERGS, a professora Dr. Suzana Frighetto Ferrarini, que me acolheu como orientada, me incentivou e foi minha guia durante esta caminhada. Gostaria de deixar registrado o carinho especial que tenho por vocês dois, meu coorientador professor Airton Bortoluzzi e a minha orientadora, professora Suzana Frighetto Ferrarini.

E por trás da correria acadêmica, a vida de filha, irmã, esposa, amiga, funcionária, nora, ganhou durante o mestrado mais um título, o de mãe. A todos vocês que fazem parte do meu dia a dia e muitas vezes abdicaram de momentos por causa do meu mestrado, saibam que sem vocês sendo meu suporte eu jamais teria conseguido executar este projeto. Gratidão!

Certamente a palavra que define esse período é transformação e assim entrego com orgulho este trabalho, como uma singela contribuição para a sociedade.

“A água não é somente herança de nossos predecessores; ela é, sobretudo, um empréstimo aos nossos sucessores. Sua proteção constitui uma necessidade vital, assim como a obrigação moral do homem para com as gerações presentes e futuras”.

Declaração Universal dos Direitos da Água (1992)

RESUMO

A utilização de coagulantes de origem vegetal para tratamento de água surge como uma opção ambientalmente adequada ao tratamento convencional com sais de alumínio. A presença do metal alumínio no ambiente, além de causar poluição, está sendo relacionada como possível desencadeador de doenças associadas ao sistema nervoso central. Inúmeras plantas apresentam potencial para atuarem como coagulantes, destacando-se por serem solúveis em água, efetivos em ampla faixa de pH, livre de contaminantes tóxicos, não corrosivos, produção de lodo biodegradável e em volumes menores quando comparado aos tradicionais coagulantes químicos que costumam ser empregados. Objetivou-se, neste estudo, avaliar o desempenho do cladódio de pitaia (*Selenicereus undatus*) como coagulante natural no tratamento de água para consumo humano devido, principalmente, ao seu crescente cultivo na região de estudo. Sua eficiência no tratamento da água da lagoa Itapeva, município de Torres-RS, foi comparada com um coagulante natural, semente de *Moringa oleífera* e um coagulante comercial (sulfato de alumínio), convencionalmente utilizado nas Estações de Tratamento de Água - ETA. Para tanto, a influência das variáveis pH, tempo de agitação rápida e concentração dos coagulantes foi monitorada. Na otimização da metodologia de tratamento desenvolvida, os parâmetros de potabilidade turbidez (antes e após filtração), cor aparente, cor verdadeira e Carbono Orgânico Dissolvido – COD foram acompanhados. A comparação entre os coagulantes mostrou uma atuação diferenciada dos coagulantes de origem vegetal frente ao coagulante químico. A pitaia apresentou melhor desempenho em condições de pH ácido, necessitando de um maior tempo de agitação rápida para que a etapa de coagulação e floculação fosse efetiva. A moringa demonstrou uma boa atuação em uma faixa de pH ampla e necessitou de um tempo menor de agitação rápida. Quanto às concentrações ideais de atuação dos coagulantes, foi observado que cada parâmetro de potabilidade necessita de uma concentração específica e a utilização de coagulante vegetal é mais dependente da etapa de filtração para obtenção de resultados satisfatórios. Após as otimizações realizadas nesse estudo, no que concerne aos limites impostos pela Portaria GM MS 888/21, para o parâmetro turbidez, foi possível a obtenção de valores abaixo do valor de 5 uT para os três coagulantes testados. O desempenho em relação ao parâmetro cor mostrou que apenas com uso do sulfato de alumínio e da pitaia em pH 3 foi possível obter valores menores que o limite de 15 uH, previsto pela referida portaria. A possibilidade de uso do vegetal pitaia no tratamento de água para consumo humano mostrou a potencialidade dessa substância diante da importante etapa de coagulação e floculação. Percebe-se que há diferentes possibilidades de ampliação do estudo a fim de que todos os três parâmetros de potabilidade possam ser atendidos e, assim, a pitaia possa ser seguramente utilizada na importante função pretendida. Por enquanto fica constatado que a pitaia deve ser empregada para outros usos que demandem menos restrição, especialmente no que diz respeito aos parâmetros cor aparente e COD, como tratamento de efluente, por exemplo.

Palavras-chave: Coagulantes naturais, sustentabilidade, potabilidade, clarificação da água.

ABSTRACT

The use of coagulants of vegetal origin for water treatment arrives as a more environmentally adequate option than the conventional treatment with aluminum salts. The presence of aluminium in its metal state ions in the environment, besides causing pollution, is being associated as a possible trigger for diseases associated with the central nervous system. Numerous plants have the potential to function as coagulants, noteworthy for being soluble in water, effective in a wide pH range, free from toxic contaminants, non-corrosive, able to produce biodegradable sludge and in smaller volumes when compared to traditional chemical coagulants that are usually employed. This study's objective was to evaluate the performance of cladode of dragon fruit (*Selenicereus undatus*) as a natural coagulant in the water treatment for human consumption, mainly due to its growing cultivation in the studied region. Its efficiency in the water treatment from the Itapeva lagoon, municipality of Tores, RS, was compared with a natural coagulant, *Moringa oleifera* seed and a commercial coagulant (aluminum sulfate), conventionally used in Water Treatment Plants. Therefore, the influence of variables such as pH, rapid stirring time and coagulants' concentration was monitored. In the optimization of the treatment's developed methodology, the parameters of potability, turbidity (before and after filtration), apparent color, true color and Dissolved Organic Carbon - DOC, were monitored. The comparison between the coagulants showed a different performance of the ones with vegetable origin against the chemical coagulant. The dragon fruit showed better performance under acidic pH conditions, requiring a longer time of rapid agitation for the coagulation and flocculation step to be effective. On the other hand, the Moringa good performed better in a wide pH range and required a shorter rapid stirring time. As for the coagulants' ideal concentrations, it was observed that each potability parameter needs a specific concentration, and the use of vegetal coagulant depends more on the filtration step to obtain satisfactory results. After the optimizations carried out in this study, with regards to the limits by Ordinance GM MS 888/21, for the turbidity parameter, it was possible to maintain the values below the 5 uT value for the three tested coagulants. The performance in relation to the color parameter showed that, only with the use of aluminum sulfate and dragon fruit at pH 3, it was possible to obtain values lower than the limit of 15 uT, provided for by the aforementioned ordinance. The possibility of using the dragon fruit in the water treatment for human consumption showed this substance's potential in the relevant stage of coagulation and flocculation. It is noticed that there are different possibilities for the study's expansion so that all the three potability parameters can be met and thus, the dragon fruit can be safely used in the intended function. For the time being, it is confirmed that dragon fruit should be used for other uses that require less restriction, especially with regard to apparent color and DOC parameters, such as effluent treatment, for example.

Keywords: Natural coagulants, sustainability, potability, water clarification.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Localização geográfica da lagoa Itapeva. a) Região hidrográfica do litoral norte gaúcho, onde a lagoa Itapeva está situada b) Estação de Tratamento de Água (ETA) da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), ponto onde foram realizadas as coletas de água da lagoa Itapeva 36
- Figura 2 - Realização das coletas de água *in natura*. a) Tanque de captação na Estação de Tratamento de Água (ETA), local onde foram realizadas as coletas de água; b) Amostra de água coletada e armazenada em galão plástico vedado..... 37
- Figura 3 - Etapa inicial de preparo do pó de pitaia. a) Cladódio de pitaia *Selenicereus undatus* previamente preparada com lavagem e retirada de espinhos. b) Cortes transversais e secagem dos cladódios..... 39
- Figura 4 - Etapa de moagem para preparo do pó. a) Cladódio de pitaia após secagem; b) Processo de moagem dos cladódios secos..... 39
- Figura 5 - Etapa final de preparo do pó de cladódio. a) Processo de peneiramento do pó de cladódio de pitaia; b) Armazenamento do pó em becker de vidro..... 40
- Figura 6 - Resultados das etapas de preparação do pó de semente de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). a) Semente de moringa com casca; b) Semente de moringa descascada; c) Pó de semente de moringa..... 41
- Figura 7 - Equipamento JarTest com barra dosadora para adição dos tratamentos..... 43
- Figura 8 - Equipamentos de monitoramento de parâmetros cor e turbidez. a) Espectrofotômetro; b) Turbidímetro..... 46
- Figura 9 - Equipamentos de monitoramento dos parâmetros pH e Carbono orgânico dissolvido. a) pHmetro; b) Espectrofotômetro UV-VIS..... 48

Figura 10 - Monitoramento de turbidez realizado na lagoa Itapeva na estação 87311000 pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – FEPAM no período entre setembro/2017 e março/2020.....	53
Figura 11 - Registro fotográfico com 4,3 x de aumento, do lodo gerado após as etapas de coagulação, floculação e sedimentação com a utilização de sulfato de alumínio, moringa e cladóidio de pitaia respectivamente.....	70
Figura 12 - Curvas com o percentual de remoção de turbidez sem filtração (●) e após filtração (▲) em função da concentração (mg L^{-1}) dos coagulantes.....	73
Figura 13 - Curvas dos parâmetros cor aparente (●) e cor verdadeira (▲) em função da concentração (mg L^{-1}) dos coagulantes.....	76
Figura 14 - Curvas obtidas para o parâmetro pH final da água, em função da concentração (mg L^{-1}) dos coagulantes.....	78
Figura 15 - Curvas do parâmetro Carbono Orgânico Dissolvido, em função da concentração (mg L^{-1}) dos coagulantes.....	80
Figura 16 - Encarte de divulgação da entrevista intitulada “Uso de vegetais para tratamento de água: pitaia e moringa”.....	86
Figura 17 - Encarte de divulgação da Semana do Meio Ambiente, onde ocorreu a oficina intitulada “Tratamento da água”.....	90
Figura 18 - Atividade prática realizada durante a oficina.....	91
Figura 19 - Etapa de conceituação sobre o tratamento de água durante a oficina.....	91

Figura 20 - Lista de presença de inscritos na oficina..... 92

Figura 21 – Cartilha dos procedimentos para uso de coagulantes vegetais no tratamento de água para consumo humano..... 99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Demonstração comparativa do teste I em relação ao pH que proporcionou as melhores condições de remoção de turbidez e cor aparente em relação aos coagulantes estudados..... 65

Quadro 2 - Comparativo das melhores condições de tempo de agitação rápida para as variáveis turbidez, cor aparente e COD, para os coagulantes estudados.....71

Quadro 3 - Produtos gerados pela dissertação intitulada “Eficiência dos coagulantes vegetais pitaia (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt) no tratamento de água para consumo humano”85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros avaliados e parâmetros fixados para cada teste realizado....	44
Tabela 2 - Valores médios iniciais de parâmetros físico-químicos monitorados para a água da Lagoa Itapeva antes de cada uma das otimizações realizadas.....	50
Tabela 3 - Valores médios dos parâmetros físico-químicos monitorados na água bruta da lagoa Itapeva realizadas pelo laboratório da Estação de Tratamento de Água da CORSAN de Torres, RS, durante o ano de 2021.....	51
Tabela 4 - Resultados, na forma de óxidos, obtidos por Espectrometria por Fluorescência de Raio X para os coagulantes em pó: moringa, pitaia e sulfato de alumínio.....	54
Tabela 5 - Influência do pH (T2) da água no percentual de remoção do parâmetro turbidez após utilização de diferentes coagulantes (T1) e comparação dos valores de remoção de turbidez dos coagulantes (T1) dentro de cada faixa de pH (T2).....	57
Tabela 6 - Influência do pH (T2) da água no parâmetro cor aparente após utilização de diferentes coagulantes (T1) e comparação dos valores de remoção de cor aparente dos coagulantes (T1) dentro de cada faixa de pH (T2).....	62
Tabela 7 - Análise dos teores de Carbono Orgânico Dissolvido após utilização dos coagulantes (T1) ao longo das faixas de pH estudadas (T2).....	64
Tabela 8 - Influência do tempo de agitação rápida (T2) no percentual de remoção de turbidez (A) cor aparente (B) e Carbono Orgânico Dissolvido (C) da água bruta após utilização de diferentes coagulantes (T1).....	66

Tabela 9 - Ponto máximo e mínimo global da curva obtida para os coagulantes sulfato de alumínio (pH 6), moringa (pH natural), pitaia (pH 3) e pitaia (pH natural) em função das doses testadas para cada parâmetro avaliado..... 74

Tabela 10 - Avaliação dos melhores valores obtidos para os parâmetros remoção de turbidez antes e após filtração, cor aparente, cor verdadeira e COD, em relação aos valores máximos permitidos previstos na Portaria GM/MS 888/21 para os parâmetros normatizados turbidez e cor aparente..... 82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APHA – American Public Health Association
AWWA – American Water Works Association
BHT – Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí
COD – Carbono orgânico dissolvido
COP – Carbono orgânico particulado
CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento
COT – Carbono orgânico total
CV – Coeficiente de variação
DBO – Demanda bioquímica de oxigênio
DQO – Demanda química de oxigênio
ETA – Estação de Tratamento de Água
FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler
FRX – Espectrometria por Fluorescência de Raios-X
IFC – Instituto Federal Catarinense
ONU – Organização das Nações Unidas
PAC – Policloreto de alumínio
PCZ – Ponto de Carga Zero
PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos
PPGAS – Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sustentabilidade
SATC – Associação Beneficente da Indústria do Carvão de Santa Catarina
SEMA – Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura
SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
THM – Trihalometanos
UGRHs – Unidades de Gestão de Recursos Hídricos
UPGs – Unidades de Planejamento e Gestão
WEF – Water Environment Federation

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA	21
2.2 GERENCIAMENTO E MONITORAMENTO DA ÁGUA NO BRASIL	21
2.3 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ	22
2.4 LAGOA ITAPEVA.....	24
2.5 LEGISLAÇÃO E PADRÕES DE POTABILIDADE NO BRASIL	24
2.6 PARÂMETROS DE POTABILIDADE.....	25
2.6.1 Cor.....	26
2.6.2 Turbidez	26
2.6.3 pH.....	27
2.6.4 Carbono Orgânico Dissolvido (COD).....	27
2.7 ETAPAS DO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO	28
2.7.1 Clarificação: Coagulação e Flocculação	28
2.8 COAGULANTES.....	30
2.8.1 Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3$).....	31
2.8.2 Moringa (<i>Moringa oleífera</i> Lam.).....	32
2.8.3 Pitaia (<i>Selenicereus undatus</i> (Haw.) D.R. Hunt).....	32
2.9 TESTE DE JARROS OU JARTEST	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	35
3.2 COLETA E CONSERVAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	36
3.3 PREPARO DOS COAGULANTES	37
3.3.1 Cladódio de Pitaia (<i>Selenicereus undatus</i> (Haw.) D.R. Hunt).....	37
3.3.2 Sementes de Moringa (<i>Moringa oleífera</i> Lam.).....	39
3.3.3 Sulfato de Alumínio	40
3.4 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO	41

3.4.1 Teste I – Influência do pH no Processo de Tratamento de Água	43
3.4.2 Teste II – Influência do Tempo de Agitação Rápida no Processo de Tratamento de Água	44
3.4.3 Teste III – Influência da Concentração do Coagulante no Processo de Tratamento da Água ...	44
3.5 PARÂMETROS DE POTABILIDADE MONITORADOS NO ESTUDO	44
3.6 CARACTERIZAÇÃO DOS COAGULANTES UTILIZADOS	47
3.6.1. Caracterização do Pó de Cladódio de Pitaia	47
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DA LAGOA ITAPEVA	49
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COAGULANTES	52
4.2.1 Teor de Proteína do Cladódio de Pitaia	54
4.3 OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES PARA O PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA	55
4.3.1 Teste I – Influência do pH no Processo de Clarificação da Água	55
4.3.2 Teste II – Influência do Tempo de Agitação Rápida no Processo de Clarificação da Água	65
4.3.3 Teste III – Influência da Concentração do Coagulante no Processo de Clarificação da Água	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PREVISÕES FUTURAS	82
6 PRODUTOS TÉCNICOS	84
6.1 PRODUTO 1 – PRODUTO DE COMUNICAÇÃO – ENTREVISTA NA RÁDIO COMUNIDADE FM 87.9, PROGRAMA “FALA SERRANO”	85
6.2 PRODUTO 2 – PRODUTO DE COMUNICAÇÃO - OFICINA	89
6.3 PRODUTO 3 – PRODUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL – CARTILHA INFORMATIVA	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

1 INTRODUÇÃO

A água está presente em todos os aspectos da vida na Terra, sendo indispensável para a vida humana, animal e vegetal, fornece serviços essenciais, como meio de subsistência e bem-estar, contribuindo para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e terrestres (CASTRO, 2019). A disponibilidade de água, bem como sua qualidade para o consumo humano, continua carente de melhorias, apesar deste ser um dos objetivos de desenvolvimento gerado na cúpula mundial da Organização das Nações Unidas (ONU) (MOLINA; RODRIGUEZ; ARIZA, 2016). Com o aumento na demanda por água potável em quantidade e qualidade, despertou-se a busca por agentes químicos mais eficientes e economicamente viáveis para o tratamento das águas, como por exemplo, a etapa de coagulação (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018).

A coagulação é um dos processos do tratamento da água, seguida pela floculação, responsáveis por reduzir os teores de poluentes no corpo hídrico, turbidez, cor e matéria orgânica, podendo diminuir também teores de íons metálicos (TEBBUT, 1982 apud HENDRAWATI, 2016). Os termos coagulação e floculação são, muitas vezes, utilizados como sinônimos, uma vez que ambos são responsáveis pelo processo de clarificação da água (CARDOSO *et al.*, 2008). Porém, pode-se dizer que a coagulação é o processo do tratamento de água em que o agente coagulante é adicionado reduzindo as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão e floculação e é a aglomeração dessas partículas por meio do transporte de fluidos, formando partículas maiores e mais pesadas conhecidas como flocos, que proporcionam a sedimentação das impurezas (RITCHER; AZEVEDO NETTO, 2003).

Atualmente, os coagulantes inorgânicos, sais trivalentes de ferro e alumínio ou polímeros sintéticos, são os mais utilizados nas estações de tratamento de água (ETA), mas apesar do desempenho e eficácia comprovados dos coagulantes químicos, alguns pontos relacionados ao seu uso vêm sendo questionados (MENDES; COELHO, 2007). Apesar de estudos apontarem possíveis correlações entre o alumínio residual do tratamento da água com a doença de Alzheimer na população, produtos contendo este elemento continuam sendo utilizados largamente como agentes coagulantes em sistemas de tratamento de água para abastecimento público. Vale ressaltar que os polímeros sintéticos que vêm sendo utilizados também apresentam preocupação quanto à liberação de frações monoméricas potencialmente nocivas (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018).

Além de produtos químicos sintéticos, existem ingredientes naturais derivados de plantas, conhecidos como biocoagulantes ou coagulantes de origem vegetal, que apresentam potencial para serem utilizados como coagulantes no tratamento da água (HENDRAWATI,

2016). Os coagulantes de origem vegetal surgiram como uma tecnologia promissora no setor de saneamento ambiental, destacando-se por serem solúveis em água e efetivos numa ampla faixa de pH, produzindo inclusive menores volumes de lodo biodegradável, livre de contaminantes tóxicos de vegetais e não corrosivos (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018). Quando bem explorados, os coagulantes de origem vegetal podem permitir a redução do custo operacional no tratamento de águas superficiais, subterrâneas e residuais, sendo uma opção sustentável, podendo, além disso, gerar incremento de renda devido ao aproveitamento de matérias-primas abundantes ou subutilizadas (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018).

Segundo Sousa (2015), apesar das vantagens da utilização de biocoagulantes, ainda pouco se sabe sobre suas melhores condições de produção e o potencial das espécies brasileiras para esta finalidade, bem como a respeito do desempenho dessas espécies no tratamento da água. Por esse motivo, torna-se fundamental o desenvolvimento de projetos que avaliem novas possibilidades de plantas com potencial coagulante e testem sua eficiência, pontos positivos e negativos de aplicação. Inúmeros estudos já foram realizados com a utilização de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) como agente coagulante no tratamento de água e efluente, apontando a eficiência das sementes desta planta como biocoagulante responsável por melhorar as propriedades físico-químicas da água (HENDRAWATI, 2016).

A família *Cactaceae* vem sendo amplamente estudada quanto à capacidade de coagulação, em que algumas espécies, como o *Opuntia* sp., demonstram eficiência na remoção de sólidos em suspensão (MILLER *et al.*, 2008). Apesar de menos explorado na literatura, Miller *et al.* (2008) também apontam que o extrato de *Selenicereus* sp. (gHE) apresenta resultados semelhantes aos do extrato de *Opuntia* sp. Idris *et al.* (2012) acreditam que a folhagem (cladódio) da pitaia também pode apresentar resultados semelhantes aos cactos latifaria e opuntia para tratamento de água residuária concentrada com látex. Embora coagulantes de origem vegetal venham apresentando bons resultados no processo de clarificação de água devido à sua capacidade de remover turbidez, cor, matéria orgânica e microrganismos, seus mecanismos de coagulação são pouco estudados (GUZMÁN *et al.*, 2013). A espécie de pitaia *Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt foi escolhida para este estudo devido à abundância desta planta na região.

Para este trabalho, foi selecionada a Lagoa Itapeva como área de estudo, a qual pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí e abastece a cidade de Torres-RS, via sistema de distribuição executado pela concessionária CORSAN (CASTRO, 2019). Por ser utilizada para consumo humano, é considerada representativa para a avaliação dos parâmetros de potabilidade a partir da utilização dos coagulantes propostos neste trabalho.

Além de responsável pelo abastecimento da cidade de Torres, a lagoa Itapeva constitui papel econômico, cultural, ambiental e político. (TUNDISI, 2006). Estudar soluções de manejo sustentável para a lagoa Itapeva, como é o caso dos coagulantes vegetais, vai ao encontro do sexto dos 17 objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS propostos pela ONU, o qual estabelece metas a serem cumpridas até o ano de 2030, buscando garantir acesso universal e equitativo à água potável para todos, melhorar a qualidade da água nos corpos hídricos, programas relacionados à água e ao saneamento, entre outras metas (IPEA, 2019).

A partir do potencial dos coagulantes de origem vegetal relatados na literatura, este trabalho tem como objetivo principal avaliar o desempenho do cladódio de pitaia como biocoagulante no tratamento da água da lagoa Itapeva situada em Torres, Rio Grande do Sul, Brasil, comparando com o coagulante vegetal semente de moringa e coagulante convencional sulfato de alumínio, um dos mais utilizados nas estações de tratamento de água. Para isso, busca-se identificar as melhores condições de pH da água, tempo de agitação rápida e concentração ideal dos coagulantes, com eficiência avaliada pela comparação dos parâmetros de potabilidade, turbidez, cor aparente e pH previstos na legislação brasileira vigente para tratamento de água potável.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA

Apesar de ser elemento essencial à vida humana, animal e vegetal, inclusive à economia, existem inúmeras ameaças ao ciclo hidrológico e à disponibilidade de água de qualidade no planeta Terra (TUNDISI, 2006). De toda água doce existente no mundo, boa parte está dividida entre dois estados físicos: sólido e líquido (CASTRO, 2019). Estima-se que 97,5% da água presente no mundo é salgada e apenas 2,5% do total de água do planeta corresponde à água doce, sendo a maior parte desses 2,5% correspondente às geleiras, 30% são águas subterrâneas e apenas 1% encontra-se nos sistemas lênticos (ANA, 2020). Um ponto importante a ser ressaltado é que, ainda hoje, cerca de 1 bilhão de pessoas não consegue ter acesso a esse bem com condições adequadas de potabilidade (CASTRO, 2019).

O desenvolvimento econômico, bem como a complexidade da organização da sociedade, gerou inúmeras alterações indiretas e diretas no ciclo hidrológico e na qualidade da água (TUNDISI, 2006). O uso e ocupação do solo e as condições naturais da bacia hidrográfica são fatores que afetam diretamente a qualidade da água nos rios e córregos.

No Brasil, os principais usos da água são: irrigação, abastecimento humano e animal, indústria, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, recreação e lazer (ANA, 2020). A demanda por uso de água no país é crescente tendo previsão de que, até 2030, a retirada aumente 23%, estando a evolução dos usos da água diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e ao processo crescente de urbanização. Devido a isso, a utilização da água deve ser planejada e regulamentada a fim de evitar impactos em seus diferentes usos associados (ANA, 2020).

2.2 GERENCIAMENTO E MONITORAMENTO DA ÁGUA NO BRASIL

Um dos problemas hídricos mais sérios é a toxicidade dos ambientes aquáticos e massas de água, os quais apresentam substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas causando impactos diretos ou indiretos na saúde humana e aos ecossistemas (TUNDISI, 2006). Para que se tenha segurança hídrica, com sustentabilidade econômica e ambiental, o gerenciamento do uso da água é de fundamental importância. Para isso, faz-se necessária a formulação de políticas públicas que promovam a sustentabilidade, o aumento da eficiência no uso da água e dos recursos naturais (ANA, 2020).

A Política Nacional de Recursos Hídricos define o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), considerado um instrumento de planejamento com caráter estratégico, integrador setorial, regional e institucional, com finalidade de desenvolver o fortalecimento institucional do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), responsável pela gestão desses recursos e soluções de conflitos ocorrentes pela água nas Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHs) (ANA, 2020).

Bacia hidrográfica, também chamada de bacia fluvial ou de drenagem, é uma unidade espacial de gestão de recursos hídricos composta por um conjunto de superfícies de vertentes e por redes de drenagens formadas por cursos d'água que transportam sedimentos e materiais dissolvidos, até um leito único denominado foz (CASTRO, 2019).

Os comitês das bacias hidrográficas são responsáveis por tomar decisões acerca da gestão de recursos hídricos abrangendo não somente as consequências locais na bacia, mas além disso, deve influenciar outras políticas públicas a serem percebidas pela sociedade como benéficas para a coletividade (ANA, 2020). Tundisi (2006) salienta que os comitês das bacias hidrográficas possibilitam integrar ações de pesquisa e gerenciamento em uma unidade física delimitada, podendo promover atividades multidisciplinares. A unidade denominada de bacia hidrográfica representa, inclusive, um espaço descentralizado de conservação e proteção ambiental, servindo de estímulo para a integração entre a comunidade e as instituições (TUNDISI, 2006).

2.3 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a bacia hidrográfica do rio Tramandaí (BHT) está inserida na região hidrográfica costeira do sul, sendo caracterizada pela Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA) como parte da região hidrográfica do litoral. Por fazer limite com a orla marítima, o local se torna propício a alta frequência de visitantes especialmente no verão, o que tem implicado apropriações de espaço e demanda crescente por água e esgoto (CASTRO, 2019). A BHT, localizada na região nordeste do Rio Grande do Sul (RS), abrange grande diversidade de ambientes, com áreas litorâneas, serra e planalto, cujas altitudes variam de 1000 m até o nível do mar (CASTRO; MELLO, 2019).

Com 2.978,11 km² de área de drenagem e aproximadamente 150 km de linha de costa, a BHT abrange, total ou parcialmente, 18 municípios e população estimada de 237 mil habitantes no ano de 2017, o que pode quintuplicar nos meses do verão (SEMA, 2019). Devido

a esta característica de turismo no verão, esta região é bem provida de vias rodoviárias, com fácil acesso a todos os municípios (CASTRO; MELLO, 2019).

