

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

NATHÁLIA MASTROIANO GONÇALVES MACHADO

**USO DE COAGULANTES NATURAIS NA CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA COMO
ALTERNATIVA AO SULFATO DE ALUMÍNIO**

**Caçapava do Sul
2023**

NATHÁLIA MASTROIANO GONÇALVES MACHADO

**USO DE COAGULANTES NATURAIS NA CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA COMO
ALTERNATIVA AO SULFATO DE ALUMÍNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Mariana Ribeiro Santiago
Coorientador: Guilherme Casa Nova

**Caçapava do Sul
2023**

NATHALIA MASTROIANO GONCALVES MACHADO

USO DE COAGULANTES NATURAIS NA CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA COMO ALTERNATIVA AO SULFATO DE ALUMÍNIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 07, Julho e 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dra. Mariana Ribeiro Santiago

Orientador

UNIPAMPA

Prof. Dr. Vicente Guilherme Lopes

UNIPAMPA

Prof. Dr. Júlio Cesar Mendes

UFSM



Assinado eletronicamente por **VICENTE GUILHERME LOPES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/07/2023, às 17:20, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARIANA RIBEIRO SANTIAGO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/07/2023, às 17:27, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Julio Cesar Mendes Soares, Usuário Externo**, em 21/07/2023, às 09:37, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1191999** e o código CRC **154A0DE4**.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais)

M149u Machado, Nathália Mastroiano Gonçalves

Uso de coagulantes naturais na clarificação da água como alternativa ao sulfato de alumínio / Nathália Mastroiano Gonçalves Machado.

58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 2023.

"Orientação: Mariana Ribeiro Santiago".

1. Tratamento de água. 2. Coagulantes naturais. 3. Sulfato de alumínio. 4. Tanfloc SL. 5. Moringa Oleífera. I. Título.

Dedico este trabalho aos meus pais Luzia e Glênio a quem amo incondicionalmente e a todos aqueles que de alguma forma me deram forças ao longo do caminho até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar a oportunidade de todos os dias tentar me tornar uma pessoa melhor e mais ainda por colocar pessoas excepcionais em meu caminho:

Meus pais Luzia e Glênio, meus irmãos Luiza e Lucas e ao meu namorado Anderson Turcatti que sem dúvidas foram meu suporte para que eu enfrentasse o processo, me incentivando a todo o momento, por mais que as coisas se encontrassem por muitas vezes complicadas;

Aos meus avós maternos (in memorian) Sônia Maria Mastroiano Gonçalves e Adão Benevenuto Gonçalves e aos avós paternos (in memorian) Clara Osório Machado e Retaxerxis Pires Machado, com certeza há uma parte de vocês em tudo isso, de onde estiverem, obrigada.

A minha orientadora professora Mariana Ribeiro Santiago, pela parceria e paciência ao longo de todo esse processo, com certeza, se tornou uma referência de mulher e engenheira para mim;

Ao meu co orientador Guilherme Pacheco Casa Nova, ao qual admiro muito como profissional competente, sempre disposto e empolgado a solucionar e vencer os obstáculos que apareceram ao longo do caminho;

Ao Ary Sá de Figueiredo, que manteve de portas abertas a unidade da CORSAN de Caçapava do Sul para que pudesse ser realizado esse estudo, sendo então um grande incentivador nessa caminhada;

Agradeço a todos os Agentes de Tratamento de Água e Esgoto da unidade da CORSAN de Caçapava do Sul, os quais tornaram mais leve o processo, sendo minha companhia durante os longos dias de ensaios;

Agradeço aos membros da minha banca por aceitarem o convite e enriquecerem este estudo com suas contribuições;

Agradeço a todos os familiares, amigos e colegas de curso não vou citar nomes para não esquecer ninguém, que ao longo desse processo estiveram presentes seja através de ajuda ou palavras de encorajamento;

E por último mas não menos importante agradeço a Universidade Federal do Pampa, minha segunda casa ao longo desses anos, por oferecer uma educação

pública de qualidade dando a oportunidade de tantas pessoas mudarem seus caminhos através do estudo;

RESUMO

A água é essencial para a vida no planeta, para que seja possível o consumo humano seguro é necessário que a mesma passe por um processo de tratamento. Nas estações de tratamento de água do tipo convencional o processo de clarificação da água é feito utilizando coagulantes químicos como o sulfato de alumínio. Existem alguns estudos que associam o uso deste coagulante com o aparecimento de doenças neurológicas como o Alzheimer por conta do residual de alumínio presente após o tratamento. Por isso, existem estudos sobre coagulantes alternativos ao sulfato de alumínio. O objetivo deste trabalho é apresentar uma avaliação no processo de clarificação entre os coagulantes naturais a base de moringa oleifera e coagulante a base de taninos, Tanfloc SL, com o sulfato de alumínio empregado no tratamento de água convencional no município de Caçapava do Sul. Para isso, foram verificadas as eficiências de remoção de cor e de turbidez dos coagulantes considerando o mesmo processo empregado para o tratamento com sulfato de alumínio e as características da água do município. Foi utilizado teste de bancada (teste dos jarros) para que fossem determinadas as dosagens ótimas para cada coagulante. Pela análise estatística dos dados houveram similaridades no desempenho dos coagulantes sulfato de alumínio e Tanfloc SL e uma diferença no desempenho do coagulante a base de moringa oleifera. No entanto, a eficiência dos coagulantes para a remoção dos parâmetros cor e turbidez, de acordo com as dosagens ótimas encontradas mostrou-se acima de 80%. Portanto, o estudo mostrou resultados positivos no emprego dos coagulantes naturais, porém a relação custo-benefício torna a aplicação desses tratamentos inviáveis quando comparados a aplicação do coagulante sulfato de alumínio na ETA do município.

Palavras-Chave:Água; Coagulantes; Moringa oleifera; Sulfato de alumínio; Tanfloc SL.

ABSTRACT

The water is essential for life on the planet, so that safe human consumption is possible, it must undergo a treatment process. In conventional water treatment plants, the water clarification process is carried out using chemical coagulants such as aluminum sulfate. There are some studies that associate the use of this coagulant with the onset of neurological diseases such as Alzheimer's due to the residual aluminum present after treatment. Therefore, there are studies on alternative coagulants to aluminum sulfate. The objective of this work is to present an evaluation of the clarification process between natural coagulants based on moringa oleifera and tannin-based coagulant, Tanfloc SL, with aluminum sulfate used in conventional water treatment in the municipality of Caçapava do Sul. For this, the color and turbidity removal efficiencies of the coagulants were verified considering the same process used for the treatment with aluminum sulfate and the characteristics of the municipal water. A bench test (jar test) was used to determine the optimal dosages for each coagulant. By the statistical analysis of the data, there were similarities in the performance of the coagulants aluminum sulfate and Tanfloc SL and a difference in the performance of the coagulant based on moringa oleifera. However, the efficiency of the coagulants for removing the color and turbidity parameters, according to the optimal dosages found, was above 80%. Therefore, the study showed positive results in the use of natural coagulants, but the cost-benefit ratio makes the application of these treatments impracticable when compared to the application of aluminum sulfate coagulant in the municipality's ETA.