A BHT é dividida em dois subsistemas, norte e sul, onde o subsistema norte é compreendido entre a lagoa de Itapeva e a lagoa dos Quadros (SEMA, 2019). O subsistema norte recebe águas do planalto e encostas da serra geral, rios Três Forquilhas e Maquiné, os quais deságuam nas lagoas Itapeva e dos Quadros, respectivamente, e, com seus canais de comunicação, regulam o volume das lagoas a jusante, o que depende em partes das flutuações do nível do mar e da direção do vento (CASTRO; MELLO, 2019). Já o subsistema sul se inicia na lagoa do Retiro (ao sul da lagoa do Bacupari), ambos sistemas drenam água para lagoa de Tramandaí, que por meio da barra do rio Tramandaí constitui-se no desaguador natural da BHT no Oceano Atlântico (SEMA, 2019).

Distingue-se das demais bacias do estado do Rio Grande do Sul pela quantidade de lagoas e corpos d'água, ocupando cerca de 17% da área total da bacia, pela existência de áreas de dunas que totalizam 7% da área total da bacia e pela presença de remanescentes de Mata Atlântica ocupando 32% da área da bacia. É importante ressaltar a singularidade no fluxo das águas que fluem do subsistema norte para a foz do rio Tramandaí e no subsistema sul, cujas águas possuem fluxo desde o extremo sul na lagoa Bacupari até a foz do rio Tramandaí, no estuário (CASTRO, 2019). No entorno da BHT estão presentes os dois biomas que ocorrem no estado do Rio Grande do Sul: Mata Atlântica e Pampa (CASTRO; MELLO, 2019).

Da BHT, os principais mananciais utilizados para abastecimento público são as lagoas dos Quadros, Fortaleza, Emboaba, Itapeva e o rio Tramandaí, sendo necessários anualmente cerca de 25 milhões/m³ de água superficial para atender a população. Ao longo dos anos, a qualidade das águas superficiais da bacia vem sendo realizada pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM), Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) e pela Organização Não Governamental Anama (SEMA, 2019).

Para fins de gerenciamento, a BHT foi dividida em 4 unidades menores, as Unidades de Planejamento e Gestão (UPGs), sendo elas: Três Forquilhas – Itapeva, Sistema Sul, Tramandaí – Imbé e Maquiné – Quadros. A UPG Três Forquilhas – Itapeva, local de coleta da água para este estudo, contempla o rio Três Forquilhas e seus afluentes na porção alta e central da BHT, a noroeste é delimitada pela presença da BR – 101 e a leste da lagoa Itapeva pela rodovia Estrada do Mar, a partir da qual encontram-se campos com áreas úmidas, dunas e a ocupação humana, já em ambiente praias (SEMA, 2019).

2.4 LAGOA ITAPEVA

A lagoa Itapeva pertence à BHT e situa-se na Planície Costeira do estado do RS, fazendo parte da Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas, ao norte do estado (SEMA, 2019). Está situada nos municípios de Torres, Arroio do Sal, Terra de Areia, Três Forquilhas, Três Cachoeiras e Dom Pedro de Alcântara, sendo a lagoa mais ao norte da bacia. É abastecida superficialmente pelo rio Três Forquilhas, além de receber as águas dos arroios Cardoso e Chimarrão (CASTRO; MELLO, 2019). Rodeada de juncais e áreas úmidas, com funções ecológicas para manutenção do nível da água e *habitat* de espécies aquáticas, é também considerada área de pesca, com diversos sítios arqueológicos (sambaquis) (CASTRO, 2019).

Apesar da zona urbana de Torres estar situada dentro das delimitações da Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba, a cidade tem seu abastecimento feito pela água captada da lagoa Itapeva, pertencente à BHT (SEMA, 2019). A CORSAN é responsável pelo abastecimento de água no município de Torres e opera a ETA situada na margem norte da lagoa Itapeva. Dessa forma, os volumes de água para o abastecimento do município são contabilizados na demanda de abastecimento público da BHT (SEMA, 2019).

Da lagoa Itapeva são captados para abastecimento público pela ETA de Torres volumes mensais de aproximadamente 220.000 m³, chegando a quase dobrar nos meses de janeiro e fevereiro devido ao aumento da população na cidade no período de veraneio (SEMA, 2019). Os parâmetros que denotam a redução na qualidade da água da lagoa Itapeva, em especial na margem norte e na foz do rio Três Forquilhas, considerando o ponto mais crítico, são: fósforo total (P_{total}), turbidez, *Escherichia coli*, em ordem decrescente de frequência (SEMA, 2019). Nos últimos anos, é observada a elevada floração de algas, o que é considerado um problema, pois são grupos de plantas típicas dos processos de eutrofização como consequência do excesso de nutrientes como nitrogênio e fósforo (CASTRO, 2019).

2.5 LEGISLAÇÃO E PADRÕES DE POTABILIDADE NO BRASIL

A água, um recurso essencial para a sobrevivência humana, tornou-se um bem de alto valor social e econômico, por este motivo a regulação jurídica das águas vem sendo progressivamente reformada a fim de atender as demandas que se referem a esse recurso natural tão importante (AITH; ROTHBARTH, 2015). No Brasil, somente a partir da Portaria nº 15, datada de 14 de março de 1977, foram estabelecidos os primeiros padrões de potabilidade da

água, além de definir os limites máximos para as características físicas, químicas e biológicas para consumo humano (LIBÂNIO, 2010).

A normatização da água, bem como de seus parâmetros de potabilidade, seguiu sendo atualizadas e algumas representam marcos de extrema importância, como, por exemplo, a Portaria nº 518, datada de 25 de março de 2004, por meio da qual são estabelecidos os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e o padrão de potabilidade. Na mesma data da Portaria nº 518 ocorreu a aprovação da Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano, estabelecendo limites máximos permitidos para os parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e radioativos. Esta norma estabelece um conceito para água potável, definindo-a como aquela água que atende ao padrão de potabilidade estabelecido na Portaria nº 518 e que não ofereça riscos à saúde, definindo, também, o padrão de potabilidade como sendo o conjunto de valores permitidos como parâmetro de qualidade da água para o consumo humano.

A Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005, também merece destaque no contexto deste trabalho, visto que ela dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de águas superficiais, além de estabelecer as condições e padrões para o lançamento de efluentes e padrões para a classificação das águas em classes como um instrumento para avaliar a evolução da qualidade das águas. A partir desta Resolução, estabeleceram-se as seguintes classificações de padrões de qualidade e usos: Classe especial, Classe I, II e III, para água doce, salobra e salina, respectivamente.

De modo geral, as legislações passam por atualizações, alterações ou até revogações com o propósito de torná-las mais claras ou mais objetivas. Atualmente, a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, é a mais recente quando se trata de potabilidade da água, normatizando os procedimentos de controle e de vigilância de qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade, estabelecendo os limites de 5 uT para turbidez, 15 uH para cor e intervalo de pH entre 6 e 9 para águas destinadas ao consumo humano, dentre outros parâmetros importantes.

2.6 PARÂMETROS DE POTABILIDADE

A qualidade da água é determinada pelo monitoramento de alguns indicadores conhecidos como parâmetros de qualidade da água, os quais são medidos pela presença de substâncias e organismos, bem como pelas suas características físicas e químicas. A partir do

monitoramento desses parâmetros pode-se determinar a adequação da água aos mais diversos usos, como o consumo humano (ANA, 2020).

Os indicadores de qualidade são divididos em características físicas como cor, turbidez, sabor, olfato e temperatura, características microbiológicas como bactérias, coliformes, algas, cianobactérias, protozoários, vírus entéricos e em características químicas. Entre as características químicas, destaca-se pH, alcalinidade, acidez, dureza, oxigênio dissolvido, salinidade, demanda química e bioquímica de oxigênio, carbono orgânico, compostos orgânicos, metais como ferro e manganês, nitrogênio, fósforo, fluoretos, arsênio e agrotóxicos (LIBÂNIO, 2010). Na sequência, serão contextualizados apenas os parâmetros utilizados neste estudo.

2.6.1 Cor

A cor da água, um parâmetro de potabilidade e estética muito importante, manifesta-se pela reflexão da luz nos coloides, que são partículas minúsculas finamente dispersas de origem predominantemente orgânica, relacionadas com a concentração de carbono orgânico presente no ambiente aquático. Pode também ter origem devido à presença de compostos de ferro e manganês provenientes do lançamento de diversos tipos de resíduos industriais (LIBÂNIO, 2010). De acordo com *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2017), o termo cor aparente é aquele determinado na amostra original, sem filtração, portanto, contém substâncias em solução que conferem cor. Já o termo ‘cor verdadeira’ é utilizado para designar a cor da água da qual a turbidez foi removida por meio de filtração. Embora o atual padrão de potabilidade regularize valores limites apenas para o parâmetro cor aparente, a cor verdadeira constitui importante indicador da concentração de matéria orgânica presente nas águas naturais (LIBÂNIO, 2010).

2.6.2 Turbidez

A turbidez pode ser mensurada por meio de uma propriedade ótica, por meio da qual a luz pode ser espalhada e absorvida (absorbância) ao invés de transmitida (transmitância) sem ocorrer mudança na direção ou nível de fluxo através da amostra de água. Este parâmetro costuma ser medido com a utilização de um equipamento chamado turbidímetro (SMEWW, 2017). De acordo com Parron & Muniz (2011), o aumento de turbidez na água pode ser atribuído à presença de materiais em suspensão, como por exemplo, argila, silte, matéria

orgânica e inorgânica finamente dividida, compostos orgânicos solúveis coloridos, plâncton e outros organismos microscópicos.

Além dos padrões estéticos, para fins de potabilidade, a turbidez da água filtrada é apontada como um dos principais parâmetros de avaliação do desempenho do tratamento de água das ETAs, pois a presença de turbidez está associada a substâncias tóxicas, tais como agrotóxicos organoclorados e outros compostos orgânicos, que possivelmente encontram-se adsorvidos às partículas geradoras de turbidez em suspensão (LIBÂNIO, 2010).

2.6.3 pH

O pH aciona vários mecanismos que auxiliam no processo de coagulação e floculação afetando o desempenho do processo (SOM *et al.*, 2021). Segundo Yan *et al.* (2008), o pH da solução durante a coagulação afeta a química do coagulante, por isso a necessidade de se estudar o comportamento dos coagulantes ao longo de diversas faixas de pH. O monitoramento do pH da água é uma das mais importantes medições usadas no seu tratamento, tendo algumas das fases de abastecimento de água, como por exemplo, a coagulação, desinfecção e controle de corrosão e tratamento de águas residuais, que são fortemente correlacionadas a este fator. Normalmente as águas naturais apresentam valores de pH na faixa de 4 e 9, sendo em sua maioria de caráter ligeiramente básico devido à presença de bicarbonatos e carbonatos de metais alcalinos e alcalino-terrosos. (SMEWW, 2017).

2.6.4 Carbono Orgânico Dissolvido (COD)

A presença de matéria orgânica nos corpos d'água demanda atenção, pois, além de fomentar a formação de subprodutos, pode afetar a qualidade da água quanto ao odor e ao sabor, interferir na remoção de ferro e manganês e propiciar condições para o desenvolvimento de microrganismos na rede de distribuição devido à promoção de crescimento biológico (LIBÂNIO, 2010).

Os principais parâmetros de monitoramento de matéria orgânica natural consistem nas análises de COD, carbono orgânico total (COT), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e absorção no ultravioleta a 254 nm (UV254nm) (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018). A fração de COD é equivalente a uma fração de COT que não é retirada da água após a filtração da amostra, visto que a parcela retida no filtro é descrita como carbono orgânico particulado (COP) (LIBÂNIO, 2010). Os valores referentes a COD

estão relacionados com a origem da água natural, em que a alteração significativa deste parâmetro representa fortemente um indicativo de novas fontes poluidoras da água, direcionando as análises a serem realizadas, como cor verdadeira, clorofila, fósforo total e etc. (LIBÂNIO, 2010).

A absorvância na região do ultravioleta e visível (UV/Vis) vem ganhando destaque como método de determinação nas rotinas analíticas por apresentar forte correlação com COD. Por ser de fácil e rápida execução, baseia-se na absorção de radiação em comprimento de onda de 254 nm por parte das moléculas orgânicas e inorgânicas presentes na água, sendo proporcional às suas concentrações (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018). A absorvância UV/Vis pode ser relacionada ao conteúdo de carbono orgânico, cor e substâncias húmicas, sendo o comprimento de onda 253,7 nm (~254 nm), comumente utilizado no monitoramento de COD da água por estar fortemente correlacionado à absorvância da luz ultravioleta nesse comprimento de onda (SMEWW, 2017).

2.7 ETAPAS DO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO

Segundo Libânio (2010) o tratamento de águas naturais consiste nas etapas de captação, clarificação, filtração, desinfecção e distribuição, onde a clarificação corresponde às etapas de coagulação, floculação e decantação ou flotação, responsáveis principalmente pela remoção dos sólidos suspensos e de parte dos sólidos dissolvidos. A filtração é responsável pela remoção de sólidos dissolvidos e microrganismos e a desinfecção consiste em inativar os microrganismos ainda restantes na água por meio de agentes químicos normalmente à base de cloro (LIBÂNIO, 2010).

Os avanços na tecnologia para o tratamento de água garantem condições cada vez mais seguras a respeito de pesticidas, micro poluentes e subprodutos de desinfecção, estando o sucesso de tais tratamentos totalmente correlacionados com o processo de coagulação, responsáveis por remover a turbidez e a matéria orgânica natural da água (KEELEY; JARVIS; JUDD, 2014). No tratamento de água, a coagulação é considerada a etapa principal sendo a ineficiência deste processo responsável por gerar água de má qualidade e fora dos padrões de potabilidade exigidos (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

2.7.1 Clarificação: coagulação e floculação

Os termos coagulação e floculação são muitas vezes utilizados como sinônimos, uma vez que ambos são responsáveis pelo processo de clarificação da água (CARDOSO *et al.*, 2008). A coagulação ocorre a partir da adição de coagulante sintético ou de origem vegetal seguido de agitação da água (TEBBUT, 1982 apud HENDRAWATI, 2016). Esse processo ocorre durante a etapa de mistura rápida ou agitação rápida. Nas estações convencionais de tratamento de água, a eficiência desta etapa influencia o desempenho das demais etapas do tratamento, melhorando a qualidade microbiológica do efluente, aumentando a duração dos filtros e, assim, reduzindo o custo do m³ de água tratada (LIBÂNIO, 2010).

A coagulação é o processo de desestabilização das forças elétricas de repulsão e atração das partículas coloidais e suspensas presentes na água e tem como objetivo promover a agregação dos colóides presentes na água bruta o mais rapidamente possível (FRANCO *et al.*, 2017; CARDOSO, 2003). Pode-se considerar que a coagulação é o resultado individual ou combinado da ação de quatro mecanismos diferentes, sendo eles: varredura e adsorção, adsorção e neutralização das cargas, compressão da dupla camada elétrica e formação de pontes (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). As partículas suspensas e coloidais presentes na água possuem carga predominantemente negativa e a mobilidade eletrostática dessas partículas depende da tecnologia de tratamento utilizada, estando diretamente correlacionada ao êxito da coagulação (LIBÂNIO, 2010).

A etapa seguinte, ou até mesmo concomitante à coagulação, é a floculação caracterizada pelo agrupamento dos flocos, formando partículas mais densas que a da água, proporcionando sua sedimentação e promovendo, então, a clarificação (SOUSA, 2015). A floculação ocorre durante a agitação lenta da água, procurando maximizar a agregação e minimizar a ruptura dos flocos, estando diretamente correlacionada com a concentração de coagulante, pH, número e características das partículas primárias presentes na água, gradiente de velocidade e tempo de agitação (TEIXEIRA, 2003).

A formação dos flocos ocorre pelo transporte de partículas, durante a agitação da água, promovendo coalisões entre partículas previamente desestabilizadas no processo de coagulação. Portanto, para floculação, deve-se fornecer condições que facilitem o contato e a agregação de partículas previamente coaguladas sem que haja ruptura desses elementos (MANETTA, 2019; DI BERNARDO; DANTAS, 2005). As dimensões e densidade dos flocos são influenciadas pelas colisões geradas pelas velocidades de agitação rápida e lenta no tratamento de água (PIANTÁ, 2008). Resumidamente, pode-se dizer que a coagulação é o processo do tratamento de água onde o agente coagulante é adicionado, reduzindo as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão, e a floculação é a aglomeração dessas

partículas por meio de transporte de fluidos, formando partículas maiores e mais pesadas conhecidas como flocos, proporcionando a sedimentação das impurezas (RITCHER; AZEVEDO NETTO, 2003).

2.8 COAGULANTES

Como apresentado no item anterior, a etapa de coagulação e floculação desempenha papel primordial no tratamento da água, removendo a maior parte das impurezas da água bruta (KEELEY; JARVIS; JUDD, 2014). Atualmente, os coagulantes inorgânicos, sais trivalentes de ferro (Fe) e alumínio (Al) ou polímeros sintéticos são os mais utilizados nas estações de tratamento de água (MENDES; COELHO, 2007). Contudo, o uso dessas substâncias apresenta algumas desvantagens, tais como grandes volumes de lodo gerado, efeito residual de Al na água e no lodo, além de afetarem significativamente o pH da água tratada (YIN, 2010).

Estudos apontam possíveis correlações entre o alumínio residual do tratamento de água com a doença Alzheimer na população (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018). Apesar da existência de legislação ambiental que normatiza o destino e tratamento do lodo, o lançamento de resíduos nos cursos d'água continua sendo prática comum nas estações (LIBÂNIO, 2010). Há também no mercado outros tipos de coagulantes, como o policloreto de alumínio (PAC), um coagulante polimerizado que tem obtido um crescimento no mercado devido à sua superioridade e menor consumo de alcalinidade (CHOY *et al.*, 2014). A utilização de polímeros como auxiliares de coagulação do tratamento convencional permite a otimização de parâmetros como pH e melhoria de eficiência da dosagem de coagulante (KEELEY; JARVIS; JUDD, 2014), porém, polímeros sintéticos apresentam também constante preocupação quanto à liberação de frações monoméricas na água potencialmente nocivas (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018).

Uma alternativa viável que está sendo pesquisada e aplicada são os coagulantes de origem vegetal, e embora muitos coagulantes à base de plantas venham sendo testados, quatro tipos apresentam destaque na comunidade científica: sementes de nirmali (*Strychnos potatorum* L.fil.), moringa (*Moringa oleifera* Lam.), cactos e taninos (YIN, 2010). O Brasil é detentor de uma das floras mais diversificadas e exuberantes do planeta, sendo fundamental estudar o potencial das espécies florestais brasileiras a fim de caracterizar esse produto, determinar o sistema mais adequado de extração e explorar seu uso em diversas atividades, principalmente no tratamento da água (SOUSA, 2015).

Para os coagulantes vegetais, os mecanismos mais apontados como responsáveis pela agregação de partículas em solução são: compressão da camada difusa, varredura, adsorção e

neutralização de cargas, adsorção e pontes (YIN, 2010; MILLER *et al.*, 2008). A formação de pontes químicas, juntamente com a adsorção, são os mecanismos mais comumente apontados para a neutralização de cargas e posterior coagulação, e quanto mais longa uma cadeia de compostos, maior será o número de sítios de adsorção livres para promover a adsorção de partículas (YIN, 2010).

A seguir, será dado ênfase apenas aos três diferentes coagulantes testados neste estudo, ou seja, o coagulante comercial de intenso uso sulfato de alumínio (AlSO_4) e dois coagulantes de origem vegetal, pitaia (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt) e moringa (*Moringa oleifera* Lam.).

2.8.1 Sulfato de Alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)

O sulfato de alumínio, segundo Clayton (1989), destaca-se como o coagulante químico mais utilizado no Brasil, pela boa eficiência e pelo baixo custo. Porém, devido a sua não biodegradabilidade, elevadas concentrações desse composto podem ocasionar problemas à saúde humana, inclusive o aceleração do processo degenerativo do Alzheimer (CLAYTON, 1989).

Nessas condições, a utilização de agentes coagulantes tradicionais à base de sais inorgânicos metálicos, sejam estes de Al ou Fe, requerem rígido controle sobre o residual do metal na água tratada destinada ao consumo humano, bem como do lodo gerado durante o processo de coagulação, o qual acaba retornando à natureza (BONGIOVANI *et al.*, 2010). Segundo Pelegrino (2011), estes agentes inorgânicos não biodegradáveis acrescentam elementos químicos ao efluente final ou ao lodo, sendo ambientalmente menos desejáveis que os coagulantes naturais. Com intuito de prevenir a população da exposição aos metais a níveis que possam não ser seguras à saúde, ao final do tratamento da água para o consumo humano a concentração de Al na água não pode exceder 0,2 mg/L (BRASIL, 2011). Já para o Fe, esse limite é de 0,3 mg L⁻¹, podendo exceder até 2,4 mg L⁻¹ quando atendidos alguns critérios específicos normatizados pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

É importante ressaltar que todos os agentes químicos de coagulação consomem alcalinidade, portanto, o tratamento deve ser feito também utilizando cal ou outro químico de caráter básico para corrigir o pH da água (SOUSA, 2015). O aumento da acidez pode estar relacionado ao cátion trivalente alumínio (Al^{3+}) que atua como ácido de Lewis e aceita pares de elétrons livres durante a hidrólise, geralmente, quanto maior a quantidade de coagulante, maior a diminuição do pH (HENDRAWATI, 2016). Cada mg L⁻¹ de sulfato de alumínio reduz a

alcalinidade da água em $0,50 \text{ mg L}^{-1}$ produzindo $0,44 \text{ mg L}^{-1}$ de dióxido de carbono (CO_2), e pode-se corrigir a alcalinidade através da adição de alcalinizantes, como o hidróxido de sódio (NaOH), a soda cáustica (VIESSMAN; HAMMER, 2004).

2.8.2 Moringa (*Moringa oleífera* Lam.)

A moringa é uma planta tropical multiuso pertencente à família *Moringaceae* e que pode atingir até 10 m de altura (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018). Suas folhas e frutos apresentam funções medicinais e alimentícias e suas sementes são rusticamente utilizadas na região nordeste do Brasil para clarificação de água para consumo humano (FRANCO *et al.*, 2017). Sua semente é constituída por óleo comestível e proteínas de baixo peso molecular, o que vem apresentando ótimos resultados como coagulantes para o tratamento de águas naturais e residuais (NWAIWU; ZALKIFUL; RAUFU, 2012). É encontrada em inúmeros países, sendo amplamente cultivada no continente Africano, cultivada também na América do Sul, tendo no Brasil apresentado cultivo crescente nos últimos dez anos, mais especificamente na região do semiárido (SANTOS *et al.*, 2015).

A semente de *Moringa oleífera* é composta por proteínas catiônicas que apresentam grande potencial para ser utilizada como coagulante na clarificação de águas para consumo humano (FRANCO *et al.*, 2017). A proteína presente nas sementes de moringa, quando adicionada na água em forma de pó, fará a ligação com as partículas da água causadoras de turbidez carregadas negativamente, como a argila, bactérias e compostos orgânicos, assim os particulados são coletados e aglomerados em moléculas maiores que vão sedimentar facilitando a separação da água e do lodo (HENDRAWATI, 2016). A semente da *M. oleífera* é composta principalmente de proteínas do tipo globulinas (53%) e albuminas (44%), as quais apresentaram alto potencial coagulante quando avaliadas isoladamente (BAPTISTA *et al.*, 2017).

2.8.3 Pitaia (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt)

Pitaia é uma planta perene da família *Cactaceae*, possui hábito epífita, apresenta raízes adventícias que auxiliam na fixação e obtenção de nutrientes, seus cladódios são triangulares, suculentos e constituídos de pequenos espinhos (FILHO *et al.*, 2014). O cladódio, conhecido como a folhagem da planta, compõe toda a parte vegetativa e, por isso, é muito abundante, porém, não possui um uso particular consolidado (PUSHPAKUMARA; GUNASENA; KARIYAWASAM, 2005). A família *Cactaceae* é caracterizada pela produção de mucilagem,

um carboidrato complexo que faz parte da fibra alimentar, componente em potencial para ser utilizado como aditivo para a indústria de alimentos e para outros propósitos industriais, como por exemplo, no tratamento de águas e efluentes (SAENZ; SEPULVEDA; MATSUHIROB, 2004).

O cultivo comercial de pitaia no Brasil ainda é recente, em Santa Catarina, um dos principais polos produtores de pitaia no país, a cadeia produtiva foi construída na última década, produzindo na safra 2019/2020 cerca de 600 toneladas de fruta e movimentando em torno de R\$ 1,8 milhão de reais. Em 2020, no extremo sul catarinense, foram 200 hectares cultivados por pelo menos 200 famílias, correspondendo a 90% da produção catarinense (EPAGRI, 2021). Em cultivos comerciais, o desbaste ou poda anual do cladódio é um manejo importante para a obtenção de maior rendimento de frutos melhorando a produção, gerando grande volume de cladódio para descarte como resíduo (PUSHPAKUMARA; GUNASENA; KARIYAWASAM, 2005).

O uso de coagulante natural de cladódio de pitaia pode ser entendido como uma iniciativa de tecnologia sustentável por ser uma fonte vegetal relativamente abundante, ainda subutilizada, inócua e biodegradável (IDRIS *et al.*, 2012). O cladódio de pitaia pode apresentar resultados semelhantes aos cactos latifaria e opuntia para tratamento de água residual (IDRIS *et al.*, 2012). Som e Wahab (2018) afirmam que a folhagem (cladódio) da pitaia apresenta potencial para ser utilizada como coagulante no pré-tratamento do decantador trifásico POME. O pó do cladódio possui cargas positivas para interagir com as cargas negativas presentes no efluente de látex, característica semelhante às de um coagulante artificial (SOM; IDRIS; HAMID, 2007; IDRIS *et al.*, 2012).

2.9 TESTE DE JARROS OU JAR TEST

As melhores condições para a coagulação podem ser determinadas por meio de ensaios em equipamento JarTest, simulando uma estação de tratamento de água (DI BERNARDO; BOTARI; PAZ 2005). O JarTest é um reator estático, constituído por um suporte metálico, coberto com uma lâmina fina de PVC branco que abriga lâmpadas fluorescente onde são colocadas cubas em acrílico ou vidro (jarros) contendo as amostras de água a serem tratadas. A agitação da água é promovida por um conjunto de polias e correia, acionando um eixo com pás, e a distribuição dos reagentes é realizada simultaneamente por meio dos distribuidores superiores (CARDOSO, 2003).

A eficiência de remoção dos poluentes dependerá de alguns fatores, especialmente do agente coagulante e da dosagem de pH ótimo, podendo sofrer influência do tempo e da velocidade de agitação (LIBÂNIO, 2010). Os gradientes de velocidade são responsáveis pelos encontros entre as partículas, sendo que partículas com diferentes velocidades de sedimentação podem se encontrar, estando, assim, relacionados com a formação de flocos e posterior sedimentação (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). A realização de ensaios no laboratório, ou instalações de projeto piloto, é importante para a identificação dos parâmetros adequados para melhor desempenho do coagulante visto que o processo de coagulação, floculação, sedimentação e filtração está diretamente associado à qualidade da água tratada (DI BERNARDO; BOTARI; PAZ 2005).