Key words: Aluminum sulfate; Coagulants; Moringa oleifera; Tanfloc SL; Water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Colheita de Acácia Negra na cidade de Butiá - RS.....	28
Figura 2 - Árvore acácia branca.....	29
Figura 3 - Sementes da árvore moringa oleífera.....	30
Figura 4 - Preparo da solução coagulante a base de moringa oleífera, preparado no LASAMA da UNIPAMPA.....	32
Figura 5 - Coleta de água bruta na ETA de Caçapava do Sul.....	34
Figura 6 - pHmetro da ETA de Caçapava do Sul.....	34
Figura 7 - Turbidímetro da ETA de Caçapava do Sul.....	35
Figura 8 - Espectrofotômetro DR-3900 da ETA de Caçapava do Sul.....	35
Figura 9 - Aparelho de teste dos jarros da ETA de Caçapava do Sul.....	36
Figura 10 - Aspecto visual dos flocos formados para cada coagulantes.....	52
Figura 11 - Observação da sedimentação dos flocos formados pelos coagulantes....	53
Figura 12 - Sedimentação dos flocos formados aos 10 minutos pelos coagulantes...	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da água bruta e seus respectivos dias de coleta.....	39
Tabela 2 - Resultados da estatística descritiva dos dados.....	40
Tabela 3 - Resultados da análise de Kruskal-Wallis.....	43
Tabela 4 - Teste de comparação múltipla Dwass-Steel-Critchlow-Fligner.....	44
Tabela 5 - Porcentagem eficiência na remoção de cor das amostras coletadas.....	45
Tabela 6 - Porcentagem eficiência na remoção de turbidez das amostras coletadas.....	46
Tabela 7 - Média dos valores resultantes da % de eficiência de remoção de cor e turbidez.....	47
Tabela 8 - Valores dos produtos utilizados em reais.....	50
Tabela 9 - Produção de água tratada pela ETA no período de 12 meses.....	50
Tabela 10 - Estimativa de custos para a utilização dos coagulantes.....	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação entre os coagulantes e suas respectivas dosagens.....	41
Gráfico 2 - Relação entre os coagulantes utilizados e as cores resultantes dos tratamentos.....	42
Gráfico 3 - Relação entre os coagulantes utilizados com a turbidez após tratamento..	43
Gráfico 4 - Eficiência média da remoção de cor pelos coagulantes.....	48
Gráfico 5 - Eficiência média da remoção de turbidez.....	49

SIGLAS E ABREVIATURAS

ETA's - Estações de tratamento de água
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento
SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
GM/MS - Gabinete do Ministro/ Ministério da saúde
FUNASA - Fundação Nacional da Saúde
DQO - Demanda Química de Oxigênio
NBR - Norma Brasileira
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
pH - Potencial hidrogeniônico
NTU - Unidade de Turbidez Nefelométrica
LASAMA - Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente
RPM - Rotação Por Minuto
UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa
DSCF- Dwass-Steel-Critchlow-Fligner
RS - Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo geral.....	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
3 JUSTIFICATIVA.....	20
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
4.1 Água para consumo humano.....	21
4.2 Características físico-químicas e biológicas da água.....	22
4.3 Processos de tratamento de água para consumo humano.....	24
4.3.1 Estações de tratamento de água convencionais.....	24
4.3.1.1 Clarificação da água.....	24
4.3.1.2 Desinfecção.....	25
4.3.1.3 Fluoretação.....	26
4.3.2 Estações de filtração direta.....	26
4.3.3 Estações de flotação de ar dissolvido.....	26
4.4 Teste dos Jarros.....	26
4.5 Coagulantes empregados na etapa de coagulação da água.....	27
4.5.1 Coagulantes inorgânicos.....	27
4.5.2 Coagulantes orgânicos.....	27
4.5.2.1 Coagulantes orgânicos a base de taninos.....	27
4.5.2.2 Coagulantes a base de sementes de moringa oleifera.....	29
4.6 Subprodutos gerados do processo de tratamento de água.....	30
4.7 Alguns estudos que tratam das eficiências de remoção de cor e turbidez dos coagulantes moringa, tanfloc e sulfato de alumínio.....	31
5 METODOLOGIA.....	31
5.1 Área de estudo.....	31
5.2 Preparo dos coagulantes e condições experimentais.....	32
5.2.1 Coagulante natural moringa oleifera.....	32
5.2.2 Coagulante biodegradável Tanfloc SL.....	33
5.2.3 Coagulante químico Sulfato de Alumínio.....	33
5.3 Caracterização físico-química da água bruta.....	33
5.4 Simulação das etapas de clarificação da água em escala de bancada....	35
5.5 Caracterização de parâmetros físico-químicos da água pós tratamento	37
5.6 Avaliação da eficiência de tratamento da água.....	37
5.7 Análise estatística dos dados.....	38
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
6.1 Caracterização da água bruta.....	39
6.2 Análise estatística dos dados.....	40
6.3 Eficiência de remoção de cor e turbidez.....	45

6.3.1 Eficiência de remoção do parâmetro cor.....	45
6.3.2 Eficiência de remoção do parâmetro turbidez.....	46
6.4 Estimativa de custo para os tratamentos.....	49
6.5 Algumas observações realizadas durante os ensaios.....	51
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

O volume total de água no planeta Terra é constante, sendo variada apenas a forma como é encontrada na natureza. Cerca de 97% do total da água existente no planeta é salgada e situa-se nos oceanos. Aproximadamente 2,7% estão em forma de neve, geleiras e vapor atmosférico, a quantidade disponível para aproveitamento é de apenas cerca de 0,3% (PHILIPPI JR, 2005).

Diante da disponibilidade hídrica não ser uniforme e o percentual aproveitável para consumo humano ser extremamente pequeno, pois conforme citado por Phillip Jr. (2005) somente 0,3% é disponível para aproveitamento humano o tratamento da água utilizada para abastecimento público é indispensável, pois, em sua forma natural oriunda de rios, lagos e poços é considerada imprópria para o consumo humano. As estações de tratamento de água (ETA'S) são as responsáveis por este processo. Posteriormente a este processo a água é distribuída por meio do sistema de distribuição presentes nas cidades (SNIS, 2021).

As fontes de captação da água nas ETA's geralmente são as águas superficiais e subterrâneas, esta última quando utilizadas para consumo em geral não necessitam de tratamento prévio em virtude do processo natural de filtragem do subsolo, estas compreendem poços rasos e profundos, nascentes e galerias de infiltração (PHILIPPI JR, 2005).

Quando se trata águas superficiais é necessário que sejam adotadas técnicas de tratamento, para que se torne possível o seu consumo. Por estarem geralmente com maior presença de materiais dissolvidos e em suspensão consequente da maior facilidade de aporte de matéria, a captação de águas superficiais requer maior atenção no tratamento (FIORENTINI, 2005).

Nas águas superficiais parte significativa das partículas dispersas constitui-se de sólidos não sedimentáveis que encontram-se na faixa de $0,0001\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$. Situam-se nesta faixa as partículas coloidais, que possuem tamanho entre $0,001\mu\text{m}$ e $1\mu\text{m}$. O que indica que, boa parte dos sólidos não sedimentáveis são colóides, e apresentam baixa velocidade de sedimentação (CALIJURI; CUNHA 2013).

É necessário considerar diversos parâmetros de qualidade da água bruta, para que se possa escolher quais processos e operações são apropriados para o tratamento da mesma, seja ela proveniente de manancial superficial ou subterrâneo.

Dentre eles estão os parâmetros físicos: cor, turbidez, sabor e odor, condutividade. Químicos: pH, alcalinidade, dureza, cloretos sulfatos e sólidos totais e hidrobiológicos: bactérias, algas (RICHTER, 2009).

Dos parâmetros citados, a turbidez de águas superficiais que chegam até uma estação de tratamento de água geralmente têm valor elevado, devido à presença de partículas coloidais de argila e silte. A carga eletrostática dessas partículas evita que elas se atraiam e se aglomerem. Para que essas cargas sejam neutralizadas e possa acontecer a aglomeração destes colóides possibilitando a sua sedimentação, são adicionados à água produtos químicos coagulantes como sulfato de alumínio e para auxiliá-lo utiliza-se a cal e os polímeros (VESILIND; MORGAN, 2011).

Com a adição de agentes químicos coagulantes, efetua-se a coagulação das partículas dispersas nas águas superficiais. Os coagulantes mais comuns consistem em sais de alumínio e de ferro como sulfato de alumínio e cloreto férrico. Quando adicionados na água, esses coagulantes hidrolisam formando uma sequência de produtos da hidrólise do coagulante, além do precipitado insolúvel de hidróxido de alumínio ou de ferro (CALIJURI; CUNHA 2013).

Habitualmente nas estações de tratamento de água são utilizados coagulantes inorgânicos, como o sulfato de alumínio ($(Al_2SO_4)_3$), sulfato férrico ($(Fe_2(SO_4)_3)$) e cloreto férrico ($(FeCl_3)$), sendo estes eficientes na remoção de impurezas da água (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI; 2009).

Quando utilizado o sulfato de alumínio no processo de clarificação da água é fundamental que seja verificado por meio de testes o teor de alumínio residual, pois, quando dosado incorretamente é indicado pela alta presença de alumínio persistente na água tratada (FUNASA, 2006).

É preciso que a quantidade de alumínio residual da água tratada esteja em conformidade com a Portaria GM/MS nº 888 de 2021, que estabelece o limite máximo de alumínio residual.

A presença natural de alumínio na natureza, nos alimentos, água e ar em conjunto com a introdução cotidiana deste pelo homem em diversas esferas como em medicamentos, tratamento de água, entre outros, torna o contato humano com este elemento inevitável (ROSALINO, 2011). Após o tratamento da água, cerca de 11% da quantidade total de alumínio naturalmente contida na água ou adicionada como

coagulante permanece como resíduo e é distribuída pela rede de distribuição (DRISCOLL; LETTERMAN, 1988 *apud*. LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

Devido a esse residual de alumínio estudos estão sendo voltados a utilização de coagulantes naturais à base de taninos e sementes, como alternativa ao uso dos coagulantes químicos vem sendo amplamente estudados ao longo dos últimos anos. O coagulante natural comercializado com o nome Tanfloc, constituído do tanino que é proveniente da semente de acácia negra, é útil no tratamento de água e efluentes (BITTENCOURT; DE PAULA, 2014).

Juntamente com os coagulantes naturais está a semente de moringa oleifera que atua no mecanismo de coagulação da água podendo ser comparada ao sulfato de alumínio, visto que, possui proteínas hidrossolúveis que contém propriedades coagulantes (NUNES *et al* 2014).

A partir do uso destes coagulantes naturais, percebe-se que por serem biodegradáveis, não-tóxicos e também produzem lodo em menor quantidade e menores teores de metais, são considerados vantajosos quando comparados aos coagulantes químicos (KAWAMURA, 1991 *apud*. KONRADT-MORAES, 2010).

É importante a determinação da melhor dosagem de coagulante a ser utilizada no processo de clarificação de água em uma ETA. Nesse estudo foram avaliadas as eficiências da clarificação da água, de acordo com as dosagens ótimas encontradas para um coagulante já utilizado em uma ETA e para coagulantes naturais em estudo. Para isso foi necessário a aplicação de testes em escala de bancada de forma que fossem simulados os processos de coagulação, floculação, decantação e filtração.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o processo de clarificação da água bruta que chega até a Estação de Tratamento de Água de Caçapava do Sul utilizando os coagulantes sulfato de alumínio, Tanfloc SL e extrato de moringa oleífera.

2.2 Objetivos específicos

Determinar os seguintes parâmetros da água bruta: pH, turbidez, cor, oxigênio consumido, alcalinidade;

Determinar a dosagem ótima do coagulante químico sulfato de alumínio utilizando o teste dos jarros e determinar a dosagem ótima dos coagulantes TANFLOC SL e moringa oleífera utilizando o teste dos jarros;

Avaliar a eficiência dos coagulantes Tanfloc SL, extrato de moringa oleífera em comparação ao sulfato de alumínio, no processo de clarificação da água bruta através da comparação da porcentagem de remoção de cor e turbidez entre a água bruta e a tratada.

3 JUSTIFICATIVA

Têm sido estudadas aplicações de coagulantes alternativos aos sais de alumínio que são os mais utilizados atualmente, algumas das motivações para tais estudos se referem a questões relacionadas ao emprego de sulfato de alumínio no tratamento de água como a associação do mesmo com o aparecimento de doenças neurológicas e também devido inconvenientes da presença do mesmo no lodo das estações de tratamento.

Segundo (Martin *et al.* 1989 *apud.* RICHTER, 2009) é necessário ter cautela quando são utilizados sais de alumínio no processo de coagulação devido a associação deste elemento com a doença de Alzheimer. Mesmo que a absorção diária de alumínio, relacionada ao consumo de água seja reduzida, ela não pode ser descartada, especialmente para populações de risco como os idosos, cujas taxas de absorção costumam ser mais altas (HEALTH CANADA, 1998 *apud.* SILVA, *et al.* 2020).

Referente ao lodo gerado pelos processos de clarificação da água (LIMA JÚNIOR; ABREU 2018), afirmam que os potenciais efeitos ambientais resultantes do uso de coagulantes inorgânicos à base de alumínio e ferro são frequentemente discutidos, onde os produtos residuais produzidos durante os processos de coagulação e floculação são abundantes em hidróxidos de metal não biodegradáveis.

Para que se possam encontrar maneiras de melhoria dessas questões, são importantes os estudos que consideram o uso de substâncias que possam promover igual ou até mesmo eficiência superior à que é obtida através da utilização de coagulantes químicos, não somente pelo valor econômico que possa vir a ser relacionado a estas alternativas, mas, principalmente em relação à saúde dos consumidores (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI; 2009).

Diante a estas informações, podemos ver a importância dos estudos que tratam da aplicação de coagulantes naturais no tratamento da água, visando que futuramente possam ser feitas exigências e adequações quanto ao uso de coagulantes químicos no processo de clarificação das mesmas.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Água para consumo humano

Em seu estado puro a água é um líquido incolor, inodoro, insípido e transparente. Por ser um excelente solvente, nunca é encontrada em estado integralmente puro. Entre as impurezas frequentemente encontradas na água, estão descritas a seguir no Quadro 1:

Quadro 1 - Impurezas mais comuns encontradas na água

Estado em que se encontram	Impurezas	Principais efeitos
Em suspensão	Algas e protozoários	Sabor e odor, cor, turbidez
	Areia silte e argila	Turbidez
Em estado coloidal	Bactérias e vírus	Abundantemente patogênicos, algumas bactérias podem causar prejuízos a instalações
	Substâncias de origem vegetal	Cor, acidez, sabor
	Sílicas e argilas	Turbidez
Dissolvidas	Substâncias de origem mineral	Alterações na qualidade da água Depende da composição e concentração de reações químicas com outras substâncias

Fonte: Adaptado de (RICHTER, AZEVEDO NETTO; 1991, p. 24)

A água absorve impurezas atmosféricas quando em forma de chuva e em seu escoamento conduz substâncias que causam a alteração da sua qualidade, isso significa que não é possível encontrar água pura na natureza. Dessas substâncias, algumas se dissolvem na água e outras ficam em suspensão (PHILIPPI, JR. 2005).

Para que seja possível o consumo humano é fundamental que a água seja potável, ou seja, livre de contaminantes e organismos patogênicos assim como tenha aspecto agradável para ser consumida (RICHTER, 2009).

É preciso que a água passe por alguns processos de ajustes em suas características antes de ser consumida, para que atenda aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888 de 2021 (BRASIL, 2021).

4.2 Características físico-químicas e biológicas da água

Existem algumas características muito importantes durante o processo de tratamento de água, como cor, turbidez, sabor e odor, pH, alcalinidade, oxigênio consumido, entre outras. Estas características precisam ser analisadas frequentemente, assim como, precisam estar dentro dos padrões estabelecidos pela lei.

A cor por exemplo, é indispensável quando referente ao tratamento para consumo humano, pois, se a mesma se encontrar elevada resulta em rejeição do consumidor que pode procurar outras fontes de água que podem não ser seguras. A cor é resultante da matéria orgânica presente na água, como substâncias húmicas, taninos assim como por metais tais como ferro, manganês e resíduos industriais (FUNASA, 2013). Define-se pela intensidade de redução da luz ao atravessar a água, por conta da absorção de parte dos feixes. Pode ser determinada através de comparação visual e também por meio de equipamento espectrofotométrico (PHILLIPI, JR; 2005).