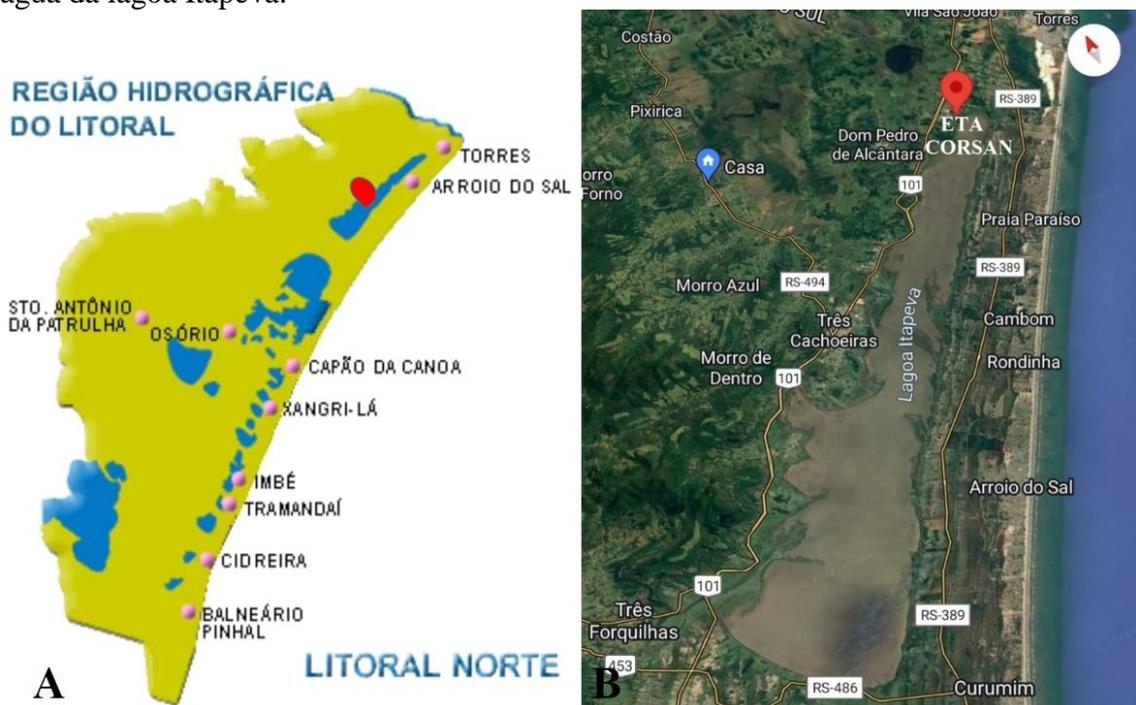
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O objeto de estudo deste trabalho são as águas da lagoa Itapeva localizada na cidade de Torres, Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1). As amostras foram coletadas na Estação de Tratamento de Água (ETA) da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) localizada na margem norte da lagoa Itapeva (Figura 1), no bairro São Braz. Dentre os principais usos das águas da lagoa, destacam-se o consumo agrícola e humano, sendo considerado o principal afluyente responsável pelo abastecimento da cidade de Torres.

Apesar da zona urbana de Torres estar situada dentro das delimitações da bacia hidrográfica do rio Mampituba, a cidade tem seu abastecimento feito pela captação de água da lagoa Itapeva, pertencente à bacia hidrográfica do rio Tramandaí (BHT) (SEMA, 2019). Da lagoa são captados para abastecimento público volumes mensais de aproximadamente 220.000 m³ chegando a quase dobrar nos meses de janeiro e fevereiro, devido ao aumento da população na cidade (SEMA, 2019).

Figura 1 - Localização geográfica da lagoa Itapeva. a) Região hidrográfica do litoral norte gaúcho, onde a lagoa Itapeva está situada b) Estação de Tratamento de Água (ETA) da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), ponto onde foram realizadas as coletas de água da lagoa Itapeva.



Fonte: FEPAN, (2022); Google Maps (2022).

3.2 COLETA E CONSERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

As duas coletas foram realizadas nos meses de novembro e dezembro/2021 na ETA da CORSAN situada nas margens da lagoa Itapeva, no município de Torres (Figura 1), sendo a primeira coleta de água utilizada para os testes I e II (posteriormente descritos), e a segunda coleta de água destinada à execução do teste III (posteriormente descrito). Foram efetuados agendamentos prévios antecedendo a realização de cada coleta para que, dessa forma, fosse realizado o desligamento da cloração da água com 30 minutos de antecedência para que ocorresse a coleta de água na forma bruta (*in natura*), ou seja, sem nenhum tipo de tratamento no tanque de captação da CORSAN (Figura 2a).

Os cuidados na etapa de coleta da água seguiram as recomendações do Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras: Águas, Sedimentos, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos (2012) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Todos os parâmetros monitorados foram baseados em metodologias recomendadas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017)*, da *American Public Health Association (APHA)*, *American Water Works Association (AWWA)* e da *Water Environment Federation (WEF)*. Os materiais utilizados durante a coleta foram previamente higienizados. As amostras foram coletadas em galões plásticos, vedados e abrigados do sol, inclusive durante o transporte até o laboratório (Figura 2b). Em cada coleta totalizou-se o volume de 260 litros de água *in natura*.

Figura 2 - Realização das coletas de água *in natura*. a) Tanque de captação na Estação de Tratamento de Água (ETA), local onde foram realizadas as coletas de água; b) Amostra de água coletada e armazenada em galão plástico vedado.



Fonte: Autor (2022).

Após a realização das coletas, as amostras de água foram encaminhadas para o Laboratório de Solos do Instituto Federal Catarinense (IFC), campus Santa Rosa do Sul, Santa Catarina, Brasil, onde todas as etapas experimentais foram realizadas. Ao chegar ao laboratório, foram determinados os parâmetros iniciais de monitoramento e os galões foram armazenados em local refrigerado e abrigados da luz. Salienta-se que a cada utilização da água, esta era homogeneizada por agitação manual.

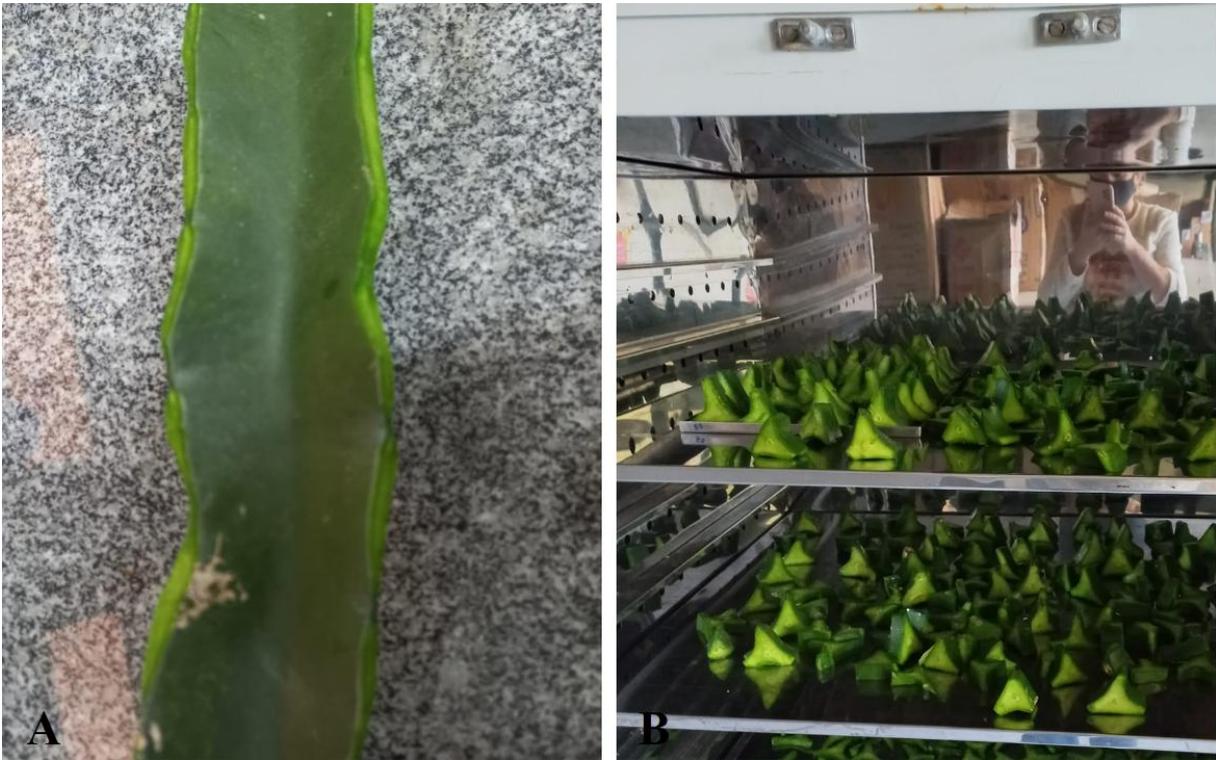
3.3 PREPARO DOS COAGULANTES

3.3.1 Cladódio de Pitaia (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt)

A espécie *Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt, escolhida para este estudo, pertence à família das Cactáceas e foi selecionada devido à abundância desta planta na região. Os cladódios de *Selenicereus undatus* em estágio vegetativo intermediário, em época que a planta estava com novas brotações, o que antecede o início de uma nova florada, foram coletados na horta do IFC com auxílio de faca, levados ao laboratório para posterior remoção de espinhos (Figura 3a) e lavagem com água corrente e esponja. Posteriormente, realizou-se o corte transversal do material, deixando-o com uma espessura aproximada de 0,5 e 1 cm (Figura 3b). As partes fragmentadas foram acondicionadas em bandejas de aço inox para posterior secagem em estufa de circulação de ar forçado (Quimis) em temperatura de 65⁰C até peso constante (Figura 3b) (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

O material seco (Figura 4a) foi triturado em um moinho triturador de facas, tipo Willye (modelo Star FT 50 da marca Fortinox) (Figura 4b), dando origem ao pó de cladódio de pitaia. Posteriormente, passou-se o pó em uma peneira de mesh 23, fazendo-se uso das frações granulométricas inferiores a 600 µm (Figura 5a), que posteriormente ficaram mantidas em becker de vidro devidamente acondicionado em dessecador (Figura 5b).

Figura 3 - Etapa inicial de preparo do pó de pitaia. a) Cladódio de pitaia *Selenicereus undatus* previamente preparada com lavagem e retirada de espinhos. b) Cortes transversais e secagem dos cladódios.



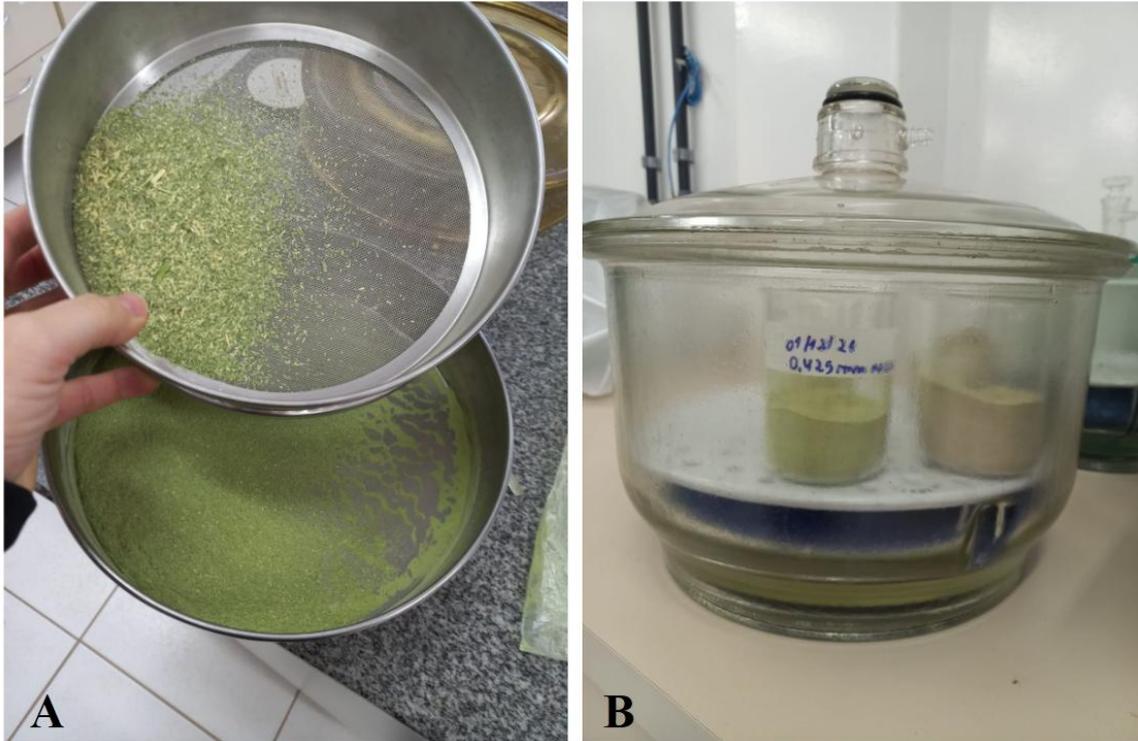
Fonte: Autor (2022).

Figura 4 - Etapa de moagem para preparo do pó. a) Cladódio de pitaia após secagem; b) Processo de moagem dos cladódios secos.



Fonte: Autor (2022).

Figura 5 - Etapa final de preparo do pó de cladódio. a) Processo de peneiramento do pó de cladódio de pitaia; b) Armazenamento do pó em becker de vidro.



Fonte: Autor (2022).

3.3.2 Sementes de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.)

A espécie *Moringa oleifera* Lam. foi selecionada com o intuito de comparação, uma vez que ela já apresenta um número significativo de estudos voltados para o tratamento de águas e efluentes, com boa eficiência e propriedades conhecidas. As sementes de moringa foram coletadas no setor de plantas bioativas do IFC no ano anterior à execução deste estudo e descascadas manualmente (Figura 6a, 6b).

Para realização do ensaio de floculação, as sementes foram maceradas em almofariz para posterior secagem em estufa (Marconi, modelo MA036), onde permaneceram em temperatura de 40 °C até pesagem constante (Figura 6c). O pó não foi peneirado depois de seco devido à oleosidade da semente, que faz com que ocorra o entupimento da peneira. Posteriormente, o pó foi colocado em becker de vidro e devidamente acondicionado em um dessecador, da mesma forma que o pó de cladódio de pitaia (Figura 5b).

Figura 6 - Resultados das etapas de preparação do pó de semente de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). a) Semente de moringa com casca; b) Semente de moringa descascada; c) Pó de semente de moringa.



Fonte: Autor (2022).

3.3.3 Sulfato de Alumínio

Com o intuito de comparação, foi utilizado o coagulante comercial sulfato de alumínio. A escolha deste levou em consideração seu uso em massa na maioria das ETAs das Companhias de Saneamento, inclusive na ETA da lagoa Itapeva, onde foram coletadas as amostras de água. A fim de facilitar as análises, uma solução concentrada (5000 mg L^{-1}) de Sulfato de alumínio P.A foi preparada e devidamente armazenada para posterior utilização. Comumente na literatura encontra-se o termo coagulante para designar o sulfato de alumínio, e floculante para designar o uso de vegetais para o tratamento de água e/ou efluente.

Convencionou-se nesse trabalho a utilização do termo coagulante para se referir à adição de uma substância que promova as etapas de coagulação e floculação, seja ela um vegetal ou o produto convencional.

3.4 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO

Com a finalidade de simular as condições utilizadas em uma ETA, o experimento foi executado em dois equipamentos do tipo JarTest (Milan, modelo JT22 e Policontrol, Floc Control IV). Ambos os equipamentos continham 6 pás responsáveis por promover a agitação da água dentro de jarros em material acrílico (Figura 7). Os JarTest foram manualmente ajustados para atender as velocidades de rotação desejadas. Os tratamentos foram concomitantemente aplicados nos jarros contendo 1 litro de amostra, por meio de uma barra dosadora com cubetas de vidro encaixadas, conforme pode ser visualizado na Figura 7.

Para todos os testes, a velocidade de agitação das etapas rápida e lenta foi mantida constante, sendo 120 rpm para a etapa de agitação rápida e 30 rpm para a etapa de agitação lenta. O tempo de agitação da etapa rápida foi de 1 minuto e da etapa lenta 20 minutos, seguido por 1 hora em repouso para sedimentação da amostra (IDRIS *et al.*, 2012). Salienta-se que o tempo de agitação da etapa rápida foi ajustado no experimento II, a ser apresentado posteriormente no item 3.4.2 (Teste II – Influência do tempo de agitação rápida no processo de tratamento da água).

Figura 7 - Equipamento JarTest com barra dosadora para adição dos tratamentos.



Fonte: Autor (2022).

O ajuste do pH das amostras nos jarros foi feito com o uso de hidróxido de sódio (NaOH) ou ácido clorídrico (HCl). Com objetivo de identificar as condições ótimas de atuação de cada coagulante, as análises foram divididas em três testes (Tabela 1), em que foi avaliada apenas uma variável por teste. Vale ressaltar que todos os testes foram realizados em triplicata a fim de aumentar a precisão dos resultados.

Tabela 1- Parâmetros avaliados e parâmetros fixados para cada teste realizado.

	pH água	Tempo de agitação rápida (min), velocidade 120 rpm	Concentração de coagulante (mg L ⁻¹)
Teste I - Influência do pH no processo de clarificação da água	Variável avaliada: faixa 2 a 11	Parâmetro fixado: 1	Parâmetro fixado: Pitaia: 100; Moringa: 100; Sulfato de alumínio: 25.
Teste II - Influência do tempo de agitação rápida no processo de clarificação da água	Parâmetro fixado: Pitaia pH 3; Pitaia pH natural; Moringa pH natural; Sulfato de alumínio pH 6	Variável avaliada: 1, 4, 8 e 12	Parâmetro fixado: Pitaia: 100; Moringa: 100; Sulfato de alumínio: 25.
Teste III - Influência da concentração do coagulante no processo de clarificação da água.	Parâmetro fixado: Pitaia pH 3; Pitaia pH natural; Moringa pH natural; Sulfato de alumínio pH 6	Parâmetro fixado: Pitaia pH 3: 12; Pitaia pH natural: 12; Moringa pH natural: 1; Sulfato de alumínio pH 6: 1.	Variável avaliada: Pitaia: 25; 50; 75; 100 e 200; Moringa: 25; 50; 75; 100 e 150; Sulfato de alumínio: 10; 15; 20; 25 e 30.

Salienta-se que, na Tabela 1, em cada um dos testes realizados de forma a facilitar a discussão posterior, optou-se por colocar o valor do parâmetro fixado. Este valor refere-se ao melhor desempenho do coagulante em cada condição teste e será devidamente discutido no item referente aos resultados dessa otimização.

3.4.1 Teste I – Influência do pH no Processo de Tratamento de Água

Neste teste, objetivou-se identificar o pH da amostra (água da lagoa) que possibilita o melhor desempenho dos coagulantes no processo de clarificação. Com esse objetivo, foi ajustado o pH das amostras diretamente nos jarros em uma faixa que compreende pH 2 ao 11 para cada um dos coagulantes investigados (cladódio de pitaia, semente de moringa e sulfato de alumínio) e o testemunha (branco). A amostra testemunha não recebeu nenhum coagulante.

Para este teste foi fixado o parâmetro de concentração dos coagulantes. As concentrações dos coagulantes empregadas foram de 25 mg L⁻¹ para sulfato de alumínio (concentração utilizada pela concessionária de saneamento onde foram coletadas as amostras), e de 100 mg L⁻¹ para os coagulantes naturais cladódio de pitaia (IDRIS *et al.*, 2012) e semente de moringa (HENDRAWATI *et al.*, 2016).

3.4.2 Teste II – Influência do Tempo de Agitação Rápida no Processo de Tratamento de Água

Com base no projeto piloto anteriormente executado e na literatura (YU *et al.*, 2011; DI BERNARDO; BOTARI; PAZ, 2005; KAN; HUANG; PAN, 2002), buscou-se, com este teste, identificar a influência do tempo de agitação rápida (120 rpm) no processo de coagulação e floculação da água. Para tanto, foi selecionado o pH que proporcionou o melhor desempenho para cada um dos coagulantes investigados no teste I. Baseado em resultados de ensaios preliminares, foi definido quatro diferentes tempos de agitação rápida: 1, 4, 8 e 12 minutos.

3.4.3 Teste III – Influência da Concentração do Coagulante no Processo de Tratamento da Água

Com o propósito de identificar a concentração de coagulante que apresenta melhor desempenho dentro das melhores condições de pH da água e tempo de agitação rápida já avaliadas nos testes I e II (Tabela 1), foram selecionadas cinco doses diferentes para cada coagulante com base nos testes preliminares I e II e literatura para *M. oleifera* (HENDRAWATI *et al.*, 2016) e *S. undatus* (IDRIS *et al.*, 2012). As doses de sulfato de alumínio selecionadas estão fundamentadas principalmente na realidade da ETA onde foram coletadas as amostras de água.

3.5 PARÂMETROS DE POTABILIDADE MONITORADOS NO ESTUDO

Para avaliar a eficiência dos três coagulantes citados, os parâmetros físico-químicos indicadores de potabilidade de água monitorados foram cor verdadeira, cor aparente, turbidez, potencial hidrogeniônico (pH) e Carbono Orgânico Dissolvido (COD). A seguir, são apresentadas as metodologias analíticas utilizadas para a mensuração de cada um desses parâmetros citados:

- a) Cor verdadeira e cor aparente: a medida foi feita utilizando-se um Espectrofotômetro (Bel photonics, 1105) (Figura 8a), em comprimento de onda de 460 nm de absorbância. Para cor verdadeira, avaliada apenas no teste III, as medições foram realizadas após pré-filtragem em papel filtro quantitativo (marca Quanty) com tamanho de poro de 8 µm e posterior filtragem em disco para seringa com membrana de fibra de vidro de 0,45 µm.

Para determinação de ambos os parâmetros, uma curva de calibração com padrões de cor APHA 500 uC Pt/Co (Dellab) foi utilizada gerando a seguinte equação como exemplo:

$$\text{COR} = (y + 0,0019) / 0,0009 \text{ e } R^2 = 0,9983 \text{ onde,}$$

COR = valor de cor aparente ou cor verdadeira em unidades de cor (uH);

y = leitura de absorbância obtida no espectrofotômetro em 460 nm;

R² = coeficiente de correlação linear

- b) Turbidez: para a determinação da turbidez foi feito o uso de um turbidímetro (Del Lab modelo DLT-WV) calibrado diariamente (Figura 8b). O percentual de remoção foi calculado com base na equação:

$$\%RT = (T_i * 100) / T_f \text{ onde,}$$

%RT = percentual de remoção de turbidez;

T_i = turbidez inicial (NTU);

T_f = turbidez final (NTU).

Figura 8 - Equipamentos de monitoramento de parâmetros cor e turbidez. a) Espectrofotômetro; b) Turbidímetro.



Fonte: Autor (2022).

- c) pH: o potencial hidrogeniônico foi determinado por meio de pHmetro (Hanna modelo HI 3221) calibrado diariamente (Figura 9a).
- d) Carbono Orgânico Dissolvido (COD): método SUVA₂₅₄, em que foram realizadas as leituras em Espectrofotômetro (Spectrun Meter UV-VIS e modelo SP-2000UV) em comprimento de onda de 254 nm de absorbância. Foram utilizadas cubetas de quartzo com 1 cm de caminho óptico, com água previamente filtrada por disco para seringa com membrana de fibra de vidro de 0,45 µm (Figura 9b). Para determinação de COD fez-se uma curva de calibração com biftalato de potássio anidro de grau primário (C₈H₅KO₄), gerando a seguinte equação como exemplo:

$$\text{COD} = (y - 0,0279)/0,0174 \text{ e } R^2 = 0,9977 \text{ onde,}$$

COD = Carbono Orgânico Dissolvido (mg L⁻¹);

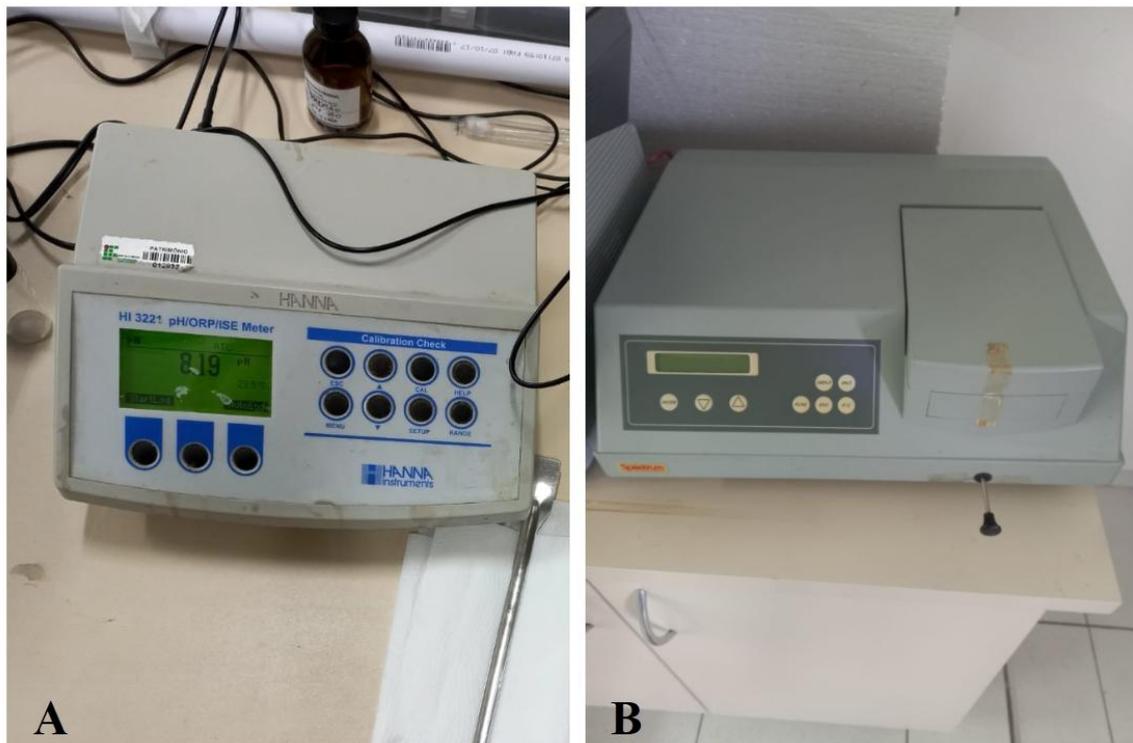
y = leitura obtida no espectrofotômetro em 254 nm;

R² = coeficiente de correlação linear

O monitoramento dos referidos parâmetros foi realizado nas amostras (água bruta proveniente da lagoa Itapeva), antes e após serem submetidas aos tratamentos propostos neste trabalho. É importante salientar que os parâmetros avaliados durante os experimentos seguiram a metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water And Wastewater* (2017). Vale ressaltar que, de acordo com mesma metodologia, a absorção de UV pela matéria orgânica pode variar quando o pH é abaixo de 4 ou acima de 10, não sendo recomendado leituras nesse intervalo. Visto isso, para padronização das condições de avaliação, após o ensaio de coagulação e floculação, realizou-se o ajuste de pH para 7 antes das medições analíticas.

Os parâmetros monitorados neste trabalho fazem parte da Portaria do Ministério da Saúde GM/MS nº 888/21 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Figura 9 - Equipamentos de monitoramento dos parâmetros pH e Carbono Orgânico Dissolvido. a) pHmetro; b) Espectrofotômetro UV-VIS.



Fonte: Autor (2022).

3.6 CARACTERIZAÇÃO DOS COAGULANTES UTILIZADOS

A realização da análise quali e quantitativa no pó de cladódio de pitaia, semente de moringa e sulfato de alumínio (utilizados nos testes I, II e III), foi feita com o uso da técnica de Espectrometria por Fluorescência de Raios-X (FRX), utilizando um equipamento da Marca Shimadzu, modelo EDX 7000, com tubo de 3 kW e alvo de ródio.

3.6.1. Caracterização do Pó de Cladódio de Pitaia

Devido à dificuldade de se encontrar relatos na literatura sobre a caracterização do cladódio de pitaia, a determinação do teor de proteína, por meio do método Kjeldahl, foi selecionada (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi utilizado, para a análise estatística, o *software* SISVAR, criado pelo Departamento de Estatística da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Para os testes I e II foi aplicado o

Teste Tukey para comparação de médias, a 5% de significância. Já para o teste III, por se tratar de uma avaliação de tratamentos quantitativos, realizou-se a análise de regressão polinomial, linear e quadrática. Para todos os experimentos o delineamento utilizado foi inteiramente casualizado.

As doses ideais para cada parâmetro de potabilidade (Teste III) foram calculadas a partir da derivada da equação de cada gráfico, sendo identificado o ponto de máximo ou mínimo global de cada variável analisada dentro dos tratamentos propostos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DA LAGOA ITAPEVA

A água bruta utilizada neste estudo foi inicialmente caracterizada a fim de mensurar alguns parâmetros de potabilidade considerados essenciais para o consumo humano e que, dessa forma, podem servir como base para otimização do processo de tratamento a ser proposto neste trabalho. Os dados dessa caracterização estão apresentados na Tabela 2 e foram medidos sempre antes de cada teste realizado visando avaliar a eficiência do processo de coagulação e floculação proposto.

Tabela 2 - Valores médios iniciais de parâmetros físico-químicos monitorados para a água da Lagoa Itapeva antes de cada uma das otimizações realizadas. ^aVMPa: Valor Máximo Permitido, Portaria GM/MS 888/21; ^bNC – Não Contemplado na portaria de potabilidade.

Teste	Turbidez (uT)	pH	Cor aparente (uH)	Cor verdadeira (uH)	Carbono Orgânico Dissolvido (mg L ⁻¹)
I - Influência do pH no processo de clarificação da água	17,43	7,44	163,14	9,69	25,00
II- Influência do tempo de agitação rápida no processo de clarificação da água	21,83	7,29	161,37	6,46	111,00
III- Influência da concentração do coagulante no processo de clarificação da água	16,76	7,34	122,48	100,00	75,47
Valor médio	18,67	7,36	149,00	38,72	70,49
Desvio Padrão	2,75	0,08	22,98	53,10	43,22
VMP ^a	5	6-9	15	NC ^b	NC

Ao realizar uma avaliação dos resultados da Tabela 2 em relação aos valores limites máximos estabelecidos pela Portaria GM/MS n° 888/2021 do Ministério da Saúde para os parâmetros de potabilidade monitorados, nota-se que os valores de turbidez e cor aparente da

água bruta coletada da lagoa Itapeva para a realização dos testes ultrapassam os limites impostos pela Portaria quando dentro da faixa de pH 6 a 9. Desta forma, para estes dois parâmetros já fica evidente a necessidade do tratamento de água da lagoa Itapeva antes de ser distribuída para consumo humano.

É importante destacar a discrepância dos valores obtidos na Tabela 2 para o parâmetro cor verdadeira no teste I e II em relação ao teste III, o que pode estar relacionado ao fato de no teste III ter ocorrido a troca do filtro de malha 0,22 μm (Teste I e II) para 0,45 μm (Teste III) devido ao entupimento do filtro de fibra de vidro ao ser utilizado um tamanho de poro menor, motivo pelo qual não foram utilizados nos resultados e discussões os dados de cor verdadeira para os testes I e II.

Ao realizar a comparação entre a análise inicial da água (Tabela 2) utilizada para os testes I, II e III e os dados do monitoramento obtidos pela CORSAN no ano de 2021 e disponibilizados para este estudo (Tabela 3), pôde-se verificar que os valores médios de turbidez monitorados ao longo de 2021 foram praticamente os mesmos da água utilizada neste trabalho (~20 uT). Porém, quanto ao parâmetro cor aparente, observa-se que as amostras de água bruta utilizadas nos testes I, II e III apresentaram valor médio de 149 uH, valor próximo ao observado nos meses de setembro e outubro de 2021 (Tabela 3), porém, acima da média de 71,5 uH observada nos demais períodos do ano. Pode-se afirmar, com base no monitoramento mensal representado pela Tabela 3, que no período das coletas a cor aparente estava acima do valor médio anual.

Tabela 3 - Valores médios dos parâmetros físico-químicos monitorados na água bruta da lagoa Itapeva realizadas pelo laboratório da Estação de Tratamento de Água da CORSAN de Torres, RS, durante o ano de 2021.

Mês	Turbidez (uT)	pH	Cor aparente (uH)	DBO ($\text{mg L}^{-1} \text{O}_2$)	Ferro ($\text{mg L}^{-1} \text{Fe}^{2+}$)
Jan	19,4	6,8	62	3,5	0,6
Fev	14,1	6,8	41	3,6	0,3
Mar	9,9	6,8	43	3,4	0,5
Abr	10,2	6,8	48	3,3	0,4
Mai	13,9	6,8	53	3,9	0,4
Jun	12,3	6,8	48	3,6	0,4
Jul	15,4	6,9	58	4	0,3
Ago	29,5	6,9	86	4,9	0,3
Set	46,6	6,9	158	5,6	0,4
Out	30,2	6,9	123	5,2	0,5
Nov	26,1	6,8	74	4,2	0,5
Dez	16,7	6,8	65	3,9	0,5
Valor médio	20,3	6,8	71,5	4,0	0,4

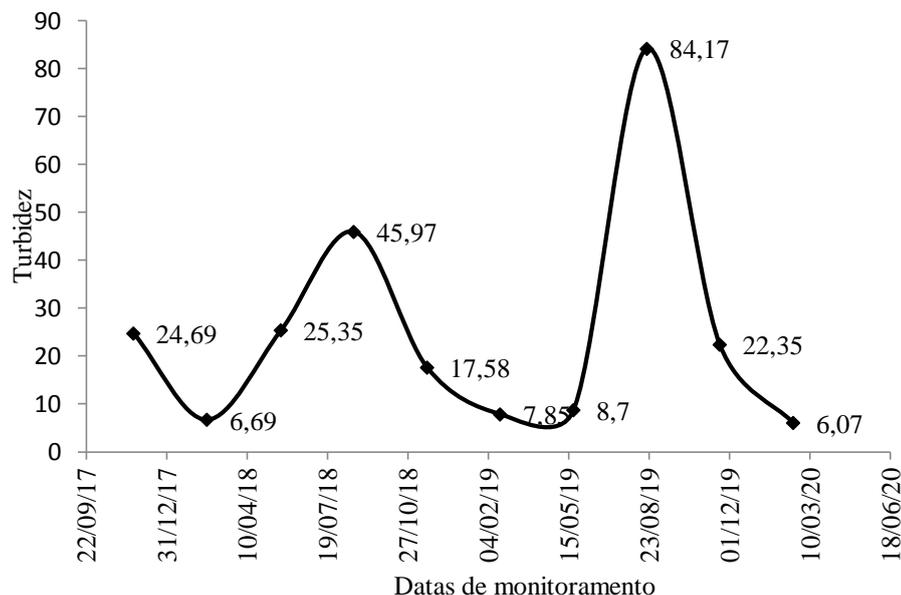
Fonte: CORSAN, 2022.

Segundo Piratoba *et al.* (2017), o aumento da cor está relacionado com o período chuvoso, em que maiores volumes de precipitação representam aumento do transporte de material orgânico e inorgânico drenado nas margens dos afluentes, o que influencia no aumento dos valores de cor da água. Os autores também constataram que os maiores valores de cor aparente para o rio Pará, local por eles estudado, corresponderam à época mais chuvosa.

Quanto ao parâmetro turbidez, buscou-se ainda a série histórica de monitoramento realizado pela FEPAM, disponível *online* no Sistema de Divulgação dos Dados de Monitoramento da Qualidade da Água Superficial do RS (Sistema RS Água) (Figura 10), com ponto de monitoramento localizado próximo ao ponto de coleta da água das amostras para os testes I, II e III. É relevante ressaltar que o parâmetro cor aparente não é anualmente monitorado pela FEPAM para as águas da lagoa Itapeva, sendo assim, a Figura 10 indica somente os valores obtidos para o parâmetro turbidez no período entre 2017 e 2020.

Para o elemento (Fe) o limite imposto pela Portaria de potabilidade anteriormente citada é de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$, podendo exceder até $2,4 \text{ mg L}^{-1}$ quando atendidos alguns critérios específicos normatizados, indicando que este parâmetro deve ser avaliado também na água após tratamento, de forma a garantir a potabilidade da água da lagoa Itapeva. Salienta-se que o parâmetro DBO expressa a presença de matéria orgânica e, apesar de não normatizada, é um importante indicador de qualidade da água (LIBÂNIO, 2010). Observa-se, ainda, que os meses de setembro e outubro foram o período em que foram obtidos os maiores valores de DBO, assim como aconteceu para o parâmetro cor aparente. Esses dados corroboram com a justificativa de Piratoba e seus colaboradores (2017) relacionado ao aumento do transporte de material orgânico e inorgânico drenado nas margens dos afluentes devido aos maiores volumes de precipitação.

Figura 10 - Monitoramento de turbidez realizado na lagoa Itapeva na estação 87311000 pela FEPAM no período entre setembro/2017 e março/2020.



Fonte: FEPAM (2022).

Ainda, ao analisar a Tabela 3, pode-se verificar os diferentes valores de turbidez ao longo dos meses e ao observar a Figura 10 é possível notar a variação de turbidez da lagoa Itapeva ao longo dos anos 2017 a 2020. Apesar da amplitude de 78,1 uT, o que caracteriza alguns picos de turbidez, o valor médio de 24,9 uT é semelhante ao observado na Tabela 3 (20,3 uT). De acordo com Parron & Muniz (2011), o aumento de turbidez na água pode ser atribuído à presença de materiais em suspensão, como, por exemplo, argila, silte, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, compostos orgânicos solúveis coloridos, plâncton e outros organismos microscópicos.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COAGULANTES

Por entender que a identificação dos elementos químicos presentes nos coagulantes é parte importante do processo de construção do conhecimento, no que diz respeito à investigação da sua capacidade de coagulação e floculação, foi realizada a caracterização do pó dos coagulantes utilizados nos testes utilizando a técnica de FRX. A Tabela 4 sintetiza os dados referentes às análises realizadas para o pó de moringa, pó do cladódio de pitaia e pó do sulfato de alumínio comercial, utilizados neste estudo. Ressalta-se que os valores constantes na Tabela 4 não levaram em consideração a umidade das amostras

Tabela 4 - Resultados, na forma de óxidos, obtidos por FRX para os coagulantes em pó: moringa, pitaia e sulfato de alumínio.

Óxidos	Sulfato de Alumínio (%)	Moringa (%)	Pitaia (%)
SO ₃	78,25	49,93	3,45
K ₂ O	-	23,61	38,00
Al ₂ O ₃	18,26	-	-
P ₂ O ₅	3,34	13,34	1,46
CaO	0,09	9,84	55,68
Fe ₂ O ₃	0,04	0,68	0,71
ZnO	-	0,44	0,22
SiO ₂	-	1,63	-
MnO	-	0,12	0,12
CuO	0,02	0,28	0,20
Br	-	-	0,05
SrO	-	-	0,15
Rb ₂ O	-	0,06	-
SeO ₂	-	0,08	-
Total	100,00	100,00	100,00

Obs.: Valores expressos em base úmida.

Para o coagulante sulfato de alumínio observa-se na Tabela 4 a predominância dos óxidos de alumínio (Al) e enxofre (S), como já era esperado, constituintes do próprio reagente (AlSO₄). Os demais elementos identificados, cálcio (Ca), ferro (Fe) e cobre (Cu), estão provavelmente associados a impurezas do próprio reagente comercial.

Para o coagulante de moringa, pode-se inferir que sua constituição básica está associada à presença de três grupos com três faixas de concentrações distintas. O primeiro está associado à presença de óxidos na faixa de concentração entre 10% e 50%, sendo eles, respectivamente Ca, fósforo (P), potássio (K) e enxofre (S). O segundo grupo está associado aos óxidos em concentrações na faixa entre 0,4% e 1,6% (respectivamente, silício (Si), zinco (Zn) e Fe) e o último grupo na faixa com concentrações <0,4% (manganês (Mn), Cu, rubídio (Rb) e selênio (Se)). Yin (2010) afirma que pode existir grande quantidade de agentes coagulantes não identificados na semente de moringa e, embora a proteína catiônica seja apontada como principal responsável pela capacidade de coagulação e floculação, outros compostos podem contribuir em menor expressividade para a capacidade coagulante.

O pó do cladódio de pitaia, entretanto, é composto majoritariamente pelos óxidos de S, K e Ca nas concentrações de 3,44%, 38,00% e 55,68, respectivamente (Tabela 4). Dick (2018) observou que, para a mucilagem do cacto *Opuntia monacantha* Haw., elevados níveis de

minerais estavam presentes, tais como Ca, K, magnésio (Mg), Mn e Zn, em ordem decrescente. Teores elevados de K e Ca também foram relatados por Méndez *et al.* (2015), para os cactos *Opuntia dillenii* (Ker Gawl.) Haw. e *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., corroborando com os valores obtidos neste estudo para *Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt (popularmente conhecida como pitaia), também uma cactácea.

Um ponto em comum entre os coagulantes vegetais se refere aos elementos majoritários identificados. O coagulante da semente de moringa apresenta como predominantes os elementos S (50%), K (23%), P (13%) e Ca (10%) e o coagulante do cladódio da pitaia apresenta Ca (55%), K (38%) e S (3%).

A pitaia é o objeto central deste estudo, visto que seu cultivo cresceu consideravelmente no extremo sul catarinense e litoral norte gaúcho nos últimos anos. Consequentemente, é notável o crescente aumento na quantidade de resíduos produzidos logo após a colheita das frutas, uma vez que o cladódio ainda não encontra aplicação local para todo o volume gerado pela poda. Portanto, no que diz respeito à caracterização dos coagulantes, ele foi selecionado para caracterizações complementares. Tendo em vista os poucos relatos a respeito da caracterização do cladódio de pitaia na literatura, que se encontra mais focada na fruta no que compreende a polpa e a casca, buscou-se por intermédio de algumas metodologias identificar o teor de proteína do cladódio da pitaia da espécie *S. undatus*. Os resultados destes testes estão apresentados a seguir.

4.2.1 Teor de Proteína do Cladódio de Pitaia

Ainda pouco se fala sobre o modo de atuação do coagulante do cladódio de pitaia, sendo *Opuntia* sp. o gênero de cacto mais estudado para coagulação. Para moringa, a capacidade de coagulação é atribuída à presença de proteína, principalmente a fração proteica albumina e globulina presentes na semente (BAPTISTA *et al.*, 2017).

A quantificação proteica realizada para o cladódio pelo método Kjeldahl, conforme item 3.6.1, apresentou valor médio das amostras correspondente a 9,24% de proteína. Pode-se observar que este valor é semelhante ao apresentado por Ortiz, Astudillo & Martínez (2013), que identificaram pelo mesmo método, para *O. ficus-indica*, o valor de 7,39%. Esta porcentagem obtida para a espécie de *Opuntia* pode ser considerada baixa para proteínas, sugerindo que não são apenas proteínas as principais responsáveis pelo bom poder coagulante dessa espécie.

Outros fatores vêm sendo apontados como possíveis responsáveis pela capacidade coagulante dos cactos. A família Cactaceae é caracterizada pela produção de mucilagem, um carboidrato complexo, que apresenta uma grande capacidade de absorção de água (SAENZ; SEPULVEDA; MATSUHIROB, 2004). O ácido galacturônico presente nas mucilagens é apontado como um dos possíveis responsáveis pela capacidade de coagulação da cactácea *Opuntia* sp., embora essa substância represente apenas 50% da remoção de turbidez promovida pela espécie (MILLER *et al.*, 2008), sugerindo que outras substâncias presentes também possuem capacidade de promover a coagulação.

A existência de atividade antioxidante no cladódio de pitaia da espécie *H. undatus* foi relatada por Som *et al.* (2019). A presença do agrupamento hidroxila supõe que ele pode estar relacionado com a capacidade de coagulação e floculação que vem sendo apresentada pelo cladódio de pitaia (SOM *et al.*, 2021).

4.3 OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES PARA O PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA

Devido à interação significativa entre as variáveis avaliadas pelo teste de comparação múltipla (Tukey), foi realizada a análise do desdobramento de T1 (coagulantes) dentro de T2 (pH) e T2 (pH) dentro de T1 (coagulantes), para cada variável avaliada (cor aparente, turbidez e COD) dos três testes executados. Para poder expressar as interações, os dados foram organizados em tabelas, onde letras diferentes (no mesmo sentido, linha ou coluna) indicam diferença estatística significativa e letras iguais indicam que estatisticamente os tratamentos não diferem.

4.3.1 Teste I – Influência do pH no Processo de Clarificação da Água

O pH aciona vários mecanismos que auxiliam no processo de coagulação e floculação afetando o desempenho do processo (SOM *et al.*, 2021). De acordo com Yan *et al.* (2008), o pH da solução durante a coagulação afeta a química do coagulante, por isso, existe a necessidade de estudar o comportamento dos coagulantes ao longo de diversas faixas de pH. Para este teste, objetivou-se identificar o pH da água em que os coagulantes testados apresentem um bom desempenho quanto aos parâmetros de potabilidade, turbidez, cor aparente e COD. Os coagulantes utilizados foram o comercial sulfato de alumínio e os naturais de origem vegetal (moringa e pitaia) nas concentrações 25 mg L⁻¹, 100 mg L⁻¹ e 100 mg L⁻¹, respectivamente.

Para o parâmetro turbidez, ao avaliarmos a Tabela 5, notamos que em condições extremas de pH (pH 2) a água da lagoa Itapeva apresenta um bom percentual de coagulação e floculação dos compostos que causam sua turbidez, independente do uso de coagulantes. Esse fenômeno, possivelmente, está associado à carga variável dos materiais inorgânicos e orgânicos causadores de cor e turbidez presentes na água da lagoa, que são grandemente influenciadas pela formação pedogenética do solo.

Tabela 5- Influência do pH (T2) da água no percentual de remoção do parâmetro turbidez após utilização de diferentes coagulantes (T1) e comparação dos valores de remoção de turbidez dos coagulantes (T1) dentro de cada faixa de pH (T2). Letras minúsculas indicam diferença estatística significativa entre linhas, letras maiúsculas indicam diferença estatística significativa entre colunas. CV - Coeficiente de variação das repetições; Pr>Fc - Corresponde a significância do valor F para as avaliações T2 dentro de cada nível T1 e T1 dentro de cada nível T2, pelo teste Tukey.

pH	Testemunha	Sulfato de alumínio (25 mg L ⁻¹)	Moringa (100 mg L ⁻¹)	Pitaia (100 mg L ⁻¹)
	Remoção de turbidez (%)			
2	94,75 b A	95,97 d A	98,60 a A	94,63 e A
3	15,55 a A	89,40 d B	94,55 a B	91,55 e B
4	12,55 a A	93,61 d B	88,98 a B	14,51 ab A
5	12,90 a A	96,05 d B	86,70 a B	12,22 ab A
6	12,20 a A	96,08 d B	89,79 a B	13,75 ab A
7	12,02 a A	67,66 c B	89,17 a C	17,96 abc A
8	10,78 a A	42,28 b B	90,09 a C	22,35 bcd A
9	11,84 a A	75,90 cd C	91,35 a C	35,47cd B
10	11,31 a A	88,03 cd C	91,89 a C	40,51 d B
11	8,31 a A	9,68 a A	93,06 a C	36,87 cd B
CV%	14,1			
		Pr>Fc		
T1 dentro de T2	0,001			
T2 dentro de T1	0,001			

As cargas elétricas nos coloides presentes nos solos são divididas em permanentes e variáveis, sendo que as cargas variáveis desenvolvem-se na superfície da partícula sólida por meio de dissociação e associação de prótons e adsorção específica de cátions e ânions (STUMM; MORGAN, 1981 apud FONTES; CAMARGO; SPOSITO, 2001). Os solos tropicais, como é o caso do Brasil, apresentam alto grau de intemperização e, nessas condições, há predomínio de coloides com carga elétrica variável dominada por matéria orgânica,

argilominerais do tipo 1:1, predominantemente caulinita e os óxidos e hidróxidos de Fe e Al (FONTES; CAMARGO; SPOSITO, 2001; WEBBER *et al.*, 2005). Na matéria orgânica, a carga variável desenvolve-se a valores de pH bem mais baixos do que nos óxidos (FONTES; CAMARGO; SPOSITO, 2001). As reações de adsorção, dessorção de íons e a dispersão e floculação de coloides ocorrem na superfície das partículas do solo e correspondem a maioria das reações que ocorrem na fração mineral da argila e na matéria orgânica coloidal (WEBBER *et al.*, 2005).

Entre os extremos de carga positiva e negativa existe o Ponto de Carga Zero (PCZ) em que se tem a ausência de cargas ou equilíbrio entre cargas (FONTES; CAMARGO; SPOSITO, 2001). O PCZ corresponde ao valor de pH onde as partículas do solo não se movem num campo elétrico aplicado, caracterizando a sua floculação (SPOSITO, 1989). A condição de pH 2 da água da lagoa, onde ocorreu a floculação dos agentes causadores de cor e turbidez sem o uso de coagulantes, possivelmente se deu devido ao ajuste de pH da água até ou próximo ao PCZ das partículas coloidais, argilas e matéria orgânica presentes na água, promovendo a floculação e a clarificação sem a utilização de coagulante.

Diferentes minerais do solo apresentam PCZ que variam entre pH 2 e 4 para alguns óxidos de Si e Mn até pH 8 e 10 para alguns óxidos de Fe e Al (FONTES; CAMARGO; SPOSITO, 2001), corroborando com a coagulação e floculação observadas nas amostras em pH 2 do tratamento testemunha. Portanto, pode-se afirmar que os percentuais de remoção de turbidez no pH 2 não estão associados ao uso de coagulantes.

A floculação e clarificação da água depende da natureza elétrica do meio (MARTINS *et al.* 2022). O excesso de cátions e conseqüentemente acidificação do meio (pH baixo), alterando a dinâmica de floculação provocada pela modificação do balanço de cargas do meio (ZULKEFLEE *et al.* 2012). Esse fator pode ter corroborado para o efeito considerável da clarificação da água no tratamento em pH 2 sem adição de coagulante.

Para sulfato de alumínio, o intervalo de melhor atuação do coagulante na remoção da turbidez foi observado na faixa de pH entre 3 e 6. A atuação do sulfato de alumínio no tratamento de água é bastante conhecida e comumente utiliza-se pH entre 5 e 7. Nessas condições de pH, as partículas de Al encontram-se abaixo do seu PCZ, apresentando carga positiva que interage com as partículas comumente negativas presentes na água bruta, promovendo a coagulação (GUEDES, 2004). Quando o sulfato de alumínio entra em contato com a água, ocorre imediatamente a dissociação formando dois mols de Al^{+3} e três mols de SO_4^{-2} . No decorrer da hidrólise são formados íons H^+ que tornam a solução ácida e promovem a eficiência do sistema, formando a reação (ARAUJO, 2021).

Em relação à semente de moringa, salienta-se que foi apresentado desempenho semelhante ao longo de toda a faixa de pH estudada. Para este coagulante foi possível obter remoções de turbidez superiores a ~87%. Dentre os coagulantes investigados, foi a que apresentou o melhor desempenho em pH 7, valor comumente encontrado nas águas superficiais, assim como na água da lagoa Itapeva (Tabela 2). De acordo com Ndabigengesere & Narasiah (1998), isso se deve à grande versatilidade da moringa diante das variações de pH. Os demais coagulantes apresentaram remoções inferiores em pH 7, sendo de 67,66% para o sulfato de alumínio e 17,96% para a pitaia.

A moringa apresentou um desempenho para remoção de turbidez semelhante ao sulfato de alumínio e, em alguns casos, até superior ao coagulante comercial (pH 7, 8 e 11). Esse desempenho superior pode ser atribuído também à grande versatilidade de pH de atuação da moringa, conforme relatado por Ndabigengesere & Narasiah (1998), mostrando-se eficiente nas faixas de pH que apresentam limitações ao sulfato de alumínio. Hendrawati *et al.* (2016) encontraram maior redução de turbidez para o coagulante pó de *M. oleifera* quando comparado ao PAC, sendo encontradas remoções de 97,4% para moringa e 89,4% para o PAC em águas de um poço subterrâneo com pH 6,9. Esses resultados corroboram com os resultados deste trabalho, nos quais também pode ser observada a superioridade da moringa em remover turbidez quando em pH mais básico da água. Salienta-se que o uso do coagulante PAC vem crescendo em substituição ao sulfato de alumínio devido à melhor atuação no tratamento de água (HENDRAWATI *et al.*, 2016).

Para o coagulante pitaia, observou-se que os dois maiores valores para a remoção de turbidez para as águas da lagoa Itapeva ocorreram em pH 3, com 91,55%, e pelo pH 10, com 40,51%. Reforça-se que foi desconsiderado o valor obtido na condição de pH 2 por não ocorrer atuação direta do coagulante propriamente dito nesta condição. Esse comportamento é relatado também por Idris *et al.* (2012), trabalho utilizado como ponto de partida para este projeto, ao utilizar pó do cladódio de pitaia no tratamento de efluente industrial. Os referidos autores também observaram dois picos de melhor remoção de turbidez, ou seja, em pH 3 e em pH 10.

Apesar de, no referido trabalho, apresentar-se maior remoção de turbidez em pH 10, em ambos os pH foram obtidos valores superiores a 90% com concentração de 500 mg L⁻¹ do coagulante no tratamento de efluente de látex, oriundo da indústria da borracha. Apesar dos picos de melhor desempenho acima citados, a pitaia teve desempenho inferior ao coagulante tradicional (sulfato de alumínio) ao longo de toda a faixa estudada, assim como aconteceu nos estudos de Idris *et al.* (2012), quando compararam o cladódio de pitaia com o coagulante

comercial sulfato férrico, coagulante mais tradicionalmente empregado no tratamento de efluentes industriais.

É importante ressaltar que na literatura são mais frequentes pesquisas com o uso da fruta e não do cladódio da pitaia, reforçando a relevância deste trabalho. Ainda neste sentido, para a aplicação específica do uso do pó de cladódio de pitaia no tratamento de água para consumo humano, no que concerne ao nosso conhecimento até o momento, não há nenhum trabalho publicado.