A turbidez, que se trata da redução da transparência da água devido a presença de materiais sólidos em suspensão, provocada pela presença de matéria orgânica, algas, assim como pela presença de zinco, ferro e areia, entre outros consequentes do processo natural de erosão ou de despejos domésticos e industriais (FUNASA, 2013). A presença das partículas que causam a turbidez geram a dispersão e absorção de um feixe de luz, dando a água aparência nebulosa e esteticamente indesejável (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991). De acordo com a Portaria GM/MS 888/21 o Valor Máximo Permitido para turbidez da água é de 5 uT (Unidades de Turbidez) como padrão organoléptico para consumo humano (BRASIL, 2021).

No processo de tratamento da água também são importantes o cuidado com o sabor e odores presentes na água, geralmente a sensação de sabor originar-se do odor essas características são consideradas em conjunto, porém, são de difícil avaliação visto que são sensações relativas, causadas por impurezas dissolvidas. Quando há problemas com esses parâmetros pode ser utilizado o uso de carvão ativado para que sejam adsorvidos os compostos que causam o odor (RICHTER, C; AZEVEDO NETTO; 1991).

Tem-se a característica de pH, importante pois, que expressa a intensidade de uma condição ácida ou alcalina de uma solução. À medida que o pH decresce aumenta a condição ácida e pH elevados representam condições alcalinas (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991). O pH é um fator de fundamental importância nos processos de tratamento, que é medido e ajustado sempre que necessário para melhor eficiência no processo de coagulação/floculação assim como no processo de controle de desinfecção. A faixa de pH varia de 0 a 14, onde um pH abaixo de 7 representa uma água com característica ácida, pH acima de 7 característica alcalina, pH igual a 7 água considerada neutra (FUNASA, 2013).

A alcalinidade da água também é importante, pois determina a capacidade da água em neutralizar ácidos. É dada pelo conjunto das formas de alcalinidade existentes, isto é, a concentração de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos expressa em termos de carbonato de cálcio (FUNASA, 2013). Frequentemente a alcalinidade natural das águas superficiais é suficiente para reagir com o sulfato de alumínio nos processos de tratamento, porém, quando muito baixa é necessário que se provoque alcalinidade artificial através da aplicação de substâncias alcalinas, e quando muito alta é necessário a acidificação da água, até que se torne a alcalinidade suficiente para reagir com o sulfato de alumínio, quando o mesmo é utilizado no tratamento (FUNASA, 2013).

Tem-se também, como característica importante o oxigênio consumido, que permite conhecer a quantidade de matéria orgânica presente na mesma, indicando alterações na qualidade da água a ser tratada. Assim como a demanda química de oxigênio, permite a avaliação da carga de poluição de esgotos domésticos ou industriais através da quantidade de oxigênio necessária para total oxidação dos mesmos em dióxido de carbono e água (RICHTER C; AZEVEDO NETTO; 1991).

Já as características biológicas da água, são representadas pela presença de organismos vivos na água que podem ser patogênicos, como bactérias, vírus e protozoários, podendo provocar doenças ou epidemias (CARVALHO, 2008). Os organismos encontrados na água são considerados importantes para o controle de qualidade da mesma, pois, são importantes no processo de purificação dos corpos hídricos, no entanto, algumas espécies podem ser prejudiciais para o organismo humano causando doenças, assim como também cor e sabor e corrosão das estruturas do sistema (RICHTER, 2009).

4.3 Processos de tratamento de água para consumo humano

É necessário que se escolha o processo de tratamento para a produção de água potável de modo que seja possível a remoção ou redução de determinados constituintes da água bruta, que é o principal condicionante para a escolha dos processos unitários juntamente com a qualidade desejada para a água tratada (RICHTER, 2009).

Pode-se classificar em três as estações de água utilizadas atualmente no Brasil, sendo elas: Estações de tratamento convencionais, estações de filtração direta e estações de flotação a ar dissolvido (RICHTER, 2009).

4.3.1 Estações de tratamento de água convencionais

A cadeia de processos desse tipo de estação de tratamento de água contempla a etapa de clarificação que conta com os processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e em seguida com a etapa de desinfecção e fluoretação.

4.3.1.1 Clarificação da água

A primeira etapa da clarificação da água é denominada coagulação, que se trata de um processo químico, onde são desestabilizadas as cargas superficiais das partículas coloidais em suspensão presentes na água, sendo elas geralmente de carga negativa (BRASIL, 2006). Essa etapa do tratamento de água consiste no processo de inserção de produtos químicos que promovem a desestabilização das forças que mantêm as partículas em suspensão separadas (RICHTER, 2009). A coagulação possibilita a predominância das forças atrativas entre as partículas, possibilitando a

aglutinação das mesmas através da mistura rápida para que posteriormente ocorra o processo de floculação (BRASIL, 2006).

Em seguida, após a adição do produto químico e coagulação, tem-se a etapa de floculação, um mecanismo que propicia o encontro e agregação das partículas desestabilizadas durante a coagulação, faz com que as mesmas ganhem tamanho, densidade e peso, oportunizando a sua sedimentação (BRASIL, 2006). Esse processo se dá pela colisão das partículas formadas anteriormente, aglutinando-as e aumentando o seu tamanho, ocasionando a formação dos flocos, através da mistura lenta fazendo com que as mesmas possam ser removidas posteriormente por um processo de sedimentação (RICHTER, 2009). É necessário que a velocidade adotada na mistura lenta seja bem menor que a da mistura rápida, sendo gradualmente decrescente, para que não ocorra a ruptura dos flocos formados (BRASIL, 2006).

A etapa de floculação é seguida pelo processo de decantação que corresponde ao processo de retenção dos flocos formados no processo de floculação, onde evita-se qualquer tipo de turbulência na água para que ocorra a descendência das partículas sólidas suspensas (PHILIPPI JR; 2005). Essa etapa se trata de um processo físico, onde são utilizadas as forças gravitacionais para depositar as partículas floculentas com maior densidade do que a água em uma zona de armazenamento (RICHTER, 2009).

A última etapa da clarificação da água é a de filtração que consiste na separação das impurezas em suspensão presentes na água, através da passagem por um meio poroso, podendo ser utilizados diversos materiais granulares, sendo os mais comuns: areia, antracito, areia de granada, carvão ativado granular, entre outros (RICHTER, 2009). As unidades de filtração podem ser simples ou duplas, que respectivamente é constituída de areia ou camadas sobrepostas de areia e antracito. A camada suporte deve ser de seixos rolados (PHILIPPI JR; 2005).

4.3.1.2 Desinfecção

A etapa de desinfecção tem como objetivo eliminar microorganismos que podem ser patogênicos da água, através da aplicação de compostos de cloro, que comprometem a atividade enzimática quando em contato com as células dos mesmos, afetando a sua atividade metabólica (PHILLIPI JR; 2005).

A etapa de desinfecção é necessária pois pelos processos físico-químicos aplicados habitualmente no tratamento de água não é possível assegurar a remoção total dos microrganismos (RICHTER, 2009).

4.3.1.3 Fluoretação

A fluoretação tem como objetivo a redução da ocorrência de cáries dentárias na população, através da adição de flúor na água de consumo através de ácido fluossilícico, fluossilicato de sódio, entre outros (CALIJURI; CUNHA, 2013).

Essa etapa é uma medida preventiva, que tem uma porcentagem de redução entre 50% e 65% da incidência de cárie em populações submetidas por um período de aproximadamente 10 anos à exposição contínua da dosagem ótima (FUNASA, 2014).

4.3.2 Estações de filtração direta

Esse tipo de estação elimina o processo de decantação, de forma que é feito o pré-tratamento químico para que se tenha um floco filtrável através da mistura rápida e floculação com tempo reduzido cerca de 10, tendo a filtração como único processo de remoção dos sólidos coagulados. Esse tipo de estação não é viável quando a dosagem de coagulante é maior que 10mg/L de sulfato de alumínio por exemplo (RICHTER, 2009).

4.3.3 Estações de flotação de ar dissolvido

Esse tipo de estação conta com pré-tratamento para que se produza um floco flotável através da mistura rápida, floculação com tempo reduzido seguida da flotação, onde as microbolhas de ar se aderem aos flocos formados e vão até a superfície do flotor, tendo como última etapa a filtração para remoção de flocos residuais (RICHTER, 2009).