Segundo Freitas, Camara & Martins (2015), para adsorventes naturais, a adsorção do cátion é favorecida quando o pH da solução é maior que o ponto de neutralidade de cargas (Potencial Zeta), enquanto a adsorção de ânions é favorecida quando o pH é menor que esse ponto. Portanto, o pH de neutralidade de carga ao avaliar substâncias adsorventes é considerado o intervalo onde não ocorre a adsorção entre partículas, ou seja, onde a adsorção de cátions e ânions não é favorecida. Segundo Idris *et al.* (2012), para o cladódio de pitaia da espécie *H. undatus*, o ponto de neutralidade de cargas em água destilada ao longo da faixa de pH entre 2 e 11 manteve-se praticamente constante na faixa de pH que vai do 4 a 8.

Isso vem ao encontro dos resultados obtidos em nosso estudo, no qual as mais baixas remoções de turbidez ocorreram justamente nessa faixa, podendo ser este o ponto de neutralidade de cargas para espécie *H. polihizus*, atualmente nomeada como *Selenicereus undatus*. O melhor valor de remoção de turbidez (Tabela 5) e cor aparente (Tabela 6) ocorreram abaixo do ponto de neutralidade de cargas (pH 2 e pH 3), indicando a predominância de partículas carregadas negativamente na água bruta da lagoa Itapeva. Libânio (2010) afirma que as partículas coloidais da água são predominantemente negativas, corroborando com a afirmativa feita acima. Vale lembrar que a clarificação da água (remoção de turbidez e menor valor de cor aparente) em pH 2 não é atribuída à utilização de coagulante.

De forma a complementar as questões relacionadas a este primeiro e importante parâmetro investigado e fortemente associado ao desempenho dos coagulantes investigados, pode-se atribuir, entre os compostos que causam a turbidez na água, a presença de materiais em suspensão, como por exemplo, argila, silte, matéria orgânica e inorgânica (PARRON; MUNIZ, 2011). Dessa forma, é a interação dos coagulantes com esse tipo de substância que ocasionará uma adequada redução da turbidez na água.

O segundo parâmetro avaliado na otimização do processo do tratamento de água usando coagulantes vegetais foi o parâmetro cor aparente. A cor da água se manifesta pela reflexão da luz nas partículas coloidais de origem predominantemente orgânica, podendo também estar relacionada à presença de compostos de Fe e Mn provenientes do lançamento de diversos tipos

de resíduos industriais. Ambas as características da água são consideradas importantes parâmetros de potabilidade e de estética quando se trata principalmente de água para consumo humano. De maneira geral, como esperado, para a avaliação de cor aparente (Tabela 6) notam-se as mesmas particularidades observadas para o parâmetro turbidez ao submeter a água da lagoa Itapeva à condição de pH relativamente baixo (pH 2), onde o processo de coagulação e floculação ocorre sem ser necessária a adição de substâncias coagulantes, ocasionando a diminuição considerável da cor.

A avaliação da cor aparente pelo emprego do coagulante sulfato de alumínio (Tabela 6) mostrou um comportamento diferente em relação à conduta observada para o parâmetro turbidez (Tabela 5). Para o parâmetro turbidez foi possível identificar uma faixa de pH (3 a 6) com melhor atuação e valores de medição mais estáveis. Em contrapartida, para o parâmetro cor aparente (Tabela 6), foi identificado o pH 6 como o mais adequado e uma considerável oscilação entre os demais valores ao longo da faixa de pH avaliada. Viessman & Hammer (2004) identificaram o intervalo de pH que corresponde à faixa entre 5,5 e 8, como ideais para obtenção de melhores resultados de cor aparente para o tratamento de água.

Tabela 6 - Influência do pH (T2) da água no parâmetro cor aparente após utilização de diferentes coagulantes (T1) e comparação dos valores de remoção de cor aparente dos coagulantes (T1) dentro de cada faixa de pH (T2). Letras minúsculas indicam diferença estatística significativa entre linhas; letras maiúsculas indicam diferença estatística significativa entre colunas. CV - Coeficiente de variação das repetições; Pr>Fc - Corresponde à significância do valor F para as avaliações T2 dentro de cada nível T1 e T1 dentro de cada nível T2, pelo teste Tukey.

pH	Testemunha	Sulfato de alumínio (25 mg L ⁻¹)	Moringa (10 mg L ⁻¹)	Pitaia (100 mg L ⁻¹)
	Valores de cor aparente (uH)			
2	28,33 a A	145,74 cde B	46,48 a A	17,59 a A
3	150,19 b B	33,89 ab A	17,59 a A	23,52 ab A
4	148,70 b B	27,03 ab A	33,14 a A	154,99 c B
5	147,22 b B	22,77 ab A	35,37 a A	159,07 c B
6	152,77 b B	18,52 a A	37,22 a A	122,03 bc B
7	159,07 b B	65,37 abcd A	33,14 a A	154,25 c B
8	153,51 b B	120,92 bcde B	27,22 a A	147,59 c B
9	153,15 b B	51,67 abc A	27,22 a A	133,52 c B
10	154,63 b B	19,44 ab A	22,04 a A	130,92 c B
11	155,00 b B	166,11 de B	25,00 a A	126,11 c B
CV%	38,07			
		Pr>Fc		
T1 dentro de T2	0,001			
T2 dentro de T1	0,001			

O coagulante natural da semente de moringa manteve sua efetividade sendo possível obter valores mais constantes ao longo da faixa de pH estudada e apresentando-se mais eficiente que o sulfato de alumínio em pH 8 e 11 e igual ao sulfato de alumínio nos demais pH testados. Apesar do bom desempenho da moringa, considerado semelhante ou superior ao sulfato de alumínio, nenhuma das condições avaliadas para todos os coagulantes atendeu os limites estabelecidos pela portaria de potabilidade para o parâmetro cor aparente (15 uH), demonstrando que outros fatores, além do pH, exercem influência sobre o tratamento da água.

Dentre os coagulantes de origem vegetal (moringa, cacto opuntia, algas marinhas e amido) testados nos estudos de Molina, Rodríguez & Ariza (2016), na condição de pH 6 da água, a moringa apresentou-se mais eficiente quanto à cor aparente, indicando sua superioridade perante os demais coagulantes, como também pode ser visto neste estudo, quando se compara moringa com o cladódio de pitaia. Na condição de pH 6, os referidos autores obtiveram um valor médio de cor aparente de 13,83 uH com a utilização de sulfato de alumínio e 32,17 uH

com o uso da moringa, valor semelhante ao obtido neste teste (37, 122 uH), com o uso desta mesma condição.

Assim como observado no parâmetro turbidez, a utilização de cladódio de pitaia não se mostrou tão eficiente ante a variável cor quando utilizadas condições de pH superior a 3. O figo da índia, também cactácea, demonstrou comportamento semelhante ao da pitaia na remoção da cor da água potável em condições iniciais similares a este estudo (cor - 165 uH, turbidez - 22 uT, e pH básico) (ANTILON; CAMARENO; BUSTOS, 2012).

É importante destacar o alto valor obtido para o coeficiente de variação (CV) (38,07%) na aplicação do Teste Tukey, valor considerado de alta dispersão indicando pouca homogeneidade nos dados. O valor do CV é considerado uma indicação da precisão experimental, em que menores valores de CV acarretam menores diferenças entre estimativas de médias aparecendo como significativas (ESTEFANEL; PIGNATARO; STORCK, 1987). Porém, apesar do alto coeficiente de variação, vale salientar que este fator não descaracteriza a significância das interações T1 dentro de T2 e T2 dentro de T1 representadas por valor de f menor do que 0,001.

A presença de matéria orgânica nos corpos d'água naturais ocorre devido à troca de matéria e energia na bacia hidrográfica, seja por poluição difusa, pela ação antrópica direta, como despejos de poluentes, ou até mesmo pela produção de matéria orgânica da biota aquática, (LEOPOLDO; FERNANDES, 2008). A Tabela 7 mostra os teores de COD, após utilização dos coagulantes, sendo possível observar que não foram observadas diferenças significativas para COD ao longo da faixa de pH estudada, bem como para interação coagulante e pH (T1*T2), para as etapas de coagulação e floculação, indicando que não há especificidade de pH ideal para os valores de COD, ao longo da faixa de pH 2 ao 11, para os coagulantes testados.

Tabela 7 - Análise dos teores de Carbono Orgânico Dissolvido após utilização dos coagulantes (T1) ao longo das faixas de pH estudadas (T2). Letras indicam diferença estatística significativa entre coagulantes. DMS- Diferença mínima significativa.

Tratamentos	COD (mg L ⁻¹)
Testemunha	5,15 b
Sulfato de Alumínio (25 mg/L ⁻¹)	0,81 a
Moringa (100 mg/L ⁻¹)	4,07 b
Pitaia (100 mg/L ⁻¹)	8,49 c
DMS	2,35
T1: Coagulante	0,001
T2: pH	0,34
T1*T2 Interação	0,28

Quanto ao desempenho dos coagulantes em relação à diminuição de COD, observou-se diferença significativa apontando melhor desempenho para o sulfato de alumínio. O coagulante de pitaia diferiu dos demais devido ao aumento de COD. A utilização de moringa não reduziu os valores de COD, apresentando equivalência estatística com a amostra testemunha.

Baptista *et al.* (2017) relatam que um dos problemas com o uso da moringa como coagulante é a carga orgânica da água tratada, identificando inclusive que esse problema não ocorre quando se realiza o isolamento do agente coagulante ativo, como as frações albumina e globulina extraídas da moringa. Isso leva à reflexão de que a utilização do pó pode não ser a melhor opção para os coagulantes naturais, visto que, segundo os autores acima citados, na utilização de vegetais existe a adição de compostos orgânicos que não são responsáveis pela coagulação e talvez possam estar interferindo ou mascarando a atuação do coagulante.

A reflexão acima também pode ser estendida para avaliar o desempenho da pitaia como agente coagulante ante o parâmetro COD, o qual apresentou incremento quando comparado ao tratamento testemunha. Este incremento de COD também pode ser comprovado devido a maior dificuldade enfrentada na etapa de filtração, adicionalmente remetendo à preocupação quanto à vida útil dos filtros de uma ETA com a utilização de pitaia como coagulante.

Pode-se ressaltar outros problemas relacionados à presença de compostos orgânicos na água quando em uma estação de tratamento de água, como o fomento à formação de subprodutos quando associados à cloração, alteração da qualidade da água em relação ao odor e ao sabor, interferência na remoção de Fe e Mn e propiciar condições para o desenvolvimento de microrganismos na rede de distribuição devido à promoção de crescimento biológico (LIBÂNIO, 2010). Embora na legislação não se faça menção à quantidade de Carbono Orgânico

Total (COT) ou à fração COD, sabe-se que os ácidos fúlvicos, biomassa de algas e cianobactérias, após o processo de cloração, constituem-se importantes precursores da formação dos THM (trihalometanos), compostos de carbono simples contendo halogênios com potencial prejudicial à saúde humana (LIBÂNIO, 2010).

Apesar de também ser utilizado como ferramenta de identificação da composição da matéria orgânica, o método utilizado $SUVA_{254}$ permite uma estimativa da abundância de COD na amostra (WESTERHOFT E ANNING, 2000). Como valor de referência, em águas superficiais o teor de COT varia de 1 a 20 mg/L, elevando-se para até 1000 mg/L nas águas residuárias, podendo variar de acordo com o manancial (LIBÂNIO, 2010). Portanto, pode-se considerar que os valores obtidos para os coagulantes testados não são considerados elevados.

Para dar sequência ao estudo, no teste II (Influência do tempo de agitação rápida no processo de clarificação da água), foi selecionado o pH de melhor atuação para cada coagulante com base na avaliação dos parâmetros de potabilidade que possuem limites estabelecidos pela portaria, ou seja, turbidez e cor aparente (Quadro 1). A decisão também possui como justificativa o fato de que o parâmetro investigado COD não apresentou resultado significativo na interação coagulante (T1) e pH (T2). Salienta-se que, mesmo com a obtenção desses resultados, o parâmetro COD continuou a ser monitorado no Teste II.

Quadro 1 - Demonstração comparativa do teste I em relação ao pH que proporcionou as melhores condições de remoção de turbidez e cor aparente em relação aos coagulantes estudados.

Parâmetro avaliado	Coagulante		
	Sulfato de alumínio	Moringa	Pitaia
Turbidez	pH 3 ao 6	Qualquer pH	pH 3
Cor aparente	pH 6	Qualquer pH	pH 3

Destaca-se que a necessidade de grande ajuste de pH da água antes do tratamento é um fator que dificulta e acaba limitando a utilização do coagulante em larga escala elevando não só as questões associadas ao custo do processo, mas também as questões operacionais. Neste sentido, além da eficiência máxima, buscou-se encontrar um coagulante capaz de atuar relativamente bem na faixa natural de pH da água, faixa esta que é comumente encontrada em águas sujeitas ao tratamento para consumo humano no Brasil, como é o caso das águas da lagoa Itapeva (Tabela 1), em que o pH médio obtido para os testes foi 7,36. Por entender que, realizar um ajuste tão excessivo de pH para o coagulante pitaia (pH 3) pode dificultar seu uso comercial pela necessidade de adição de grandes quantidades de substâncias ácidas e corrosivas a fim de

baixar o pH, foi estabelecida a realização dos testes II e III também em pH natural para este coagulante.

4.3.2 Teste II – Influência do Tempo de Agitação Rápida no Processo de Clarificação da Água

Por meio do teste I pôde-se avaliar o pH de melhor atuação para cada um dos coagulantes. Utilizando o pH ideal para cada um deles, objetivou-se com este novo teste, verificar a influência do tempo de agitação rápida nos processos de coagulação e floculação para o tratamento de água da lagoa Itapeva.

A etapa de agitação rápida é responsável por promover a mistura da amostra a ser tratada com o coagulante a fim de promover a formação dos coágulos, processo conhecido como coagulação (LIBÂNIO, 2010). Portanto, buscou-se entender se o tempo de mistura dos coagulantes testados interfere no processo de coagulação e posterior floculação. A Tabela 8 mostra a influência do tempo de agitação rápida no percentual de remoção da turbidez (A), cor aparente (B) e COD (C) da água, respectivamente.

Tabela 8 - Influência do tempo de agitação rápida (T2) no percentual de remoção de turbidez (A) cor aparente (B) e Carbono Orgânico Dissolvido (C), da água bruta após utilização de diferentes coagulantes (T1). Letras minúsculas indicam diferença estatística significativa entre linhas; letras maiúsculas indicam diferença estatística significativa entre colunas. CV - Coeficiente de variação das repetições; $Pr > F_c$ - Corresponde à significância do valor F para as avaliações T2 dentro de cada nível T1 e T1 dentro de cada nível T2, pelo teste Tukey; COD - Carbono Orgânico Dissolvido.

A - Percentual de remoção da turbidez					
Tempo rápida (min)	agitação	Sulfato de alumínio (25 mg L-1) - pH6	Moringa (100 mg L-1) - pH natural	Pitaia (100 mg L-1) - pH3	Pitaia (100 mg L-1) - pH natural
Testemunha		0,00 a A	0,00 a A	0,00 a A	0,00 a A
1		97,50 b B	87,76 c B	89,74 b B	35,86 b A
4		99,34 b B	81,60 c B	94,82 b B	37,70 b A
8		99,10 b B	73,77 bc B	97,40 b B	74,62 c B
12		98,85 b B	50,02 b A	98,2 b B	88,27 c B
CV%		18,65			
			$Pr^d > F_c^e$		
T1 dentro de T2		0,001			
T2 dentro de T1		0,001			

B - Cor aparente (uH)					
Tempo rápida (min)	agitação	Sulfato de alumínio (25 mg L-1) - pH6	Moringa (100 mg L-1) - pH natural	Pitaia (100 mg L-1) - pH3	Pitaia (100 mg L-1) - pH natural
Testemunha		161,37 b A	161,37 d A	161,37 b A	161,37 c A
1		16,19 a A	39,15 a A	37,30 a A	164,70 c B
4		12,11 a A	55,45 ab B	23,22 a A	157,29 c C
8		10,26 a A	69,89 b B	17,67 a A	82,48 b B
12		12,11 a A	105,81 c C	14,33 a A	49,52 a B
CV%		15,88			
			Pr>Fc		
T1 dentro de T2		0,001			
T2 dentro de T1		0,001			
C - COD (mg L⁻¹)					
Tempo rápida (min)	agitação	Sulfato de alumínio (25mg L-1) - pH6	Moringa (100mg L-1) - pH natural	Pitaia (100mg L-1) - pH3	Pitaia (100mg L-1) - pH natural
Testemunha		6,46 c A	6,46 b A	6,46 a A	6,46 a A
1		0,90 a A	3,36 a B	4,66 a B	8,16 ab C
4		4,22 b A	5,37 ab AB	6,69 a B	8,87 b C
8		2,61 ab A	4,93 ab B	6,86 a BC	8,11 ab C
Continuação...					
12		3,09 ab A	4,54 ab AB	6,46 a BC	7,30 ab C
CV%		16,95			
			Pr>Fc		
T1 dentro de T2		0,001			
T2 dentro de T1		0,001			

Para remoção de turbidez - Tabela 8 (A) - e cor aparente - Tabela 8 (B), os coagulantes sulfato de alumínio e pitaia em pH 3 não apresentaram diferença estatística significativa ao longo dos tempos de agitação rápida testados. Com percentual de remoção de turbidez superior a 97%, o sulfato de alumínio se mostrou eficiente para todos os parâmetros avaliados em qualquer um dos quatro tempos de agitação rápida. Kan, Huang & Pan (2002) obtiveram resultados de turbidez semelhantes utilizando o PAC em seus estudos de tempos de agitação rápida (1 a 5 minutos).

Neste mesmo sentido, com percentuais de remoção de turbidez superiores a ~90%, o coagulante de pitaia em pH 3 apresentou resultado estatístico igual ao do sulfato de alumínio para turbidez e cor aparente ao longo de todos os tempos de agitação estudados, indicando boa

eficiência deste coagulante para estes parâmetros. Porém, como já comentado anteriormente no teste I, a necessidade do ajuste de pH a esse nível, além de acarretar custos para a concessionária de saneamento, traria os problemas relacionados à parte operacional de uma ETA, inviabilizando seu uso em larga escala. Contudo, para efluentes industriais que já apresentem determinada acidez, a pitaia em pH 3 pode representar uma ótima alternativa.

Ainda com relação à Tabela 8, os coagulantes de moringa e pitaia em pH natural (7,29) sofrem influência do tempo de agitação rápida para os três parâmetros estudados. Para moringa são indicados os menores tempos para os parâmetros (1 ou 4 minutos). Cardoso *et al.* (2008) verificaram resultados similares quando empregaram a moringa em pH natural (7,68), obtendo bons resultados quanto à remoção de cor e turbidez no menor tempo de agitação rápida investigado (3 minutos) e utilizando uma velocidade de 95 rpm no tratamento de água para abastecimento.

O comportamento da pitaia em pH natural (7,29) difere da moringa nas mesmas condições, enquanto para a moringa os melhores resultados para os parâmetros turbidez e cor aparente foram obtidos com o menor tempo de agitação rápida (1 ou 4 minutos para remoção de turbidez e 1 minuto para remoção de cor), para a pitaia foi necessário maior tempo de agitação rápida (8 ou 12 minutos) para atingir as melhores condições de turbidez e 12 minutos para cor aparente (Tabela 8).

A pitaia em pH 3 se igualou estatisticamente com a remoção de turbidez e cor aparente do sulfato de alumínio. De maneira geral, o tratamento com pitaia em pH natural (7,29) apresentou baixa eficiência para turbidez e cor aparente, apresentando-se mais eficiente com os maiores tempos de agitação rápida, (8 e 12 min para turbidez e 12 min para cor aparente). Essa constatação mostra que houve a necessidade de maior tempo de agitação rápida para formação de flocos com maior capacidade de sedimentação.

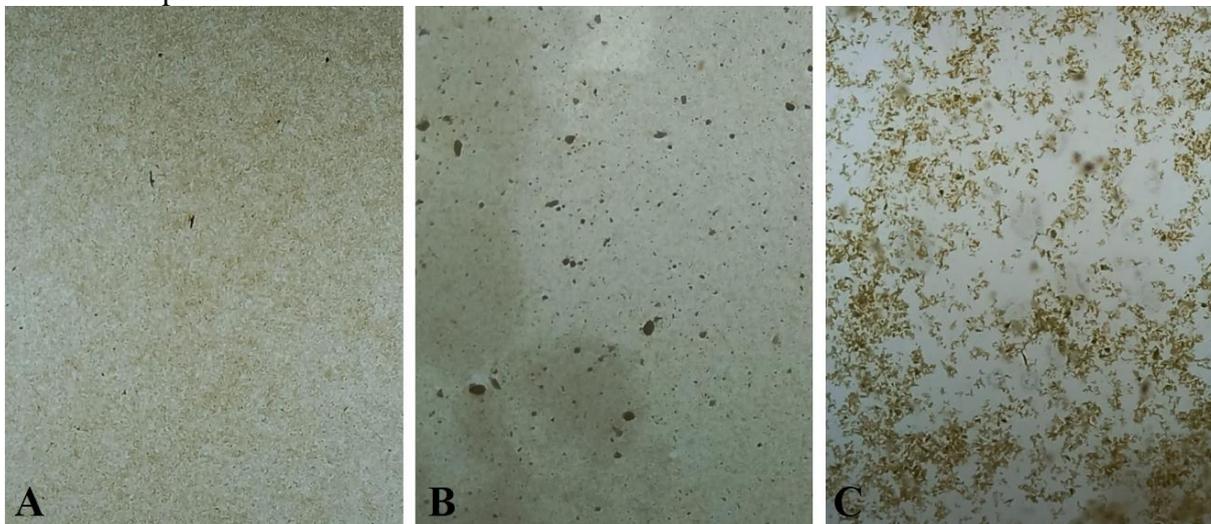
A aplicabilidade de maiores tempos de agitação rápida no âmbito de uma ETA é um fator que precisa ser avaliado, visto que podem ser necessárias adequações físicas e representar impeditivo ao uso do coagulante de pitaia em algumas estações de tratamento. Em ETAs como a da CORSAN de Torres, local de coleta das amostras, a agitação rápida é promovida pela velocidade de entrada da água no tanque de captação e, portanto, não se tem a opção de ajuste do tempo de agitação rápida. Porém, ressalta-se que o potencial da pitaia na clarificação da água não deve ser descartado, podendo ser estudada para outros usos que não seja o consumo humano, como, por exemplo, o uso agrícola ou industrial.

Quando se trata da legislação, para turbidez e cor aparente, os valores limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/ 2021 são 5 uT e 15 uH, respectivamente. O sulfato

de alumínio apresentou valores menores que 1 uT para turbidez e menores do que 4,23 uH para cor aparente nos tempos de agitação rápida avaliados, resultado considerado satisfatório. O coagulante de moringa satisfaz a legislação apenas no parâmetro turbidez, e nos tempos de agitação 1 e 4 minutos, em que os valores das leituras foram de 2,67 uT e 4,01 uT respectivamente. Já o coagulante de pitaia em pH 3 apresentou valores abaixo de 5 uT para todos os tempos testados, com os menores valores obtidos com os tempos de agitação rápida de 8 minutos (0,5 uT) e 12 minutos (0,39 uT), porém, para o parâmetro cor, apenas no tempo de agitação de 12 minutos o valor obtido (14,33 uH) esteve abaixo do previsto em lei. O coagulante de pitaia em pH natural (7,29) só apresentou resultado dentro do exigido pela referida portaria com o parâmetro turbidez utilizando um tempo de agitação rápida de 12 minutos (2,56 uT), indicando a necessidade de condição específica para sua efetividade na remoção de turbidez. Um ponto positivo ante esta constatação é a possibilidade de sua utilização na condição desejada de pH natural (7,29) para remoção de turbidez.

É possível que a necessidade de maior tempo de agitação rápida seja explicada pela estrutura dos flocos, pois, segundo Oliveira *et al.* (2015), as mudanças nas características morfológicas, tamanhos das partículas e nas distribuições de volume dos flocos estão diretamente e sensivelmente relacionadas com as mudanças nas eficiências de remoção das partículas. Apesar da caracterização morfológica e estrutural do lodo não ser um parâmetro monitorado, portanto, não discutido neste estudo, foi considerado relevante relatar a constatação observada ao longo do experimento, em que foi observado diferença visível no padrão dos flocos formados entre os coagulantes testados, conforme Figura 11. Portanto, sugere-se que, para novas aplicações do coagulante de pitaia, a avaliação e a caracterização do lodo gerado por este e os demais coagulantes testados sejam contempladas a fim de identificar fatores que possam melhorar seu desempenho.

Figura 11 - Registro fotográfico do lodo gerado após as etapas de coagulação, floculação e sedimentação com 4,3 x de aumento. a) Lodo gerado com a utilização de sulfato de alumínio; b) Lodo gerado com a utilização de semente de moringa; c) Lodo gerado com a utilização de cladódio de pitaia.



Os resultados para a quantificação do COD (Tabela 8) mostram também o melhor desempenho do sulfato de alumínio em relação aos demais coagulantes, sendo possível baixar o teor de COD de 6,46 para 0,90 mg L⁻¹ no tempo de 1 minuto. Já o coagulante de moringa mostrou-se menos eficiente, mas, mesmo assim, apresentando bom desempenho com o mesmo tempo de agitação rápida que o sulfato de alumínio (3,36 mg L⁻¹). Em terceira posição quanto à eficiência na remoção de COD aparece a pitaia em pH 3, seguidas pela pitaia em pH natural (7,29).

Ressalta-se que para a pitaia em pH 3, com exceção do tempo de 1 minuto, em que houve uma redução de COD de ~28%, não foi observada remoção significativa para os valores de COD quando comparados os tratamentos com o valor para a amostra testemunha. Para pitaia em pH natural (7,29), os valores para COD mostram-se ainda mais preocupantes, visto que, assim como já discutido no teste I, pode ser observado incremento de matéria orgânica solúvel com a utilização do pó de cladódio, observados pelo valor de COD após o tratamento (8,87 mg L⁻¹) ser maior que o valor da água bruta (6,44 mg L⁻¹).

Ainda no que diz respeito à influência do tempo de agitação rápida, os gradientes de velocidade de agitação da água proporcionam encontros entre as partículas, em que partículas com diferentes velocidades de sedimentação podem se encontrar e agregarem, formando flocos maiores (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Pode-se observar, a partir dos resultados obtidos, que os coagulantes moringa e pitaia em pH natural (7,29) possuem particularidades quanto ao tempo de agitação rápida, indicando a necessidade de adequação deste parâmetro para determinação da eficiência máxima de um coagulante.

A fim de identificar as melhores condições para cada coagulante, assim como adotado ao final do Teste I, os resultados foram organizados no Quadro 2, a seguir:

Quadro 2 - Comparativo das melhores condições de tempo de agitação rápida para as variáveis turbidez, cor aparente e COD, para os coagulantes estudados.