4.4 Teste dos Jarros

O teste de jarros consiste em um procedimento comum em estações de tratamento de água, através dele é possível determinar as dosagens de produtos químicos a serem utilizados no tratamento em escala de bancada (FUNASA, 2013).

O teste de jarro é recomendado para que se possa determinar a concentração dos produtos a serem utilizados para que se obtenha a clarificação ótima da água (SANTOS FILHO, 1989).

4.5 Coagulantes empregados na etapa de coagulação da água

São considerados coagulantes, quaisquer agentes que executem a coagulação. Podem ser utilizados diversos tipos de agentes coagulantes para que seja realizado o processo de coagulação, frequentemente são utilizados sais que geram hidróxidos quando em contato com a água, como também compostos orgânicos (RICHTER, 2009).

4.5.1 Coagulantes inorgânicos

São utilizados comumente sais inorgânicos, tais como sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloreto férrico (FeCl_3), sulfato ferroso (FeSO_4), como coagulantes para tratamento de águas (LIMA JUNIOR; ABREU 2018).

O sulfato de alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ é o agente coagulante mais utilizado no tratamento de água convencional, por conta da facilidade de obtenção, armazenamento e baixo custo. Quando em contato com água ele sofre dissociação e gera hidróxidos que por estarem carregados positivamente conseguem desestabilizar as partículas coloidais que estão presentes na água, promovendo a aglutinação das mesmas (FOGAÇA, [s. d.]).

4.5.2 Coagulantes orgânicos

Entre os compostos orgânicos mais estudados com propriedades coagulantes, estão as sementes de moringa oleífera, taninos e a quitosana (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018).

4.5.2.1 Coagulantes orgânicos a base de taninos

Taninos são uma das classes mais abundantes de metabólitos secundários de plantas e são encontrados em folhas, frutos, raízes e sementes, são utilizados como constituintes de coagulantes e floculantes, de caráter catiônico polimérico para utilização na clarificação da água devido à sua capacidade de neutralizar cargas superficiais de colóides, ao mesmo tempo em que promovem sua aglomeração e

sedimentação (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018). A Figura 1, a seguir, mostra uma floresta de acácia negra, árvore que é utilizada como matéria prima na extração de tanino para produção de bio coagulantes, no momento de uma colheita na cidade de Butiá - Rio Grande do Sul (RS).

Figura 1 - Colheita de Acácia Negra na cidade de Butiá - RS



Autor: LOPES, 2009. Comunicação pessoal

A acácia negra, originária da Austrália e amplamente cultivada na região sul do Brasil, é a principal matéria-prima para a fabricação de diversos bio coagulantes, sendo o Tanfloc o mais conhecido (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018).

Um dos coagulantes a base de taninos mais conhecido é o Tanfloc SL, coagulante obtido a partir do extrato aquoso da casca de uma espécie de árvore exótica, originária da Austrália denominada acácia negra (*Acacia mearnsii*), muito comum no Brasil e que tem como característica uma concentração alta de taninos (LEAL, et al. 2019).

De acordo com a empresa Tanac (2022) empresa fabricante do Tanfloc SL o produto se aplica em sistemas de partículas coloidais tendo como função a neutralização de cargas e formação de pontes entre as partículas desempenhando a função de agente coagulante, floculante e auxiliar de coagulação no tratamento de água com a finalidade de sedimentação dos mesmos, pode ser utilizado tanto sozinho como combinado com outros agentes como o sulfato de alumínio, cloreto férrico entre outros, consiste em um polímero orgânico-catiônico de baixo peso molecular e tem sua origem essencialmente vegetal.

O tanino quando utilizado para a coagulação é considerado eficaz em uma ampla faixa de pH. O emprego do mesmo desconsidera o uso de alcalinizantes e além disso não acrescenta metais ao processo (CASTRO-SILVA, 2004 *apud.* CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009).

O coagulante Tanfloc SL é eficiente em uma faixa de pH que varia de 4,5 a 8 e por não consumir alcalinidade do meio, seu uso não altera o pH da água tratada (TANAC, 2022).

4.5.2.2 Coagulantes a base de sementes de moringa oleifera

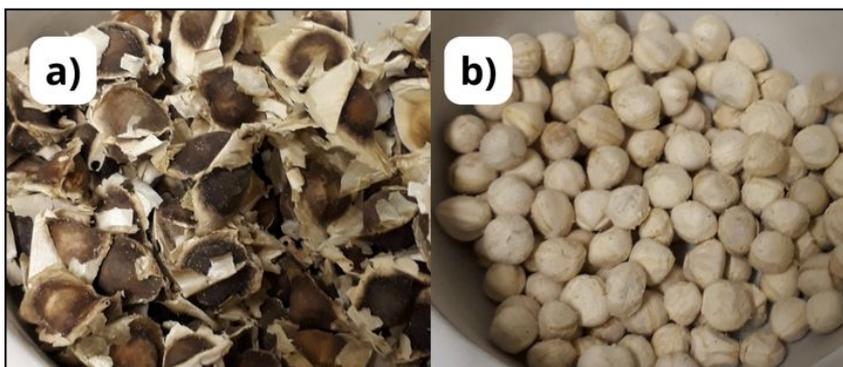
A moringa oleifera (acácia branca) é uma árvore nativa da Índia que pertence à família Moringaceae e é amplamente cultivada em todos os locais do mundo (PEREIRA, *et al.* 2016 *apud.* BALBINOTI, 2018). As figuras 2 e 3 a seguir mostram a árvore moringa oleifera e as sementes da mesma respectivamente:

Figura 2 - Árvore acácia branca



Fonte: Universidade Estadual do Norte Fluminense

Figura 3 - Sementes da árvore moringa oleífera



Legenda: a) semente com cascas; b) sementes descascadas.
Fonte: Autora, 2023

O composto de maior importância para o processo de clarificação da água na semente de moringa é a proteína presente na mesma. A semente de moringa apresenta em sua estrutura uma proteína catiônica de alto peso molecular, que acarreta na desestabilização das partículas coloidais presentes na água que floculam através de um processo de neutralização e adsorção (NDABIGENGESERE; NARASIAH; TALBOT; 1995 *apud*. GALLÃO; DAMASCENO; BRITO; 2006)

4.6 Subprodutos gerados do processo de tratamento de água

No processo de tratamento de água convencional é gerado um subproduto proveniente do processo de clarificação da água denominado lodo, ele é oriundo da lavagem dos filtros e decantadores. As características do lodo variam em função da qualidade da água bruta, dos produtos químicos utilizados no tratamento e do tempo de retenção nos decantadores (PHILLIPI JR, 2005).

Conforme ABNT 10.004/04 o lodo gerado no processo de tratamento de água é classificado como resíduo sólido, logo seu tratamento e disposição final devem cumprir as exigências dos órgãos ambientais.

Segundo Lima Júnior e Abreu (2018), os potenciais efeitos ambientais resultantes do uso de coagulantes inorgânicos à base de alumínio e ferro são frequentemente discutidos, onde os produtos residuais produzidos durante os processos de coagulação e floculação são abundantes em hidróxidos de metal não biodegradáveis.

4.7 Alguns estudos que tratam das eficiências de remoção de cor e turbidez dos coagulantes moringa, tanfloc e sulfato de alumínio

Estudos demonstraram que o coagulante natural Moringa oleifera utilizado no tratamento de água apresentou valores de percentagem de remoção de turvação superiores a 94% (RIBEIRO, 2010), para o Tanfloc SL (LIMA *et. al* 2019) ao fazer comparação do mesmo com sulfato de alumínio observou que em todos os ensaios ambos obtiveram uma melhora dos parâmetros analisados, ressaltando uma maior eficiência do Tanfloc SL em relação ao parâmetro turbidez

Ao fazer a comparação de remoção dos parâmetros cor e turbidez entre os coagulantes sulfato de alumínio, tanino e moringa oleifera (SIQUEIRA, *et al.* 2018) obteve uma percentagem de remoção de turbidez de mais de 80% para todos os coagulantes, sendo o coagulante tanino o que apresentou mais eficiência na extração de turbidez, atingindo 97,6%. Em relação a remoção de cor o tanino foi o que obteve melhor resultado, atingindo 95,6% de remoção.

Coldebella (2019) ao comparar diferentes formas de preparo do coagulante a base de moringa oleifera obteve resultados satisfatórios, onde obteve valores de remoção de cor aparente e turbidez em torno de 80% para todas as formas de preparo utilizadas.

Esses estudos demonstram resultados positivos indicando que se tratam de materiais com potencial para serem utilizados no processo de clarificação da água, quando comparado aos coagulantes químicos que são os mais utilizados.

5 METODOLOGIA

5.1 Área de estudo

A cidade de Caçapava do Sul possui aproximadamente 33.400 habitantes e se localiza no centro do estado do Rio Grande do Sul, na latitude 30°30'44" e longitude 53°29'29" abrangendo uma área territorial de 3.047,113 km², com altitude de 450 metros acima do nível do mar (IBGE 2021).

O sistema de captação, tratamento, abastecimento e distribuição de água do município de Caçapava do Sul é de responsabilidade da CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento. A captação de água bruta destinada ao tratamento é

feita em mananciais superficiais e ocorre em dois locais distintos, sendo eles: Barragem do Salso e Barragem da Fonte do Mato.

A ETA (Estação de Tratamento de Água) de Caçapava do Sul conta com um sistema de tratamento de ciclo convencional, utilizando os processos de coagulação, floculação, decantação e filtração como processo de clarificação da água.

5.2 Preparo dos coagulantes e condições experimentais

Para cada amostra de água coletada, foram preparadas 3 soluções coagulantes para a realização de ensaios, onde as soluções contendo sulfato de alumínio foram preparadas na ETA da CORSAN e as soluções contendo TANFLOC SL e moringa oleífera foram preparadas no Laboratório de Saneamento de Meio Ambiente da UNIPAMPA (LASAMA). Todos os coagulantes foram preparados no mesmo dia da realização dos ensaios. Foram realizados ensaios em um total de 5 amostras de água bruta, totalizando 5 preparos para cada coagulante.

5.2.1 Coagulante natural moringa oleífera

O preparo do coagulante à base de moringa foi preparado no LASAMA da UNIPAMPA e foi adaptado de (RIBEIRO, 2010). A Figura 4 ilustra o processo de preparo do coagulante a base de moringa oleífera:

Figura 4 - Preparo da solução coagulante a base de moringa oleífera



Fonte: Autora, 2023

Para o preparo da solução coagulante a base de semente de moringa oleífera, as sementes foram descascadas, em seguida foram trituradas em liquidificador, o pó obtido da trituração foi pesado e em seguida diluído em água destilada, sendo misturado no liquidificador por 20 segundos em baixa velocidade, as soluções foram preparadas a 1%.

5.2.2 Coagulante biodegradável Tanfloc SL

O coagulante foi cedido pela empresa TANAC, na forma líquida, a solução foi preparada no LASAMA da UNIPAMPA em concentração de 1% por diluição em água destilada.

5.2.3 Coagulante químico Sulfato de Alumínio

O coagulante Sulfato de Alumínio utilizado é o mesmo que é empregado rotineiramente na ETA de Caçapava do Sul, para os ensaios preparou-se o mesmo com concentração de 1%.

5.3 Caracterização físico-química da água bruta

Foram realizadas 5 coletas de água bruta na ETA de Caçapava do Sul, nos dias 11 de maio (amostra 1), 15 de maio (amostra 2), 18 de maio (amostra 3), 25 de maio (amostra 4) e 18 de junho (amostra 5) de 2023 na chegada da água bruta da Estação de Tratamento de Água do município de Caçapava do Sul.

Todos os ensaios de caracterização foram baseados nos procedimentos empregados no laboratório da ETA da CORSAN. A água era coletada em uma bombona com capacidade de 50 litros de armazenamento, conforme mostra a Figura 5 a seguir:

Figura 5 - Coleta de água bruta na ETA de Caçapava do Sul



Fonte: Autora, 2023

Após cada coleta da água era realizada a caracterização da mesma, onde, eram analisados os parâmetros de pH, turbidez, oxigênio consumido e alcalinidade. Todos os procedimentos de caracterização da água bruta foram realizados no laboratório da ETA.

Primeiro era feita a verificação de pH utilizando o pHmetro de bancada da marca Digimed modelo DM-2P (Figura 6), da estação de tratamento de água de Caçapava do Sul.

Figura 6 - pHmetro da ETA de Caçapava do Sul



Fonte: Autora, 2023

Em seguida era feita a verificação da turbidez, utilizando um turbidímetro da marca HACH 2100P conforme a (Figura 7).

Figura 7 - Turbidímetro da ETA de Caçapava do Sul



Fonte: Autora, 2022

Para a análise de cor foram realizados utilizando o aparelho espectrofotômetro DR-3900 como mostra a Figura 8:

Figura 8 - Espectrofotômetro DR-3900 da ETA de Caçapava do Sul



Fonte: Autora, 2023

A determinação de alcalinidade foi realizada através de método titulométrico da (APHA, 2012), no laboratório da ETA de Caçapava do Sul.

Assim como a determinação de oxigênio consumido foi realizada através de método titulométrico (APHA, 2012) para a determinação da faixa de floculação do sulfato de alumínio no laboratório da ETA de Caçapava do Sul.

5.4 Simulação das etapas de clarificação da água em escala de bancada

Os ensaios de simulação das etapas de coagulação, floculação e decantação, foram realizados no aparelho jar-test da marca Ethik do laboratório da ETA de Caçapava do Sul, o mesmo conta com seis jarros e agitação através de pás que são inseridas no centro de cada jarro, como mostra a (Figura 9), a seguir:

Figura 9 - Aparelho de teste dos jarros da ETA de Caçapava do Sul



Fonte: Autora, 2023

Após a realização da caracterização da água bruta, para cada amostra coletada foram realizados ensaios com os coagulantes sulfato de alumínio, tanfloc SL e moringa oleifera separadamente, ou seja, para cada amostra se realizava uma bateria de testes para cada coagulante utilizando dosagens diferentes para que então se encontrasse aquela que melhor clarificou a água, para isso em cada ensaio foram dispostos 1L de água em cada jarro, as pás ajustadas ao centro dos copos de forma que não colidissem com as paredes dos mesmos em seguida nos copos dosadores eram dispostas as dosagens do coagulante para cada copo e em seguida iniciava-se o ensaio, no mesmo momento em que iniciava-se a agitação entornava-se os copos dosadores simultaneamente através de um suporte. As velocidades de mistura utilizadas para simular as etapas de clarificação durante o ensaio, estão representadas a seguir no Quadro 2:

Quadro 2 - Velocidades de mistura utilizadas para simular as etapas de clarificação

	mistura rápida	mistura lenta	mistura lenta
Rotação por minuto (RPM)	120	70-80	50-60
Tempo (min)	1	3	11

Fonte: Autora, 2023

Para a simulação da etapa de decantação foi utilizado um tempo de 10 minutos para que fossem sedimentados os flocos formados durante o tempo de mistura.

5.5 Caracterização de parâmetros físico-químicos da água pós tratamento

Os procedimentos para a caracterização dos parâmetros pH, turbidez, cor e alcalinidade foram os mesmos adotados para as análises nas características da água bruta, após 10 minutos de sedimentação e simulação da filtração com algodão da água floculada, todos os ensaios foram realizados no laboratório da ETA.

Esse procedimento foi realizado após todos os ensaios utilizando sulfato de alumínio, tanfloc SL e moringa, para que através dos resultados obtidos após o tratamento com cada dosagem utilizada, pudesse ser escolhida a dosagem ótima, ou seja, aquela que mais clarificou a água coletada.