Parâmetro avaliado	Coagulante			
	Sulfato de alumínio - pH6	Moringa - pH natural	Pitaia - pH3	Pitaia - pH natural
Turbidez	Qualquer tempo de agitação rápida	1 ou 4 minutos	Qualquer tempo de agitação rápida	8 ou 12 minutos
Cor aparente	Qualquer tempo de agitação rápida	1 minuto	Qualquer tempo de agitação rápida	12 minutos
COD	1 minuto	1 minuto	Qualquer tempo de agitação rápida	1, 8 ou 12 minutos

Visando explorar individualmente os parâmetros ideais para cada coagulante e dar continuidade aos estudos no teste seguinte (Teste III), foram selecionadas os melhores tempos de agitação rápida constantes no Quadro 2. Para o sulfato de alumínio e moringa, o tempo de agitação rápida escolhido foi 1 minuto. Já para a pitaia em pH natural (7,29), o tempo selecionado foi 12 minutos e com objetivo de padronizar o coagulante de pitaia, no pH 3, também foi selecionado o tempo de 12 minutos visto que ela não apresentou diferença de desempenho ao longo das variáveis estudadas.

4.3.3 Teste III – Influência da Concentração do Coagulante no Processo de Clarificação da Água

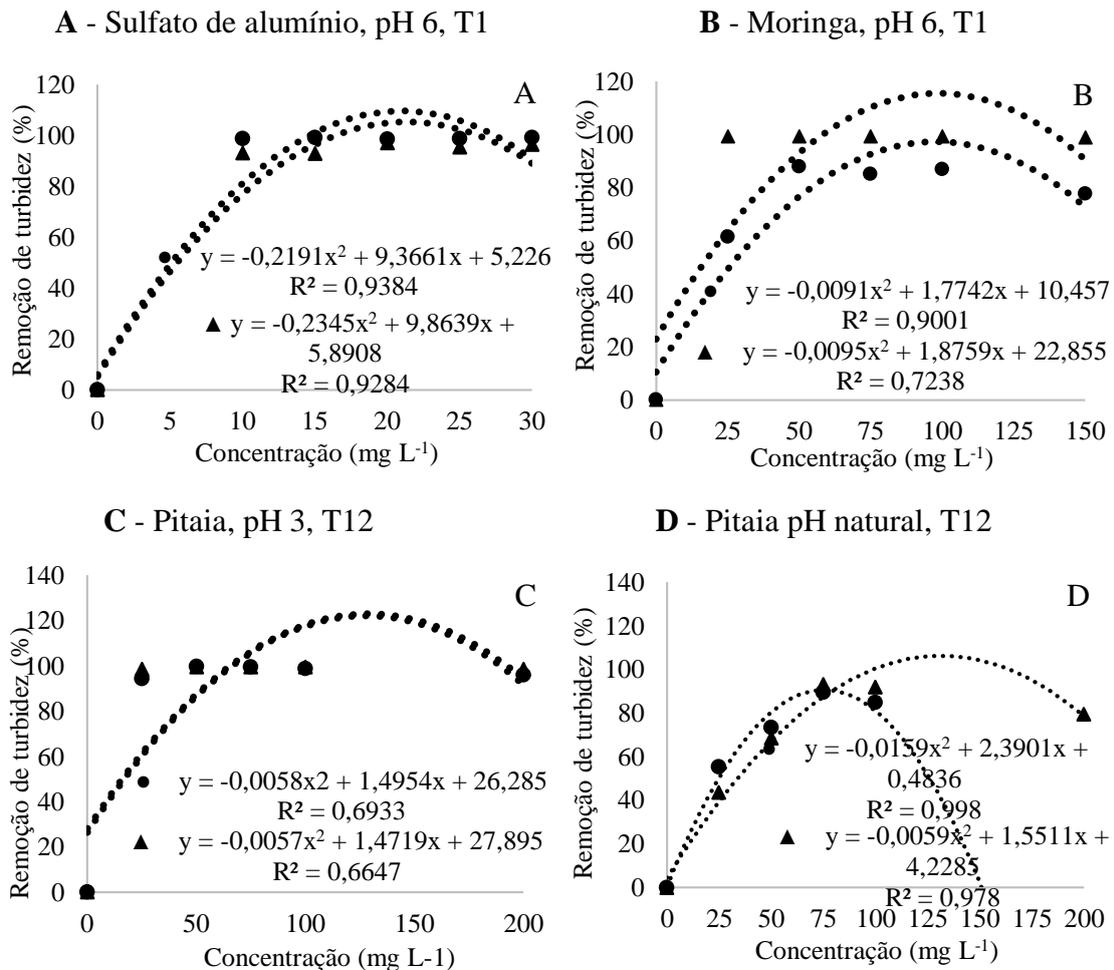
Após a identificação do pH ideal e tempo de agitação rápida para cada floculante, buscou-se com o teste III identificar a concentração (dosagem) de coagulante que apresentasse melhor desempenho nas etapas de coagulação e floculação. No tratamento de água, a coagulação é considerada a etapa principal, em que a ineficiência deste processo é responsável por gerar água de má qualidade e fora dos padrões de potabilidade exigidos (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011). As concentrações utilizadas para cada coagulante, assim como nos testes I e II, foram escolhidas com base na literatura para os coagulantes de origem vegetal (HENDRAWATI *et al.*, 2016; IDRIS *et al.*, 2012) e, para sulfato de alumínio, com base nas

concentrações comumente utilizadas pela concessionária. Ressalta-se que testes preliminares foram fundamentais para determinação do universo (concentrações) estudado.

É importante salientar que as concentrações para cada coagulante não são equivalentes, pois cada um dos coagulantes testados possui suas especificidades e o objetivo deste estudo é justamente identificar as melhores condições para cada coagulante. Dessa forma, por se tratar da avaliação de um gradiente de doses diferentes entre os coagulantes, para o teste III, realizou-se a análise de variância linear e quadrática a fim de identificar qual a equação que melhor descreve a relação dos parâmetros avaliados, remoção de turbidez anterior e após filtração, cor aparente, cor verdadeira, pH e COD, com as diferentes concentrações testadas. A representatividade dos valores é expressa pelo valor R de cada equação e indica o grau de associação entre as duas variáveis (x e y) testadas. A melhor dose de cada coagulante para cada parâmetro avaliado foi calculada pela derivada da equação do gráfico, indicando o ponto máximo e mínimo global de cada curva com sua respectiva dose.

A Figura 12 traz os resultados obtidos para o parâmetro turbidez. A avaliação das curvas representada pela referida figura mostra que para remoção de turbidez o afastamento das curvas anterior à filtração (●) e após a filtração (▲) indicam que os coagulantes vegetais de moringa e pitaia em pH natural (7,34) são mais dependentes da filtração para obtenção de melhores resultados. Isso praticamente não é observado para os coagulantes sulfato de alumínio e pitaia em pH 3. Esse mesmo comportamento pode ser observado na Tabela 9, onde os pontos máximos globais são praticamente os mesmos para os coagulantes sulfato de alumínio e pitaia em pH 3 e diferem mais quanto à concentração ideal para os coagulantes de pitaia e moringa em pH natural (7,34). Isso pode indicar a baixa remoção de partículas em suspensão, ou até mesmo a adição de compostos.

Figura 12 - Curvas com o percentual de remoção de turbidez sem filtração (●) e após filtração (▲) em função da concentração (mg L⁻¹) dos coagulantes. (A) sulfato de alumínio pH 6 e tempo de agitação rápida de 1 minuto (T1); (B) moringa em pH natural da água e tempo de agitação rápida de 1 minuto (T1); (C) pitaia em pH 3 da água e tempo de agitação rápida de 12 minutos (T12); (D) pitaia em pH natural da água e tempo de agitação rápida de 12 minutos (T12).



Para auxiliar na visualização dos resultados, os gráficos dos coagulantes utilizados foram agrupados por parâmetro avaliado. Para o coagulante sulfato de alumínio (Figura 12) é observado remoção de turbidez superior a 90% nas medições feitas realizando-se ou não a etapa de filtração apresentando, inclusive, proximidade entre as curvas. Isso pode estar relacionado tanto à solubilidade deste reagente em água e/ou a sua boa capacidade na retirada das partículas causadoras de turbidez, deixando a solução com poucas partículas para serem retiradas pela etapa de filtração. Entre as partículas causadoras de turbidez, pode ser citada argila, silte, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, compostos orgânicos solúveis coloridos, plâncton, além de outros organismos microscópicos (PARRON; MUNIZ, 2011). Os pontos

máximos globais de remoção de turbidez antes e depois da filtração utilizando o sulfato de alumínio foram obtidos com a concentração de $\sim 21,37 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 9). Vale ressaltar que, em todas as concentrações que receberam coagulante, os valores de turbidez apresentaram-se abaixo de 1,19 uT, valores bem inferiores ao limite (5 uT) de turbidez estabelecido pela portaria de potabilidade para água potável no Brasil (Tabela 2).

Tabela 9 - Ponto máximo e mínimo global da curva obtida para os coagulantes sulfato de alumínio (pH 6), moringa (pH natural), pitaia (pH 3) e pitaia (pH natural) em função das doses testadas para cada parâmetro avaliado.

	Sulfato de alumínio (pH 6)	Moringa (pH natural)	Pitaia (pH 3)	Pitaia (pH natural)
	Ponto máximo e mínimo global (mg L^{-1})			
Remoção de turbidez	21,37	93,37	128,91	75,16
Remoção de turbidez após filtração	21,03	98,73	129,11	131,44
Cor aparente	20,96	106,93	137,40	71,61
Cor Verdadeira	20,83	99,80	133,69	127,45
COD	19,32	105,00	90,66	63,00

Com a utilização de moringa, foram observados alguns valores para remoção de turbidez abaixo de 90% sem submeter a amostra à etapa de filtração. Para este coagulante, a concentração de $93,37 \text{ mg L}^{-1}$ foi calculada como sendo o ponto máximo global de remoção (Tabela 9). A partir desta concentração observou-se menor eficiência na remoção da turbidez da água. Hendrawati *et al.* (2016) identificaram que a concentração de 100 mg L^{-1} foi a que apresentou o melhor resultado para os parâmetros turbidez e pH para águas residuais. Com exceção da concentração 25 mg L^{-1} , as demais concentrações (50 a 100 mg L^{-1}) evidenciaram valores abaixo do limite máximo previsto em lei, estando abaixo de 2,6 uT sem a filtração e abaixo de 0,14 uT com a filtração, mostrando grande potencial para este parâmetro.

Já com o uso do coagulante natural de pitaia pôde-se observar que em condições de pH ácido (pH 3) foi apresentado desempenho semelhante ao coagulante sulfato de alumínio (pH 6). As remoções foram superiores a 90% independente da etapa de filtração. Ao ser empregada a concentração de 50 mg L^{-1} na solução sem filtração, foi possível obter uma remoção de 99,49% e leitura de 0,09 uT. O ponto máximo global, calculado pela equação do gráfico da pitaia em condições ácidas, foi manifestado com a concentração de $128,91 \text{ mg L}^{-1}$ sem a filtração e $129,11 \text{ mg L}^{-1}$ com a filtração. Vale salientar que as leituras de turbidez ficaram todas

abaixo de 1 uT, independente da filtração, assim como o tratamento utilizando o sulfato de alumínio (pH 6).

Quando utilizado em pH natural (7,34) o coagulante de pitaia, notou-se que em concentrações superiores a 75,16 mg L⁻¹ (ponto máximo global da equação do gráfico), ocorre redução da remoção de turbidez até chegar ao ponto de não ocorrer nenhuma redução, observado com a concentração de 150 mg L⁻¹. Esse comportamento pode ser interpretado como sendo causado possivelmente pelo incremento da turbidez, mostrando que existe um ponto em que a adição de coagulante passa a ter efeito reverso. Este incremento de turbidez pode estar relacionado com o incremento de COD observados na Figura 15, posteriormente discutida, representando adição de compostos orgânicos na fração solúvel.

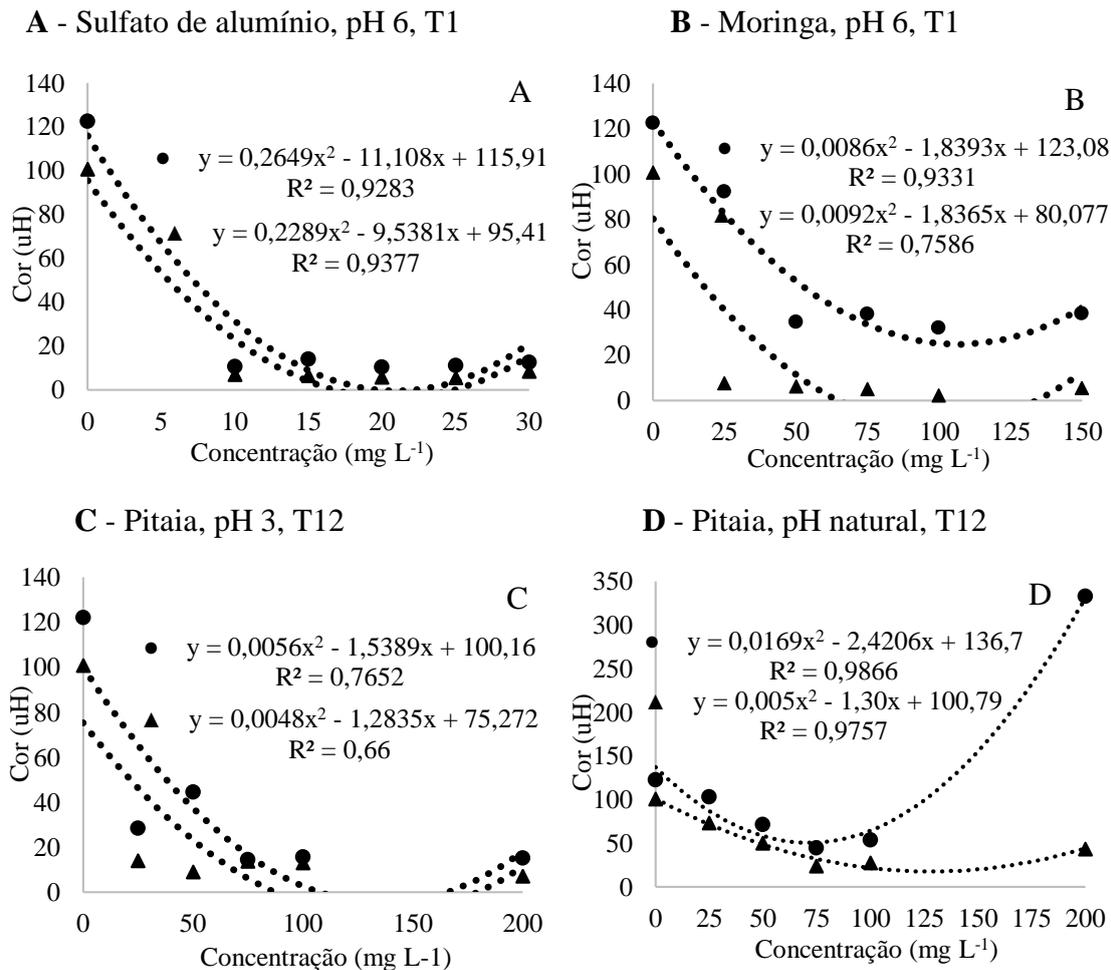
É importante salientar novamente que, durante a execução dos testes, a pitaia em pH natural (7,34) foi o tratamento que apresentou maiores dificuldades para execução da etapa de filtração, possivelmente devido à ineficiência em remover compostos orgânicos insolúveis ou devido ao incremento de material orgânico não solúvel, parâmetro não monitorado neste estudo. A obtenção de melhores valores de turbidez após a filtração pode indicar ineficiência do coagulante em remover a fração insolúvel, que posteriormente é retirada pelo filtro. Ressalta-se, portanto, que para obter dados comprobatórios seria necessário o monitoramento de todas as frações do carbono nos estudos utilizando o cladódio de pitaia.

Das quatro diferentes condições utilizadas, a pitaia em pH natural (7,34) apresentou, de maneira geral, desempenho inferior às demais condições testadas. Apesar disso, nas concentrações 50, 75 e 100 mg L⁻¹ os valores de turbidez foram respectivamente 4,45, 1,75 e 2,55 uT, os quais correspondem ao percentual de remoção de 73, 89 e 85% (sem realizar a filtração da solução). Pode-se afirmar que, neste intervalo de concentrações, os valores de turbidez encontram-se compatíveis com o limite previsto na legislação para águas cujo uso será o consumo humano, ou seja, 5 uT. Destaca-se que, após a filtração, os valores obtidos para todas as doses apresentam-se acima de 98,76% de remoção de turbidez, valores que indicam alta eficiência de remoção de turbidez quando associada à filtração.

Após a avaliação inicial do parâmetro turbidez, diante da alteração da concentração dos coagulantes, os parâmetros cor aparente e cor verdadeira foram então avaliados. Os resultados são encontrados na Figura 13. Nesta Figura, nota-se que os valores de cor aparente e de cor verdadeira, com a utilização do coagulante sulfato de alumínio, foram todas abaixo de 14 uH, ou seja, todas as concentrações abaixo do limite máximo permitido pela legislação para cor aparente (uH). A concentração calculada pelo ponto mínimo global da equação do gráfico foi

de 20,96 mg L⁻¹ para cor aparente e 20,83 mg L⁻¹ para cor verdadeira (Tabela 9), prevendo remoção total da cor, como pode ser observado na figura 13.

Figura 13 - Curvas dos parâmetros cor aparente (●) e cor verdadeira (▲) em função da concentração (mg L⁻¹) dos coagulantes. (A) sulfato de alumínio pH 6 e tempo de agitação rápida de 1 minuto (T1); (B) moringa em pH natural da água e tempo de agitação rápida de 1 minuto (T1); (C) pitaia em pH 3 da água e tempo de agitação rápida de 12 minutos (T12); (D) pitaia em pH natural da água e tempo de agitação rápida de 12 minutos (T12).



A moringa apresentou desempenho inferior ao apresentado para o sulfato de alumínio, sendo 32,11 uH o menor valor encontrado para cor aparente quando a concentração de 100 mg L⁻¹ foi utilizada, valor acima do permitido (32,11 uH). Após a filtração, correspondente a cor verdadeira, o menor valor encontrado foi 2,11 uH, também com a concentração de 100 mg L⁻¹, tendendo a remoção total da cor aparente, corroborando com os resultados de Cardoso *et al.* (2008). Esses autores afirmam que a utilização da semente de moringa tem potencial para ser utilizada como coagulante no tratamento de água potável substituindo o tratamento

convencional, sendo importante acrescentar a etapa de filtração e desinfecção da água para que os parâmetros de qualidade se mantenham sempre abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação vigente.

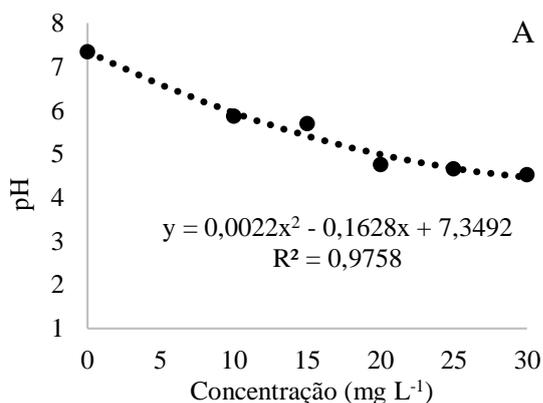
A avaliação para o coagulante de pitaia em condições de águas ácidas (pH 3) e cor aparente inicial de 122,48 uH mostram que as concentrações que apresentaram valores próximos a 15 uH (valor limite) foram as concentrações de 75, 100 e 200 mg L⁻¹, com valores de 14,33, 15,44 e 15,07 uH, respectivamente. A concentração calculada como sendo a concentração capaz de expressar o menor valor de cor aparente (ponto mínimo global) do gráfico aponta 137,40 mg L⁻¹. A curva de tendência para a condição utilizada para a pitaia mostra também a previsão de remoção total de cor. Importante ressaltar que a realização de testes com concentração entre o intervalo de 100 e 200 mg L⁻¹, não testados neste experimento, podem fornecer dados mais completos a respeito desse parâmetro. Para cor verdadeira, todos os valores encontram-se menores que 14 uH.

Em condições em pH da água natural da pitaia, o desempenho para o parâmetro cor não foi adequado, comportamento que já vinha sendo observado nas demais otimizações. O menor valor de cor aparente foi 44 uH, obtido com a concentração de 75 mg L⁻¹, ~3 vezes maior que o limite estabelecido para o parâmetro na Portaria (15 uH). Para cor aparente foi observado o mesmo padrão relatado para turbidez, ou seja, houve incremento de cor ao se utilizar concentrações maiores que 72,10 mg L⁻¹, ponto mínimo global do gráfico. Relembrando que para turbidez a dose limite caracterizada pelo ponto máximo global foi 75 mg L⁻¹, o que se leva a refletir que, para a água da lagoa Itapeva, não são indicadas doses acima de 75 mg L⁻¹ para os parâmetros turbidez e cor. Para cor verdadeira o menor valor obtido foi 23,59 uH também com a dose de 75 mg L⁻¹.

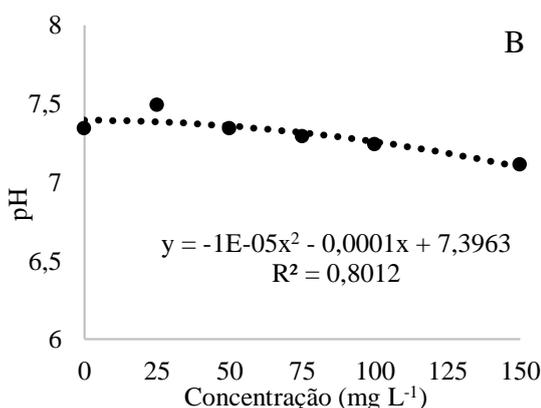
No estudo da influência da concentração dos coagulantes sob os parâmetros cor aparente e cor verdadeira, as variações no parâmetro pH foram avaliadas, conforme se pode observar na Figura 14.

Figura 14 - Curvas obtidas para o parâmetro pH final da água, em função da concentração (mg L⁻¹) dos coagulantes. (A) sulfato de alumínio pH 6 e tempo de agitação rápida de 1 minuto (T1); (B) moringa em pH natural da água e tempo de agitação rápida de 1 minuto (T1); (C) pitaia em pH 3 da água e tempo de agitação rápida de 12 minutos (T12); (D) e pitaia em pH natural da água e tempo de agitação rápida de 12 minutos (T12).

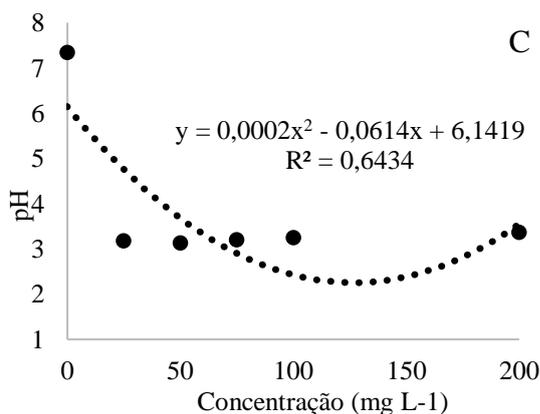
A - Sulfato de alumínio, pH 6, T1



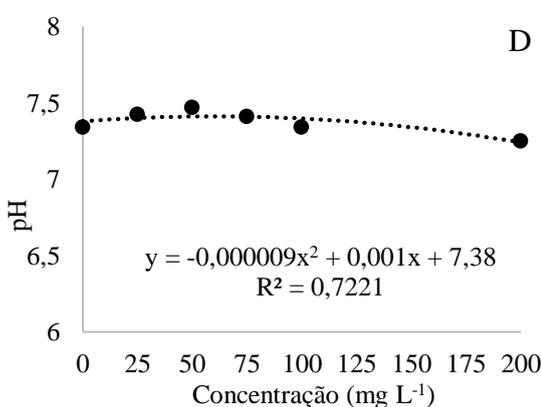
B - Moringa, pH 6, T1



C - Pitaia, pH 3, T12



D - Pitaia pH natural, T12



Como mencionado anteriormente, a dissociação do sulfato de alumínio em água ocorre imediatamente e no decorrer da hidrólise são formados íons H⁺ que tornam a solução ácida (ARAÚJO, 2021). O pH inicial 7,4 da água bruta foi ajustado para 6 antes da aplicação do tratamento e passou para 4,51 com a utilização da concentração de 30 mg L⁻¹ de sulfato de alumínio, maior concentração testada no estudo. Vale ressaltar que, para qualquer uma dessas doses de sulfato de alumínio testadas seria necessária a adequação do pH da água antes da distribuição para o consumo humano, caso o tratamento fosse utilizado em uma ETA, a fim de atender os limites da legislação que prevê pH na faixa entre 6 e 9 para água potável (BRASIL, 2017). A correlação é que cada mg L⁻¹ de sulfato de alumínio reduz a alcalinidade da água em 0,50 mg/L produzindo 0,44 mg L⁻¹ de dióxido de carbono (VIESSMAN; HAMMER, 2004).

Esse é um fator considerado um contraponto negativo ao uso de sulfato de alumínio em ETA, visto que nas condições testadas é necessário ajuste de pH antes e após o tratamento da água.

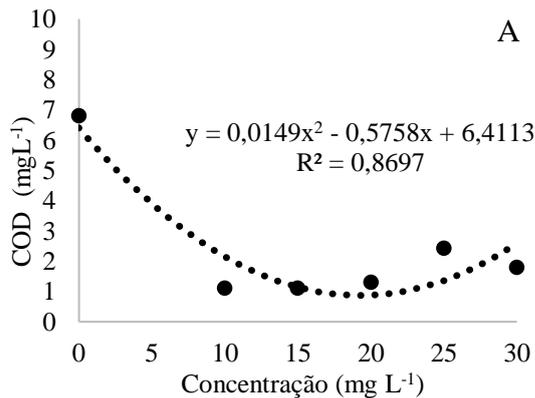
Para o coagulante de moringa, a redução de pH é pouco significativa passando de 7,4 para 7,1 com a concentração máxima testada, ou seja, 150 mg L⁻¹. Michelan *et al.* (2021) observaram que o uso do coagulante de moringa no tratamento de água do rio Poxin, em Aracaju, não promoveu variação insignificativa de pH em relação aos valores da água bruta utilizando-se concentrações de 100 a 400 mg L⁻¹.

Para o tratamento pitaia, com água previamente ajustada em pH 3, não é verificado diferença considerável ao longo das concentrações testadas, em que o ponto mínimo de pH medido foi 3,17 e máximo de 3,36. O mesmo pode ser afirmado para o tratamento com utilização de pitaia aplicada em água com pH natural (7,34), onde o valor mínimo de pH foi 7,25 e máximo de 7,47. Vale ressaltar que, para o tratamento pitaia em pH 3 em uma ETA, após a utilização do coagulante seria necessário realizar a correção do pH antes e após o tratamento da água a fim de atender os parâmetros exigidos na legislação (pH entre 6 e 9), assim como no caso do sulfato de alumínio.