A determinação de alumínio residual foi realizada após o processo de filtração, somente para o ensaio em que foi utilizado o sulfato de alumínio como coagulante. Foi feito utilizando o aparelho espectrofotômetro, mostrado anteriormente na Figura 8.

5.6 Avaliação da eficiência de tratamento da água

Conforme Von Sperling (1996), o grau, porcentagem ou eficiência de remoção de determinada impureza na água, pode ser calculado considerando os valores iniciais e finais de determinado parâmetro.

Baseado nisso para avaliar a eficiência de remoção (ER) em porcentagem da cor e da turbidez podemos fazer o uso da expressão:

$$ER = \left[\frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor final}}{\text{Valor inicial}} \right] * 100 \quad (1)$$

Para o cálculo da eficiência de remoção da cor e da turbidez da água foi utilizada essa relação.

5.7 Análise estatística dos dados

Para a realização da análise estatística dos dados obtidos durante os ensaios foi utilizado o programa estatístico Jamovi® (versão 2.3), onde após a transferência dos dados para o mesmo foram realizados: análise estatística descritiva, utilizando o teste de Shapiro-Wilk, o teste de Kruskal-Wallis e o teste de comparações múltiplas de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF). Também foram plotados gráficos do tipo box-plot para a melhor visualização dos dados.

O programa estatístico Jamovi® (versão 2.3) é um software estatístico (link para download <https://www.jamovi.org/>), utilizado para análise de dados e realização de testes estatísticos, através dele podem ser aplicados aos dados diversos tipos de análises.

A estatística descritiva é um passo muito importante na análise dos dados e tem como objetivo realizar a descrição, organização e resumo de um conjunto de dados (GUEDES, [s. d.]

O teste de Shapiro-Wilk tem como objetivo avaliar se a distribuição dos dados estudados segue uma distribuição normal, para que a distribuição dos dados seja considerada normal o valor de p-shapiro-wilk deve ser maior que 0,05 ($p > 0,05$), se esse valor for menor que 0,05 ($p < 0,05$) a distribuição dos dados é considerada diferente da normal.

Para analisar dados que não seguem uma característica de normalidade existem inúmeros testes, um deles é o de Kruskal-Wallis, utilizado neste trabalho para que fosse feita a análise estatística dos dados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo foram realizados ensaios de clarificação da água em escala de bancada, utilizando os coagulantes sulfato de alumínio (Al_2SO_4), tanfloc SL e moringa oleífera. Foram coletadas um total de 5 amostras de água bruta para a realização dos ensaios e para cada amostra foram testadas dosagens de sulfato de alumínio, tanfloc SL e moringa oleífera

6.1 Caracterização da água bruta

Foram feitas as caracterizações da água bruta para cada amostra coletada, após as coletas eram determinados o pH, oxigênio consumido, alcalinidade, cor e turbidez. A Tabela 1, a seguir, mostra as características das águas coletadas para os ensaios e seus respectivos dias.

Tabela 1 - Características da água bruta e seus respectivos dias de coleta

Amostra	pH	O2 Consumido (mg/L)	Alcalinidade (mg CaCO3/L)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)
1	7,1	7,4	41	66,4	24,6
2	7,2	6,8	50	56,3	21,3
3	7	6,6	67	44,4	13,6
4	7,1	6,3	77	31,5	7,2
5	7,8	5,9	84	34,5	12,7
Médias	7,2	6,6	63,8	46,2	15,8

Fonte: Autora, 2023

Para cada amostra de água coletada foram realizados ensaios utilizando os três coagulantes, ou seja, para cada amostra foi feita uma bateria de testes para cada coagulante em estudo, para que se encontrassem as dosagem mais eficiente na clarificação para cada tratamento.

Visto os valores listados na tabela, para cada dia de coleta e as respectivas características da água, na realização dos ensaios utilizando o coagulante sulfato de alumínio para nenhuma das amostras foi necessário realizar a alcalinização da água, pois, embora quanto maior a dosagem de sulfato de alumínio a alcalinidade diminuísse, a mesma se manteve suficiente para que o coagulante fizesse o seu trabalho, assim como para os coagulantes tanfloc SL e moringa oleífera, pois os mesmos não consomem significativamente a alcalinidade da água e funcionam a uma ampla faixa de pH.

A faixa de floculação para os testes utilizando sulfato de alumínio foi determinada a partir da análise de oxigênio consumido.

6.2 Análise estatística dos dados

Todos os dados resultantes dos ensaios realizados para as cinco amostras de água bruta, foram transferidos para o programa estatístico Jamovi® (versão 2.3), sendo eles os coagulantes utilizados e as respectivas dosagens testadas, como também os valores de cor e turbidez após os tratamentos.

O primeiro passo foi realizar uma estatística descritiva de todos esses dados, para que se pudesse escolher qual análise estatística poderia ser utilizada para realizar a comparação entre os tratamentos aplicados. A tabela 2 a seguir apresenta os resultados referente ao número de amostras (N), a mediana e teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

Tabela 2 - Resultados da estatística descritiva dos dados

	Coagulantes	Dosagem (ppm)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)
N	Sulfato de alumínio	27	27	27
	Tanfloc	30	30	30
	Moringa	24	24	24
Mediana	Sulfato de alumínio	37	5.80	0.330
	Tanfloc	82.0	6.95	0.325
	Moringa	920	8.90	0.700
W de Shapiro-Wilk	Sulfato de alumínio	0.962	0.570	0.431
	Tanfloc	0.984	0.627	0.465
	Moringa	0.841	0.782	0.492
p Shapiro-Wilk	Sulfato de alumínio	0.415	< .001	< .001
	Tanfloc	0.915	< .001	< .001
	Moringa	0.002	< .001	< .001

Fonte: Gerado por programa Jamovi® (versão 2.3)

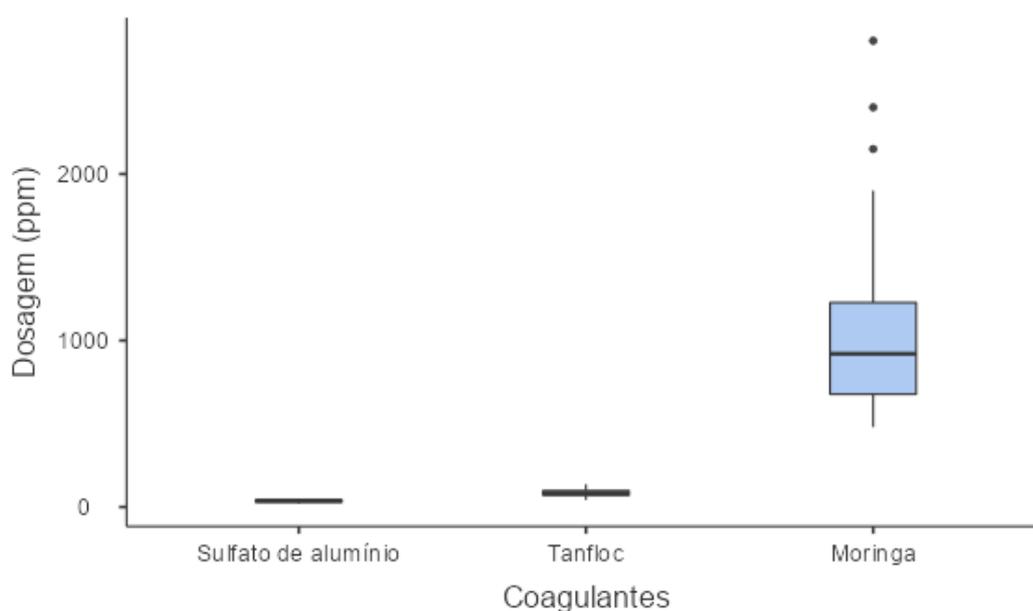
Na tabela 2 acima, pode-se observar que houve um total de 27 dosagens testadas com sulfato de alumínio, 30 dosagens para o Tanfloc e 24 dosagens para a moringa, ou seja, para cada amostra de água bruta foram testadas cerca de 5 dosagens para cada coagulante.