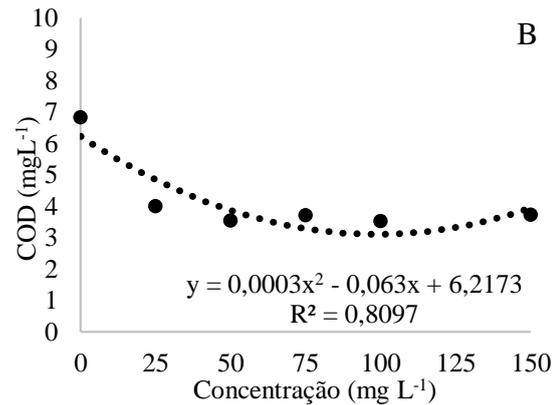
O último parâmetro avaliado (Figura 15), assim como nos outros dois testes realizados até este ponto, foi a influência da variação das concentrações dos coagulantes sob o parâmetro COD, que indica o teor de matéria orgânica solúvel na água.

Figura 15 - Curvas do parâmetro Carbono Orgânico Dissolvido, em função da concentração (mg L⁻¹) dos coagulantes. (A) sulfato de alumínio pH 6 e tempo de agitação rápida de 1 minuto (T1); (B) moringa em pH natural da água e tempo de agitação rápida de 1 minuto (T1); (C) pitaia em pH 3 da água e tempo de agitação rápida de 12 minuto (T12) e (D) pitaia em pH natural da água e tempo de agitação rápida de 12 minutos (T12).

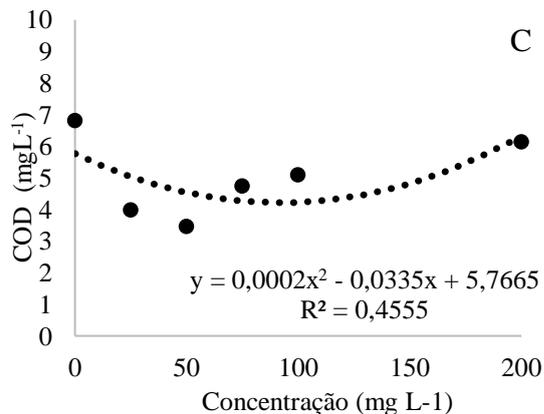
A - Sulfato de alumínio, pH 6, T1



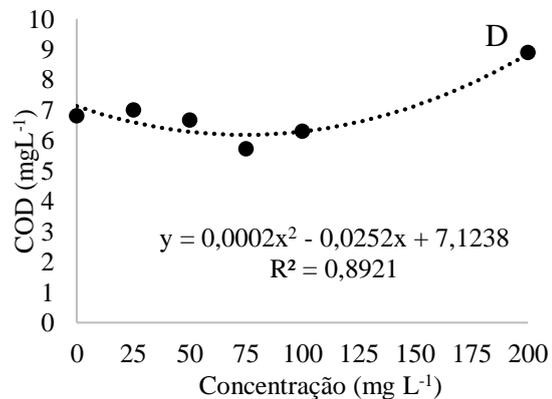
B - Moringa, pH 6, T1



C - Pitaia, pH 3, T12



D - Pitaia, pH natural, T12



Para o coagulante sulfato de alumínio em pH 6 da água, foi considerada a pior concentração a de 25 mg L⁻¹, apresentando o maior valor para COD dentre as concentrações testadas (2,42 mg L⁻¹). O valor inicial da água bruta foi de 6,8 mg L⁻¹. Vale destacar que todos os agentes químicos de coagulação, como o sulfato de alumínio, consomem alcalinidade, portanto, o tratamento deve ser feito também utilizando cal ou outro químico de caráter básico para corrigir o pH da água (SOUSA, 2015).

Não menos importante, o residual do alumínio deixado na água e no lodo é um dos principais fatores para se continuar a busca por um coagulante eficiente e biodegradável para o tratamento de água. A utilização de agentes coagulantes tradicionais, à base de sais inorgânicos metálicos, requer rígido controle sobre o residual de metais (alumínio, ferro,...) na água tratada

destinada ao consumo humano, bem como do lodo gerado durante o processo de coagulação, que acaba retornando à natureza (BONGIOVANI *et al.*, 2010). Com intuito de prevenir a população de exposições a níveis do metal que possam não ser seguras à saúde, ao final do tratamento de água para consumo humano, a concentração de alumínio na água não pode exceder $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ (BRASIL, 2011).

Com o uso da moringa foi possível obter o valor mínimo de COD de $3,51 \text{ mg L}^{-1}$ e o máximo $3,99 \text{ mg L}^{-1}$, podendo-se afirmar que a moringa foi capaz de reduzir quase pela metade do valor de COD da água (valor inicial $6,8 \text{ mg L}^{-1}$). O ponto mínimo global calculado pela equação do gráfico corresponde à concentração de 105 mg L^{-1} para água da lagoa Itapeva nas condições testadas. A concentração ideal de moringa no processo de coagulação também sofre influência das características iniciais da água, sendo necessárias concentrações maiores para água com maior carga de poluição (HENDRAWATI *et al.*, 2016). Ao contrário do relatado por Baptista *et al.* (2017), não foi observado aumento da carga orgânica no que diz respeito à fração solúvel ao longo das doses testadas.

A utilização da pitaia em condições ácidas (pH 3) mostra seu melhor desempenho com a concentração de 50 mg L^{-1} (Figura 15c), com valor de COD de $3,45 \text{ mg L}^{-1}$, reduzindo para aproximadamente a metade do valor inicial da água bruta ($6,8 \text{ mg L}^{-1}$). Na concentração máxima testada de coagulante (200 mg L^{-1}) foi obtido o valor de COD ($6,13 \text{ mg L}^{-1}$) bem próximo do valor inicial, indicando que não é interessante o estudo de doses maiores nessas condições para a água da lagoa Itapeva nas condições testadas.

O coagulante de pitaia em pH natural da água (7,34), (Figura 15d) apresentou os maiores valores para COD dentre os coagulantes testados, com o valor mínimo de $5,71 \text{ mg L}^{-1}$ (concentração de 75 mg L^{-1}) e máximo de 8,87, superior à quantidade inicial de COD da água ($6,8 \text{ mg L}^{-1}$), indicando, portanto, incremento de matéria orgânica com a concentração de 200 mg/L^{-1} . A concentração de 63 mg L^{-1} foi calculada pela derivada do gráfico como ponto de expressão mínima (mínimo global) de COD, sendo, portanto, indicada como melhor concentração para esse parâmetro (Tabela 9). Esse incremento de COD vem sendo observado e discutido ao longo dos testes I e II.

Com intuito de relacionar os resultados obtidos com o contexto legal que envolve os parâmetros turbidez e cor aparente para os coagulantes testados no tratamento da água para consumo humano, foi organizada uma tabela identificando as melhores condições obtidas para cada coagulante investigado neste estudo (Tabela 10).

Tabela 10 - Avaliação dos melhores valores obtidos para os parâmetros remoção de turbidez antes e após filtração, cor aparente, cor verdadeira e COD, em relação aos valores máximos permitido previstos na Portaria GM/MS 888/21 para os parâmetros normatizados turbidez e cor aparente. VMP^a - Valor Máximo Permitido, Portaria GM/MS n° 888/21.

Parâmetros avaliados	Sulfato de alumínio (pH 6)	Moringa (pH natural)	Pitaia (pH 3)	Pitaia (pH natural)	VMP ^a
Melhor condição obtida					
Turbidez (uT)	0,59	2,04	0,09	1,75	5 uT
Turbidez após filtragem (uT)	0,09	0,07	0,07	0,81	-
Cor aparente (uH)	10,25	32,11	14,33	44,33	15 uH
Cor verdadeira (uH)	5,44	2,11	8,78	23,59	-
COD (mg L ⁻¹)	1,1	3,51	3,45	5,71	-

Pode-se observar na Tabela 10 que, em condições adequadas para atuação de um coagulante nas ETAs, ou seja, em pH natural da água (7,34), os coagulantes de moringa com tempo de agitação rápida de 1 minuto e de pitaia com tempo de agitação rápida de 12 minutos, são capazes de satisfazer a legislação no que diz respeito à turbidez. Porém, para águas em que se tem a necessidade de remoção de cor, como é o caso da lagoa Itapeva (apresentou valor médio de 122,48 uH no teste III), pode-se afirmar que nas condições estudadas de pH, tempo de agitação rápida e concentrações, os coagulantes em pH natural (pitaia e moringa) não satisfizeram a exigência legal.

Apesar do limite do parâmetro cor aparente não ser atendido com o uso dos coagulantes vegetais em pH natural (moringa e pitaia), a remoção de cor e turbidez é evidente, portanto, a utilização destes coagulantes apresenta potencial de clarificação da água. Fica evidente que, após realizar a filtração (não consta limite na portaria), pode-se observar boa eficiência na remoção de turbidez e cor verdadeira, indicando que os coagulantes vegetais em pH natural (7,34) apresentam potencial para serem utilizados como coagulantes, devendo, porém, ser estudados para outros usos menos restritivos que o consumo humano.

O coagulante pitaia em pH 3 satisfaz a legislação nos parâmetros turbidez e cor aparente, mas fica a indagação quanto à aplicabilidade de ajustes de pH tão intenso. Ressalta-se que isso representa um incremento de custo quando se pensa em grande escala como é o caso de uma ETA. Apesar do COD ainda não ser um parâmetro normatizado, conforme já citado, a ineficiência na remoção de matéria orgânica pode representar problemas visto que os ácidos fúlvicos, biomassa de algas e cianobactérias, após o processo de cloração, constituem-se importantes precursores da formação dos THM, compostos com potencial prejudicial à saúde humana (LIBÂNIO, 2010).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PREVISÕES FUTURAS

Após a finalização deste importante trabalho fica evidenciado que o ajuste do pH da água afeta as etapas de coagulação e floculação tanto para o coagulante comercial sulfato de alumínio quanto para o coagulante de origem vegetal pitaia, sendo este um fator primordial na avaliação de seu desempenho. Para o sulfato de alumínio, o pH ideal de atuação no tratamento da água foi identificado como sendo pH6 e, para a pitaia a melhor condição de atuação foi identificada em pH 3. Por sua vez, a moringa não apresentou especificidade quanto ao pH da água, ou seja, apresenta uma ampla faixa de atuação.

O tempo de agitação rápida apresentou-se como um fator determinante na eficiência dos coagulantes naturais moringa e pitaia em condições de pH natural (básico) da água. Observou-se que a coagulante moringa necessitou de um tempo de 1 minuto nesta etapa e, o coagulante de pitaia precisou um tempo relativamente maior, ou seja, 12 minutos.

O aumento do desempenho dos coagulantes foi observado quando a determinação da concentração dos coagulantes foi investigada. Neste estudo, observou-se que cada parâmetro avaliado (turbidez, turbidez após filtração, cor aparente, cor verdadeira e COD) apresentou uma dosagem específica, e é a avaliação das condições iniciais da água bruta a ser tratada que vai determinar qual parâmetro deve ser priorizado na hora da escolha da dose a ser empregada

O sulfato de alumínio apresentou o melhor desempenho para remoção de turbidez inicial, cor aparente e COD, apresentando como ponto negativo a necessidade de ajuste de pH anterior e posterior à etapa de coagulação e floculação, tornando mais onerosa a sua utilização em uma ETA. Mesmo ponto negativo observado para pitaia em pH 3 da água. Em relação a essa última constatação, acredita-se que a utilização de pitaia seja uma opção adequada para efluentes originados em processos ácidos, visto que seu desempenho é notadamente superior nessas condições.

Apesar de evidenciar potencial como coagulante e ter a vantagem de não necessitar de ajuste prévio de pH da água (antes e após o tratamento da água), a pitaia em pH natural apresentou desempenho inferior aos coagulantes testados. Entretanto, a capacidade na remoção de turbidez foi considerada adequada na condição de 12 minutos de agitação rápida. Utilizando tais condições, os valores obtidos ficaram abaixo do limite previsto na legislação com as doses de 50, 75 e 110 mg L⁻¹. Porém, para o parâmetro cor aparente, não foram obtidos valores abaixo pelo preconizado pela legislação relacionada à potabilidade.

Mesmo assim, seu uso deve ser avaliado em águas em que não se tenha grande necessidade de ajuste de cor aparente. Neste sentido, ressalta-se que quando a etapa de filtração

foi adicionada, a pitaia em pH natural apresentou resultados consideravelmente melhores e, apesar desses parâmetros (cor verdadeira e turbidez após a filtração) não serem normatizados para água potável, demonstram a capacidade da pitaia atuar na clarificação da água nestas condições. Demonstram, também, que a etapa de filtração potencializa esta ação podendo, dessa forma, apresentar aplicabilidade para outros fins.

A moringa em pH natural apresentou-se da mesma forma que a pitaia nesta condição, com um bom potencial para ser utilizada na remoção de turbidez, porém, com limitações em atender os valores legais para o parâmetro cor aparente. Este coagulante pode apresentar bom desempenho em condições em que a água tenha menor necessidade de remoção de cor aparente. A condição de pH natural também favorece seu uso em uma ETA por não requerer ajuste prévio de pH antes do tratamento da água. Quando a etapa de filtração é adicionada, seu desempenho melhora consideravelmente (cor verdadeira e turbidez final após filtração).

Para o parâmetro COD, a pitaia em pH 3 apresentou melhor desempenho dentre os coagulantes vegetais, reduzindo quase pela metade o seu valor inicial, semelhante ao observado pela moringa em pH natural. Já para o coagulante pitaia em pH natural, foi observado baixa efetividade na remoção de COD.

Após essas considerações específicas, pode-se afirmar que foi construído um caminho consistente na identificação das melhores condições de pH, tempo de agitação rápida e concentração dos coagulantes estudados. Apesar disso, outros fatores ainda podem potencializar a atuação dessas substâncias no tratamento de água, entre elas, o tempo de agitação lenta, a velocidade das etapas de agitação rápida e lenta e o tempo de sedimentação, parâmetros estes que devem ser estudados e correlacionados com a caracterização morfológica dos flocos formados.

Sobretudo, é elencada como primordial a execução de novos testes no que diz respeito ao modo de preparo dos coagulantes naturais, os quais podem ser por diluição e/ou extração de compostos com intuito de reduzir a carga de compostos não promotores de coagulação e que possam estar atrapalhando o processo. Ao realizar a semipurificação/purificação dos compostos ativos da coagulação, ao invés de utilizar diretamente o pó, estes compostos podem ser eliminados. Alternativa seria a associação entre os coagulantes vegetais e os coagulantes convencionais químicos, o que poderia diminuir a concentração utilizada e, conseqüentemente, o residual de alumínio deixado na água e no lodo pelos coagulantes químicos. Outra opção seria a utilização de cal após o uso de coagulantes vegetais, não com intuito de corrigir pH, mas a fim de melhorar a eficiência na clarificação da água.

6 PRODUTOS TÉCNICOS

De forma resumida, esta dissertação “Eficiência dos coagulantes vegetais pitaia (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt) no tratamento de água para consumo humano”, da linha de pesquisa Tecnologias Sustentáveis para o Desenvolvimento, gerou alguns produtos já executados, sendo dois classificados como produto de comunicação e como tecnologia social, conforme Quadro 3. Ressalta-se que os produtos foram classificados com base em documento norteador da CAPES para produções técnicas (CAPES, 2019). Serão abordados, posteriormente, todos os detalhes sobre cada um dos quatro produtos acima citados.

Quadro 3. Produtos gerados pela dissertação intitulada “Eficiência dos coagulantes vegetais pitaia (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt) no tratamento de água para consumo humano”.

Título do produto	Classificação Capes	Onde está depositado
Entrevista na Rádio Comunidade FM intitulada “Uso de vegetais para tratamento de água: pitaia e moringa”	Produto de comunicação	<p>Concluído e disponível nos seguintes veículos de comunicação: Facebook e Spotify conforme links a seguir:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- https://www.facebook.com/101837858204257/photos/a.102725508115492/545713763816662/ 2- https://anchor.fm/carlos-padilha6/episodes/FALA-SERRANO-08-06-22-Uso-de-vegetais-para-tratamento-de-gua--Pitaya-e-Moringa-mili-Borges-Carlos-e1kusv6/a-a87104k 3- https://open.spotify.com/episode/6e1y7cbnsFtY8EMPHpHKNI?si=zoOgwwHhSim100YuwpK-Sw 4- https://open.spotify.com/episode/6e1y7cbnsFtY8EMPHpHKNI?si=UTwO12F6RAObJjDtnqJMAw
Oficina realizada para alunos do Ensino Médio do Instituto Federal Catarinense (IFC) intitulada “Tratamento de água para consumo humano”	Produto de comunicação	<p>Concluído e disponível em breve nos seguintes veículos de comunicação: Site Institucional, Facebook e Spotify conforme links a seguir:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- https://proppg.uergs.edu.br/mestrados/ppgas 2- https://www.instagram.com/ppgasuergs/ 3- https://www.facebook.com/ppgasuergs.
Cartilha informativa intitulada “Tratamento de água usando plantas”	Tecnologia social	<p>Concluído e disponível em breve nos seguintes veículos de comunicação: Site Institucional, Facebook e Spotify conforme links a seguir:</p> <ol style="list-style-type: none"> 4- https://proppg.uergs.edu.br/mestrados/ppgas 5- https://www.instagram.com/ppgasuergs/ <p>https://www.facebook.com/ppgasuergs.</p>

6.1 PRODUTO 1 – PRODUTO DE COMUNICAÇÃO – ENTREVISTA NA RÁDIO COMUNIDADE FM 87.9, PROGRAMA “FALA SERRANO”

Figura 16 - Encarte de divulgação da entrevista intitulada “Uso de vegetais para tratamento de água: pitaya e moringa”.

Uso de vegetais para tratamento de água: Pitaya e Moringa

08.06 / 11 h
 Êmili Borges Carlos
 Mestranda PPGAS – Uergs (Unidade Hortênsias)

Acompanhe a entrevista pela Rádio Comunidade 87.9 FM ou pela internet
<http://comunidadefm.caster.fm>

GANECO
 LABORATÓRIO DE GESTÃO AMBIENTAL E NEGOCIAÇÃO DE CONFLITOS

Uergs
 Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

RÁDIO COMUNIDADE
 87,9 FM

FALA SERRANO

- **Definição**

A atividade com caráter de divulgação teve como objetivo apresentar para população, especialmente aos moradores do município de São Francisco de Paula e cidades vizinhas, a problematização que envolve o tratamento de água para consumo humano, bem como os principais objetivos e resultados obtidos no desenvolvimento da Dissertação. A entrevista também objetivou abordar a atuação da Universidade Estadual do Rio grande do Sul (UERGS) junto ao Programa de Pós-graduação em Ambiente e Sustentabilidade- PPGAS, em convênio com o Instituto Federal Catarinense.

- **Descrição do produto**

Intitulada “Uso de vegetais para tratamento de água: pitaya e moringa”, a entrevista na rádio Comunidade 87,9 FM (<http://comunidadefm.caster.fm>), foi realizada no dia 8 de junho de 2022 durante o programa Fala Serrano com o radialista Carlos Adriane Padilha. A entrevista se deu a partir de transmissão *online* via chamada por aplicativo WhatsApp,

com início às 11 horas da manhã, duração de aproximadamente 30 minutos. O espaço na mídia permitiu por meio de linguagem informal, levar até aos ouvintes os resultados do estudo realizado com o objetivo de testar plantas (moringa e pitaia) como substitutas ao tratamento convencional de água, atualmente realizado com uso de produtos químicos.

- **Avanços tecnológicos/grau de novidade**

Devido aos diversos questionamentos recebidos pelo canal da rádio no dia da entrevista, pode se dizer que especialmente para a população ouvinte, o uso de coagulantes de origem vegetal foi certamente um assunto novo e de extrema relevância, uma vez que, um número razoável de famílias ainda não possui acesso a uma água de qualidade, especialmente as comunidades situadas na zona rural.

- **O produto de comunicação é resultado do trabalho realizado pelo PPGAS?**

Sim.

- **Autorias**

Docente Autor: Dra. Suzana Frighetto Ferrarini, orientadora e docente permanente do PPGAS/UERGS e Dr. Airton Luiz Bortulizzi, coorientador e professor permanente do IFC.

Discente Autor: Mestranda Êmili Borges Carlos, Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade (PPGAS/UERGS).

Radialista: Carlos Adriane Padilha, graduando Bacharelado em Gestão Ambiental/UERGS

- **Conexão com a pesquisa**

Apesar da atividade utilizar linguagem menos técnica, está completamente relacionada com a pesquisa realizada, visto que o espaço na rádio permitiu descrever os testes realizados e a problemática sobre o tratamento convencional de água. Além disso, permitiu uma aproximação com os verdadeiros beneficiários da metodologia desenvolvida neste trabalho, ou seja, a população.

- **Relacione os artigos publicados apenas em periódicos que estão correlacionados a este produto de comunicação**

Título pretendido: Eficiência dos coagulantes vegetais pitaia (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt) e moringa (*Moringa oleífera* Lam.) no tratamento de água para consumo humano.

Periódico pleiteado: Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Qualis Capes A3 (Área Interdisciplinar).

- **Situação atual do produto de comunicação**

Concluído e disponível nos seguintes veículos de comunicação: Facebook e Spotify conforme links a seguir:

5. <https://www.facebook.com/101837858204257/photos/a.102725508115492/545713763816662/>
6. <https://anchor.fm/carlos-padilha6/episodes/FALA-SERRANO-08-06-22-Uso-de-vegetais-para-tratamento-de-gua--Pitaya-e-Moringa-mili-Borges-Carlos-e-1kusv6/a-a87l04k>
7. <https://open.spotify.com/episode/6e1y7cbsnFtY8EMPHpHKNI?si=zoOgwvHhSim100YuwK-Sw>
8. <https://open.spotify.com/episode/6e1y7cbsnFtY8EMPHpHKNI?si=UTwO12F6RAObJjDtnqJMAw>

- **Recursos e vínculos do produto de comunicação**

A entrevista foi realizada por meio da internet, não representando assim, nenhum custo com deslocamento.

- **Aplicabilidade do produto de comunicação**

Esse tipo de produto é de fácil execução e grande abrangência, sendo considerado uma ferramenta crucial para levar até a sociedade as inovações geradas no âmbito de uma universidade.

- **Descrição da abrangência potencial**

Tendo em vista que o rádio é um veículo de comunicação de grande abrangência, pode se dizer que por meio desta ferramenta é possível atingir diversos públicos e levar a

informação para um maior número de pessoas que não tem acesso a comunidade acadêmica.

- **Documentos anexados**

Não há.

- **Conexão com a produção científica**

Apesar do público-alvo ser diferente da comunidade científica, para quem se destina a produção científica, existe uma correlação indireta entre essa atividade visto que foram relatados de maneira acessível alguns resultados do artigo científico “Eficiência dos coagulantes vegetais pitaia (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt) e moringa (*Moringa oleífera* Lam.) no tratamento de água para consumo humano”.

6.2 PRODUTO 2 – PRODUTO DE COMUNICAÇÃO - OFICINA

- **Oficina: tratamento da água**

Figura 17 - Encarte de divulgação da Semana do Meio Ambiente, onde ocorreu a oficina intitulada “Tratamento da água”.

Semana do Meio Ambiente

Período de inscrição: **07 a 15 de junho de 2022**

Forma: **Via Sigaa**

Segunda-Feira (20/06)		Quarta-Feira (22/06)		Sexta-Feira (24/06)	
Horário	Atividades	Horário	Atividades	Horário	Atividades
10:00 às 10:15	Abertura do evento e apresentação das atividades	8:00 às 13:00	Centro Tecnológico SATC (Criciúma)	08:30 às 11:00	Visita Barragem Rio Leão (Jacinto Machado Tenente)
10:15 às 12:00	Mesa redonda: - Plantas nativas - Recuperação de nascentes - Apoio a realização de projetos ambientais	12:00 às 17:00	Centro Tecnológico SATC (Criciúma)	12:30 às 17:00	Estação de tratamento de água (Torres)
13:00 às 17:00	Escola Estadual João dos Santos Areão (Santa Rosa do Sul)			13:00 às 17:00	Oficina: Produção de mudas e plantio de plantas melitófilas (Campus)
Terça-Feira (21/06)		Quinta-Feira (23/06)			
Horário	Atividades	Horário	Atividades		
08:00 às 12:00	Parque Estadual da Guarita (Torres)	08:00 às 12:00	Estação de tratamento de esgoto (Sombrio)		
08:30 às 11:00	Visita Barragem Rio Leão (Jacinto Machado Tenente)	13:00 às 17:00	Visita projeto de recuperação da mata ciliar (Jacinto Machado)		
08:00 às 12:00	Oficina: Tratamento de água para consumo humano (Campus)	13:00 às 17:00	Oficina: Muda de plantas nativas, com visita em propriedade de pomar implantado (Campus)		
13:00 às 17:00	Escola Municipal Quintiliano João Pacheco (São João do Sul)	13:00 às 17:00	Visita em nascente recuperada (Jacinto Machado)		
13:00 às 17:00	Parque Estadual da Guarita (Torres)				

Realização: **INSTITUTO FEDERAL Catarinense** Campus Santa Rosa do Sul

Patrocínio: **SICOOB** Credia **Epagri** **TECNOLOGIA E AMBIENTE**

Figura 18 - Atividade prática realizada durante a oficina.



Figura 19 - Etapa de conceituação sobre o tratamento de água durante a oficina.



Figura 20 - Lista de presença de inscritos na oficina.

PLANILHA DE CONTATOS DOS INSCRITOS	
AÇÃO: Oficina: Tratamento de água para consumo	
Nome	E-mail
ISAAC FERREIRA DE OLIVEIRA	ferreirajuliete036@gmail.com
ESTELA LUMMERTZ WARMLING	estelalummertzwarmling@gmail.com
GABRIELLY BALBINO DE VARGAS	gabriellybalbino125@gmail.com
DIOGO XAVIER BORGES	diogoxavierborges@gmail.com
LUIZ ORIZON DE OLIVEIRA DE SOUZA	luizorizon10velho@gmail.com
KLEITON HOMEM MARTINS	kleitonhomemmartins@gmail.com
HENRY NAYAN BIAZUS MORAIS	hnmbiazus@gmail.com
ANA CLARA DE SOUZA DA SILVA	chicoka.contato.com@gmail.com
JOAO PEDRO SOUZA PEREIRA	mininofssalamandra@gmail.com
DOMENIK RANACOSKI SOARES	domenikranacoskisc@gmail.com
LÍVIA SELAU BELLETTINE	selaubelletinelivia@gmail.com
ANAHI GIOVANNA GOMES DOS SANTOS	anahigiovanna.g.s@gmail.com
GABRIEL MACIEL DE SOUSA	gabrielmacieldesousa@gmail.com
CRISTIANO NASCIMENTO DE ANDRADE	crisdobonja173@gmail.com
JOANNA TOMAZ SCANDOLARA	jojoscandolara@gmail.com
CAMILA BORGES TEIXEIRA	camila.borges.tx@gmail.com
HELENA TOMAZ SCANDOLARA	scandolarahelena@gmail.com
GABRIEL MEZZARI DA SILVA	silva_mezzari@outlook.com
MONIELLE QUINTINO TEIXEIRA	quintinomonio712@gmail.com
ISADORA HERMENEGILDO CASCEMICHOLSI	cascemicholsisadora@gmail.com
ARTUR RONCONI LESSA	arturlessab@gmail.com
RAYSSA DA ROLT DE OLIVEIRA	rayssadarolt98@gmail.com
JOÃO VICTOR CASAGRANDE CARDOSO	joaovictorscooby2006@gmail.com
VITOR HUGO CARDOSO DE SOUZA	vitorhugomachado231@gmail.com

- **Definição**

Atividade de formação com objetivo de levar até os discentes do IFC campus Santa Rosa do Sul a problemática da água para consumo humano, bem como possibilidades e potenciais existentes, baseado nos resultados da pesquisa de mestrado intitulada “Eficiência dos coagulantes vegetais pitaia (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt) e moringa (*Moringa oleífera* Lam.) no tratamento de água para consumo humano”.

- **Descrição do produto de comunicação e de sua finalidade**

Atividade desenvolvida na Semana do Meio Ambiente realizada no Instituto Federal Catarinense campus Santa Rosa do Sul. A oficina foi realizada no dia 21 de junho de 2022, no laboratório de química, com 24 inscritos do curso Técnico em Agropecuária, durante o período da manhã.

Foram realizadas duas atividades práticas, sendo a primeira constituída na realização da etapa de clarificação de água por meio da coagulação/floculação, utilizando sulfato de alumínio 30 ppm na amostra de água da lagoa Itapeva. Os alunos realizaram manualmente as etapas de agitação rápida por um minuto e agitação lenta por 10 minutos seguida por intervalo de repouso, possibilitando observar a sedimentação do

lodo no fundo do bécker com água. A segunda atividade prática foi realizada com auxílio do equipamento JarTest, no qual foram testadas em amostras de água da lagoa Itapeva os seguintes tratamentos: Sulfato de alumínio em pH 6 e em pH natural, pitaia em pH 3 e pH natural, moringa em pH natural e engaço de bananeira em pH natural. Os alunos mediram os parâmetros de potabilidade, cor aparente, turbidez e pH da água antes e após aplicação dos tratamentos citados. Os dados foram organizados em tabela permitindo visualizar a efetividade dos tratamentos, e a sua relação com o pH da água.

- **Divulgação**

A oficina foi divulgada juntamente com as demais atividades da Semana do Meio Ambiente no site institucional do campus (<https://santa.rosa.ifc.edu.br>). As inscrições puderam ser realizadas via sistema informatizado (SIGAA). A atividade será divulgada em breve em formato de vídeo no site institucional da UERGS e redes sociais do Programa de Pós Graduação em Ambiente e Sustentabilidade:

(<https://proppg.uergs.edu.br/mestrados/ppgas>)

Instagram (<https://www.instagram.com/ppgasuergs/>)

Facebook (<https://www.facebook.com/ppgasuergs>).

- **Avanços tecnológicos/grau de novidade**

A oficina trouxe a temática relativamente nova na instituição de ensino que é a utilização de coagulantes de origem vegetal para o tratamento de água. Além disso, foi realizado pela primeira vez no IFC Santa Rosa do Sul, o teste de pó de engaço de bananeira durante a oficina.

- **O produto de comunicação é resultado do trabalho realizado pelo ppgas**

Sim.

- **Autorias**

Docente Autor: Dra. Suzana Frighetto Ferrarini, orientadora e docente permanente do PPGAS/UERGS e Dr. Airton Luiz Bortulizzi, coorientador e professor permanente do IFC.

Discente Autor: Mestranda Êmili Borges Carlos, Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade (PPGAS/UERGS).

- **Conexão com a pesquisa**

Atividade vinculada ao projeto “Eficiência de diferentes tipos de coagulantes de origem vegetal no tratamento de água para consumo humano e agrícola” cadastrado no Instituto Federal Catarinense como projeto interno necessário ao processo de cooperação técnica entre as instituições UERGS e IFC.

Linha de Pesquisa vinculada à produção: Tecnologias Sustentáveis para o Desenvolvimento

() Projeto isolado, sem vínculo com o Programa de Pós-graduação

(X) Vínculo com trabalho de conclusão

- **Relacione os artigos publicados apenas em periódicos que estão correlacionados a este produto de comunicação:**

Título pretendido: Eficiência dos coagulantes vegetais pitaia (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt) e moringa (*Moringa oleífera* Lam.) no tratamento de água para consumo humano.

Periódico pleiteado: Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Qualis Capes A3 (Área Interdisciplinar).

- **Situação atual do produto de comunicação**

Concluído.

- **Recursos e vínculos do produto de comunicação**

A atividade não necessitou de recursos externos, sendo disponibilizado pelo IFC todos os equipamentos e materiais necessários para execução dos testes, como os equipamentos, reagentes e vidrarias.

- **Aplicabilidade do produto de comunicação**

Esse tipo de produto é uma ferramenta importante capaz de estimular os alunos a seguirem na área de estudo, incitando assim o desenvolvimento sustentável nesse público que possivelmente venha a trabalhar com pesquisa.

- **Descrição da abrangência potencial**

Esse tipo de produto caracteriza-se pela abrangência local, direcionada a um público específico, no caso, a comunidade acadêmica, discentes do curso Técnico em Agropecuária do IFC.

- **Documentos anexados**

Não há.

6.3 PRODUTO 3 – PRODUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL – CARTILHA INFORMATIVA

- **Descrição da tecnologia social e de sua finalidade**

Considera-se as condições de aplicação dos coagulantes determinadas neste estudo, como sendo o principal produto, em que a parte experimental está voltada para o desenvolvimento de tecnologia para o tratamento de água, divulgada em forma de cartilha de procedimentos, a fim de tornar acessível a outros públicos além do meio acadêmico científico.

- **Avanços tecnológicos/grau de novidade**

Os resultados deste trabalho representam um caminho sólido na construção do conhecimento a respeito da utilização de vegetais, cladódio de pitaia e semente de moringa, para o tratamento de água para consumo humano, representando, portanto, o principal produto deste mestrado a ser entregue para a sociedade como uma solução inovadora no que diz respeito a clarificação da água.

Definir se a Tecnologia Social é resultado do trabalho realizado pelo programa de pós-graduação ou se é resultado do trabalho individual do docente, o qual seria realizado independentemente do mesmo se docente de um programa ou não:

- () Produção com alto teor inovativo: Desenvolvimento com base em conhecimento inédito;
- (x) Produção com médio teor inovativo: Combinação de conhecimentos pré-estabelecidos;
- () Produção com baixo teor inovativo: Adaptação de conhecimento existente;
- () Produção sem inovação aparente: Produção técnica.

- **Autorias**

Docente Autor: Dra. Suzana Frighetto Ferrarini, orientadora e docente permanente do PPGAS/UERGS e Dr. Airton Luiz Bortulizzi, coorientador e professor permanente do IFC.

Discente Autor: Mestranda Êmili Borges Carlos, Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade (PPGAS/UERGS).

- **Projeto de pesquisa vinculado à tecnologia social**

Sustentabilidade ambiental e reutilização de resíduos: Monitoramento de contaminantes.

- **Linha de pesquisa vinculada à tecnologia social**

Tecnologias Sustentáveis para o Desenvolvimento.

- **Situação atual da tecnologia social**

() Piloto/Protótipo () Em teste (x) Finalizado/implantado

- **Total investido**

Sem financiamento.

- **Fonte do financiamento**

Sem financiamento.

- **Descrição da abrangência realizada**

A cartilha está sendo divulgada dentro das organizações de Agricultores do Extremo Sul Catarinense, Litoral Norte Gaúcho e Serra Gaúcha, como por exemplo, EMATER, Sindicatos, ONGS como Centro Ecológico, dentre outros, estando disponível no site institucional da UERGS e redes sociais do programa. Será realizado um trabalho de divulgação mais direcionado para as comunidades de São Francisco de Paula, visto que a água nesses locais apresenta problemas de potabilidade. Portanto, essa cartilha é considerada um retorno direto para a sociedade de São Francisco de Paula, cidade onde a unidade Hortênsias da UERGS encontra-se situada.

- **Descrição da abrangência potencial**

Devido a temática da água ser mundialmente abordada, essa cartilha tem potencial para atuar em qualquer parte do planeta, sendo contribuição maior nos locais onde a água em boas condições de potabilidade é considerada um recurso escasso.

- **Descrição da replicabilidade**

Apesar do projeto ter sido realizado em laboratório, a metodologia descrita na cartilha pode facilmente ser realizada em ambiente doméstico.

- **Título da tecnologia social**

Tratamento da água usando plantas.

- **Tipo de tecnologia**

Processo (método, processo ou produto).

- **Finalidade**

Tratamento de água.

- **Linha de pesquisa/atuação**

Tecnologias Sustentáveis para o Desenvolvimento.

- **Equipe de realização**

Êmili Borges Carlos, Suzana Frighetto Ferrarini e Airton Luiz Bortoluzzi.

- **Possui potencial de inovação de produtos de inovação, processos ou serviços?**

(x)Sim ()Não

- **Qual o potencial de inovação?**

Aproveitamento de recurso vegetal subutilizado como o cladódio de pitaia para tratamento de água.

- **A produção necessita estar no repositório?**

Sim.

- **Documentos anexados (em pdf)**

- () Declaração emitida por representantes da comunidade beneficiada
- () Declaração emitida por financiadores/patrocinadores
- (x) Documento descritivo da tecnologia social
- () Outros documentos emitidos por órgãos públicos ou privados

Figura 21 – Cartilha dos procedimentos para uso de coagulantes vegetais no tratamento de água para consumo humano.



**TRATAMENTO DA ÁGUA
USANDO PLANTAS**





Procedimento para tratamento de água- clarificação e redução de turbidez e cor



CLADÓDIO DE PITAIA- FOLHAGEM DA PITAIA

ETAPA DE PREPARO DO PÓ DA FOLHAGEM DE PITAIA

- Lavar; Retirar os espinhos; Cortar em pequenos pedaços
- Secar em temperatura aproximada de 65 °C por 3 dias;
- Triturar e peneirar em peneira com furos bem finos (~600 µm);
- Armazenar em frasco bem fechado e guardar em ambiente seco.

ETAPA DE TRATAMENTO DA ÁGUA

- Pese aproximadamente 0,7 g do pó preparado.
- Para 10 L de água, adicionar o pó e agitar rápido por 12 minutos com um bastão/colher, após esse tempo agitar devagar por mais 20 minutos. Após isso, deixar a água parada por 1 hora.
- **Resultado após 1 hora:** água tratada na parte superior e sujeira depositada no fundo do recipiente;
- Filtre essa água usando um tecido poroso e limpo.

SEMENTE DE MORINGA

ETAPA DE PREPARO DA SEMENTE (COAGULANTE EM PÓ)

- Retirar a casca;
- Secar em temperatura aproximada de 40°C por 3 dias;
- Maceração/esmagar;
- Armazenar em frasco bem fechado e guardar em ambiente seco.

ETAPA DE TRATAMENTO DE ÁGUA

- Pese aproximadamente 1g de pó preparado.
- Para 10 L de água, adicionar o pó e agitar rápido por 1 minuto, com um bastão/colher, após esse tempo agitar devagar por mais 20 minutos. Após isso deixar a água parada por 1 hora.
- **Resultado após 1 hora:** água tratada na parte superior e sujeira depositada no fundo do recipiente;
- Filtre essa água usando tecido poroso e limpo.






Após o tratamento sugerido, caso não seja possível filtrar a água tratada, transfira para outro recipiente utilizando uma mangueira. Faça isso bem devagar para que não cause agitação da água.

Autores:
 Msc. Emili Borges Carlos - PPGAS/UERGS.
 Dr. Suzana Frighetto Ferrarini - Docente PPGAS UERGS.
 Dr. Airton Luiz Bortoluzzi – Docente IF.
 Doses sugeridas para águas com pH neutro (~7,0); turbidez de 18,67 uT e cor aparente de 149 uH.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; CETESB-COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluente**. e. 2 p. 327, 2011.
- AITH, F. M; ROTHBARTH, R. O estatuto jurídico das águas no Brasil. **Estudos Avançados**. v. 29, n. 84, pp. 162-177, 2015.
- ANA- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Brasília. 2020.
- ANTILON, J. A; CAMARENO; M. V. BUSTOS, N.Q. Evaluación de la tuna (*Opuntia cochenillifera*) para la remoción del color en agua potable. **Tecnología en Marcha**. v. 25, n. 4, pp. 55-62, 2012.
- ARAUJO, Y. C. A. **Produção de biocoagulante a partir de sementes de moringa oleifera para substituição de sulfato de alumínio no tratamento de águas em ETAs**. Bagé, RS, 2021. 63 f. Monografia (Conclusão do curso de Engenharia Química) - Universidade Federal do Pampa, Bagé, RS, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/rii/5775> > ; Acesso em: 12 de abril de 2022.
- BAPTISTA, A. T. A.; SILVA, M. O.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M. F.; VIEIRA, A. M. S. Protein fractionation of seeds of Moringa oleifera lam and its application in superficial water treatment. **Separation and Purification Technology**. v. 180, pp. 114–124, 2017.
- BONGIOVANI, M. C; MORAES, L. C. K; BERGAMESCO, R; LOURENÇO, B. S. S; TAVARES, C. R. G. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum Technology**. v.32, n.2 pp.167-170, 2010. DOI: 10.4025/actascitechnol.v32i2.8238
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518 de 25 de março de 2004**. Brasília, DF, 2004.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Portaria nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, DF, 202.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021**. Brasília, DF, 2021.
- CAPES. Produção técnica: Grupo de trabalho. Brasília, 2019.
- CARDOSO, K.C; BERGAMESCO, R; COSSICH, E. S; MORAES, C.K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. **Acta Scientiarum. Technology**. v. 26, p 2178-2189. 2008.

CARDOSO, M. **Efeito do tipo de coagulante na produção de lodo de estação de tratamento de água**. Florianópolis, SC, p.110. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br>>; Acesso em: 10 de maio de 2022.

CASTRO, D. **Ciclo das águas na bacia do Tramandaí**. 1 ed. Porto Alegre. Via Sapiens. 2019, p. 180. Disponível em: < <https://taramandahy.org.br/project/ciclo-das-aguas-na-bacia-do-rio-tramandai/>>; Acesso em: 13 de abril de 2022.

CORSAN- COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. 2022. Ofício de dados de monitoramento da lagoa Itapeva, à superintendência de tratamento da Companhia Riograndense de Saneamento. Solicitado em 15 de fevereiro de 2022.

DI BERNARDO, L; BOTARI, A; PAZ, L.S. Uso de modelação matemática para projeto de câmaras mecanizadas de floculação em série em estações de tratamento de água. **Engenharia Sanitária e ambiental**. v. 10, n. 1, 2005.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. 1. ed. Editora LDIBE. 2011, p 454.

DICK, M. **Valorização do cacto *Opuntia monacantha* para obtenção de farinha e mucilagem: caracterização e aplicação em biscoito sem glúten**. Porto Alegre, RS, 2018. 90f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2018. Disponível em:<<https://ufrgs.academia.edu/MelinaDick> > Acesso em:13 de abril de 2022.

EPAGRI- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. Santa Catarina vira pólo de produção sustentável de pitaia.2021 Disponível em: < <https://www.epagri.sc.gov.br/> >; Acesso em: 14 de outubro de 2021.

ESTEFANEL, V.; PIGNATARO, I. A. B.; STORCK, L. Avaliação do coeficiente de variação de experimentos com algumas culturas agrícolas. *In: Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica*, Londrina, PR, 1987. Anais. Londrina: DME/CCE/Universidade Estadual de Londrina, 1987, n. 2, pp. 115-131, 1987.

FEPAM- FUNDAÇÃO ESTAUDAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. Qualidade ambiental: Litoral Norte. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/bal_res_litoralnorte.asp>; Acesso em: 02 de outubro de 2022.

FILHO, F. S. T. P; ALMEIDA, E. I. B; BARROSO, M. M. A; CAJAZEIRA, J. P; CORRÊA, M. C. M. Comprimento de estacas e concentrações de ácido indolbutírico (AIB) na propagação vegetativa de pitaiá. **Ciência Agrônômica**. V. 45, n.4, pp.788-793, 2014.

FLORA DO BRASIL. **Cactaceae**. 2022. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >; Acesso em: 19 de julho de 2022.

FONTES, M. P. F; CAMARGO, O. A; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p.627-646. 2001.

FRANCO, C. S; BATISTA, M. D. A; OLIVEIRA, L. F. C; KOHN, G. P; FIA, R. Coagulação com semente de moringa oleífera preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. **Eng Sanit Ambient**. v.22 n.4, 2017. pp.781-788. DOI: 10.1590/S1413-41522017145729

FREITAS, F. B. A; CAMARA, M. Y. F; MARTINS, D. F. F. Determinação do PCZ de adsorventes naturais utilizados na remoção de contaminantes em soluções aquosas. Blucher Chemistry Proceedings *In: 5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química*. 2015, v. 3, n. 1, pp. 2015.

GUEDES, C. D; PEREIRA, J. G; LENA, J. C; PAIVA, J. F. Coagulação/floculação de suspensões ricas em óxidos de ferro por sulfato de alumínio. **Química Nova**. v. 27, n. 5, pp. 715-719, 2004.

GUZMÁN, L; VILLABONA, A; TEJADA, C; GARCIA, R. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. **Revista U.D.C.A Act. & Div. Cient**. v.16, pp. 253 – 262, 2013.

HENDRAWATI; YULIASTRI, I.R; NURHASNI; ROHAETI, E; EFFENDI, H.; DARUSMAN, L.K. The use of *Moringa oleifera* Seed Powder as Coagulant to Improve the Quality of Wastewater and Ground Water. **Earth and Environmental Science**. v.31, 2016.

IDRIS, J.; SOM, A. M.; MUSA, M.; HAMID, K. H. K.; HUSEN, R.; RODHI, M. N. M. Dragon fruit foliage plant-based coagulant for treatment of concentrated latex effluent: Comparison of treatment with ferric sulfate. **Journal of Chemistry**. v. 2013, 2012.

IPEA- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICAQ APLICADA. Objetivos de desenvolvimento sustentável. 2019. Disponível em:< <https://www.ipea.gov.br/ods/ods6.html> >; Acesso em: 08 de setembro de 2022.

KAN, C; HUANG, C; RUHSING, PAN, J. R. Time requirement for rapid-mixing in coagulation. **Colloids and Surfaces**. v. 203, p 1-9, 2012.

- KEELEY, J.; JARVIS, P.; JUDD, S. J. Coagulant recovery from water treatment residuals: a review of applicable technologies. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 44, n. 24, p. 2675-2719, 2014.
- LEOPOLDO, A. T. V; FERNANDES, C. V. S. Caracterização do Carbono Orgânico para Avaliação Ambiental da Qualidade da Água: Estudo de Caso do Lago do Parque Barigüi. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 13, n. 3, pp. 23-34. 2008.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo. 2010, p. 494.
- LIMA JÚNIOR, R. N; ABREU, F. O. M. S. Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. **Revista Virtual Química**. v.10, n.3, pp.709-735. 2018.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997, p. 231.
- MANETTA, L. S. **Determinação de coeficiente cinético de agregação com uso de método direto**. Bauru, SP, 2019. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, SP, 2019. Disponível em: < <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/183636> > ; Acesso em: 19 de novembro de 2021.
- MARTINS, G. S; BATISTA, A. M. M; SIQUEIRA, J. C; SINISCALCHI, L. A. B; ORÉFICE, R. L. Aplicação de polímeros na floculação de rejeito de caulim: efeitos da variação de concentração e tipo de floculante. **Química Nova**, v. 45, n. 5, pp. 543-549. 2022.
- MENDES, F; COELHO, N. **Estudo do uso da *Moringa oleifera* para remoção de prata e manganês em águas**. **Horizonte Científico**. Uberlândia. 2007, v. 1, n. 1, pp. 1-18.
- MÉNDEZ, L. P; FLORES, F. T; MARTÍN, J. D; RODRÍGUEZ, E. M. R ROMERO, C. D. Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica*. **Food Chem**. pp. 393–398, 2015.
- MICHELAN, C.G.S; SANTOS, W. N. A. S; ROSA1, T.S; DÉBORA DE GOIS SANTOS, D. G; JESUS, R. C. S. Uso do coagulante/floculante emergente à base de moringa no tratamento de água com verificação da composição e toxicidade do lodo produzido: tratamento de água com Moringa e toxicidade do lodo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 26, n. 5, pp. 955-963, 2021.
- MILLER, S. M; FUGATE, E. J; CRAVER, V. O. SMITH, J. A. ZIMMERMAN, J. B. Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of *Opuntia* spp. as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment. **Environmental Science & Technology**. v. 42. p. 4274–4279, 2008.

MOLINA, N. F; RODRIGUEZ, E.J.M; ARIZA. C. P. Coagulantes naturales em sistemas de fluxo continuo, como substituto del $Al^2(SO_4)^3$ para clarificación de aguas. **Producción + Limpa**. v. 11, n. 2, pp. 41-54, 2016.

NDABIGENGESERE, A., NARASIAH, K. S., Quality of Water Treated by Coagulation Using Moringa oleifera Seeds. **Water Research**. v. 32, n. 3, pp. 781- 791, 1998.

NWAIWU, N.E.; ZALKIFUL, M.A.; RAUFU, I.A. Seeking an alternative antibacterial and coagulation agent for household water treatment. **Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation**. v. 1, n. 1, pp. 1-9, 2012.

OLIVEIRA, A. L; MORENO, P; SILVA, P. JULIO, M; MORUZZI, R. B. Effects of the fractal structure and size distribution of flocs on the removal of particulate matter. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 36, pp. 16721-16732, 2015.

ORTIZ, A. V.; ASTUDILLO, I. C.; MARTÍNEZ, G. J. Caracterización de la Opuntia ficus-indica para su uso como coagulante natural. **Revista Colombiana de Biotecnología**, v. 15, n. 1, p. 137-144, 2013.

PARRON, L.M; MUNIZ D.H.F. 2011. **EMBRAPA: Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Embrapa Florestas, 69 f.

PELEGRINO, E. C. F. **Emprego de coagulante à base de tanino em sistema de pós-tratamento de efluente de reator UASB por flotação**. São Carlos, SP, 2011. 161 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2011. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-15072011-093629/pt-br.php>>. Acesso em: 22 de março de 2022.

PIANTÁ, C. A.V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água**. Porto Alegre, RS, 2008. 78. f. Monografia (Conclusão de Curso em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2008. Disponível em: LINK ;< <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/26026> > Acesso em: 20 de março de 2022.

PIRATOBA, A. R. A; RIBEIRO, H. M. C; MORALES, G. P. GONÇALVES, W. G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**. v. 12, n. 3, 2017.

PUSHPAKUMARA; D. K. N. G; GUNASENA, H. P. M; KARIAYAWASAM, M. Flowering and fruiting phenology, pollination vectors and breeding system of dragon fruit (*Hylocereus* spp.). **Journal of Agricultural Science**. v. 42, p. 81–9, 2005.

RITCHER, C.A; AZEVEDO NETTO, J.M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

SANTOS, A. F. S; LUZ, L. A; PONTUAL, E. V; NAPOLEÃO, T. H; PAIVA, P. M. G; COELHO, L. C. B. B. *Moringa oleifera*: resource management and multiuse life tree. **Advances in Research**, p. 388-402. 2015.

SAENZ, C; SEPULVEDA, E; MATSUHIROB, B. Opuntia spp mucilage's: A functional component with industrial perspectives. **Journal of Arid Environments**. v. 57, pp. 275–290, 2004.

SEMA - SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Relatório Técnico 3: Diagnóstico Consolidado da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí**. Governo do Estado do Rio grande do Sul. Canoas. 2019.

SISTEMA DE DIVULGAÇÃO DOS DADOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL DO RIO GRANDE DO SUL – FEPAM.

Disponível em: <https://gis.fepam.rs.gov.br/rsagua/>. Acesso em: 01/07/2022.

SMEWW - **Standard Methods For the Examination Of Water And Wastewater**. 23. Ed. Washington, DC. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 2017.

SOM, A. M.; IDRIS, J; HAMID, K.H.K. Dragon fruit foliage as a low cost plant-based coagulant in latex concentrate wastewater treatment. **Journal of Chemical Engineering**. 2007.

SOM, A.M; WAHAB, A.F.A. Performance study of dragon fruit foliage as a plant-based coagulant for treatment of palm oil mill effluent from three-phase decanters. **Bio Resources**. p. 4290- 4300, 2018.

SOM, A. M; AHMAT, N; HAMID, H. A. A; AZIZUDDIN, N. M. A comparative study on foliage and peels of *Hylocereus undatus* (white dragon fruit) regarding their antioxidant activity and phenolic content. **Heliyon**. v.5, 2019.

SOM, A. M; RAMLEE, A. A; PUASA, S. W; HAMID, H. A. A. Optimisation of operating conditions during coagulation-flocculation process in industrial wastewater treatment using *Hylocereus undatus* foliage through response surface methodology. **Environmental Science and Pollution Research**. 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17633-w>

SOUSA, T. B. **Uso de taninos de Espécies Florestais no Tratamento de água para Abastecimento**. Lavras, MG, 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da

Madeira) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG, 2015. Disponível em: LINK ; <<http://repositorio.ufla.br/>> Acesso em: 15 de maio de 2022.

SPOSITO, G. Surface reactions in natural aqueous colloidal systems. **Chimia**, v.43, p.169-176, 1989.

TEBBUT, T.H.Y. *Principles of Water Quality Control*, Translate edition, Mohajit. Bandung: ITB. Indonesia. 1982.

STUMM, W.; MORGAN, J.J. **Aquatic chemistry**. Wiley-Interscience. New York. 1981. 780p.

TEIXEIRA, P. C. **Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água**. Campinas, SP, 2003. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2003. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000318368>>. Acesso em: 28 mar. 2017.> ; Acesso em: 03 de maio de 2022.

TEIXEIRA, M. R.; CAMACHO, F. P.; SOUZA, V. S.; BERGAMASCO, R. Green technologies for cyanobacteria and natural organic matter water treatment using natural based products. **Journal of Cleaner Production**. v.162, p.484, 2017.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista da UPS**, São Paulo. v. 70, pp. 24-35, 2006.

VISSMAN, W; HAMMER, M. J. **Water Supply and Pollution Control**. e. 8. New Jersey: Prentice Hall, 2004.

WEBBER, O. L. S; CHITONILA, J.C; CAMARGO, O. A; ALLLEONI, L. R. F. Cargas elétricas estruturais e variáveis de solos tropicais altamente intemperizados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 29, pp. 867-873, 2005.

WESTERHOFF, P.; ANNING, D. Concentrations and characteristics of organic carbon in surface water in Arizona: influence of urbanization. **Journal of hydrology**, v. 236, p. 202-222, 2000.

YAN, M; D. WANG, D; YU, J; NI, J; EDWARDS, M; QU, J. Enhanced coagulation with polyaluminum chlorides: role of pH/Alkalinity and speciation. **Chemosphere**. v. 71, n. 9, pp.1665–1673, 2008.

YIN, C.Y. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**. v. 45, pp. 1437-1444, 2010.

YU, W.Z; GREGORY, J; CAMPOS,L.; LI, GUIBAI. The role of mixing conditions on floc growth, breakage and re-growth. **Chemical Engineering Journal**.2011. p. 425-430, 2011.

ZULKEFLEE, Z.; ARIS, A. Z.; SHAMSUDDIN, Z. H.; YUSOFF, M. K.; **SCI. WORLD J.** 2012.