Para que se escolhesse o teste a ser utilizado, foi necessário que se soubesse se os dados de dosagens, cor e turbidez resultantes da utilização das mesmas seguiam um padrão de distribuição normal.

Pela análise estatística de normalidade indicada por p Shapiro-Wilk, podemos observar que os valores de p para a cor e a turbidez onde foram utilizados sulfato de alumínio, tanfloc SL e moringa são menores que 0,05 ($p < 0,05$), logo, temos que a distribuição dos dados não segue a normalidade.

A partir dessa análise foi possível gerar gráficos do tipo box-plot . A seguir podemos observar no gráfico 1 a relação entre os coagulantes utilizados e suas dosagens.

Gráfico 1 - Relação entre os coagulantes e suas respectivas dosagens

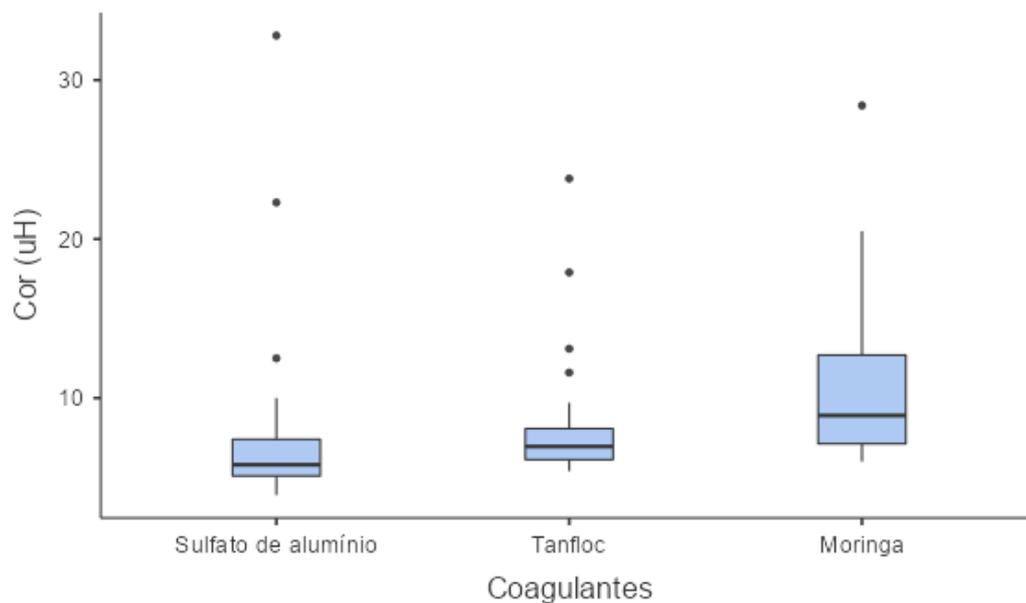


Fonte: Programa Jamovi® (versão 2.3)

Pode-se notar no gráfico acima que a dosagem de sulfato de alumínio e de tanfloc utilizadas ao longo dos testes foram próximas embora as dosagens utilizadas para o tanfloc tenham sido maiores que para o sulfato de alumínio demonstrando uma similaridade no processo, já as dosagens de moringa, quando comparada aos outros dois coagulantes são bem maiores.

No gráfico 2 tem-se a relação entre os coagulantes utilizados e as cores resultantes dos ensaios realizados.

Gráfico 2 - Relação entre os coagulantes utilizados e as cores resultantes dos tratamentos

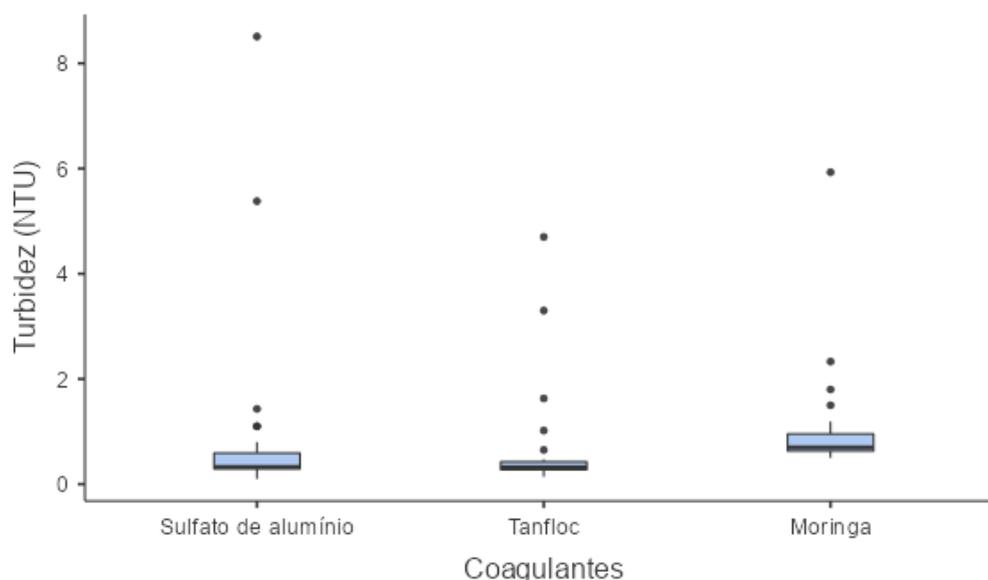


Fonte: Gerado por programa Jamovi® (versão 2.3)

Pode-se ver que os resultados da análise de resultantes do uso do Tanfloc e para o uso de sulfato de alumínio se mantêm similares. Já as cores para o coagulante à base de moringa se mantêm maiores que as demais.

No gráfico 3, tem-se a relação dos coagulantes e os resultados para o parâmetro de turbidez.

Gráfico 3 - Relação entre os coagulantes utilizados com a turbidez após tratamento



Fonte: Gerado por programa Jamovi® (versão 2.3)

No gráfico acima pode-se ver que os resultados para o parâmetro turbidez após aplicação dos coagulantes sulfato de alumínio e o tanfloc SL apresentam similaridade, já a moringa comparada aos outros coagulantes não apresenta similaridade, tendo valores resultantes de turbidez após aplicação maiores que os demais.

Levando em consideração que a maioria dos dados não apresentaram normalidade, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis para comparar entre os coagulantes utilizados: o total de dosagens testadas, cor e turbidez resultantes das mesmas, para indicar se há diferença significativa entre os mesmos. A tabela 3 abaixo mostra o resultado do teste aplicado.

Tabela 3 - Resultados da análise de Kruskal-Wallis

	χ^2	gl	p
Dosagem (ppm)	70.2	2	< .001
Cor (uH)	15.7	2	< .001
Turbidez (NTU)	23.3	2	< .001

Fonte: Gerado por programa Jamovi® (versão 2.3)

No caso, temos valores de p menores que 0,05 ($p < 0,05$) logo, o teste de Kruskal-Wallis aponta que há diferença significativa nas dosagens, cor e turbidez entre coagulantes aplicados.

Como no teste só é indicado que há uma diferença significativa entre os dados, para que pudesse se saber entre quais coagulantes havia essa diferença, realizou-se a comparação das dosagens, cor e turbidez entre os coagulantes, para isso utilizou-se o teste de comparações múltiplas de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner, a tabela 4 a seguir mostra os resultados obtidos

Tabela 4 - Teste de comparação múltipla Dwass-Steel-Critchlow-Fligner

Comparações múltiplas - Dosagem			
		W	p
Sulfato de alumínio	Tanfloc	8.99	< .001
Sulfato de alumínio	Moringa	8.65	< .001
Tanfloc	Moringa	8.87	< .001

Comparações múltiplas - Cor			
		W	p
Sulfato de alumínio	Tanfloc	2.91	0.100
Sulfato de alumínio	Moringa	4.99	0.001
Tanfloc	Moringa	3.92	0.016

Comparações múltiplas - Turbidez			
		W	p
Sulfato de alumínio	Tanfloc	-0.976	0.769
Sulfato de alumínio	Moringa	5.194	< .001
Tanfloc	Moringa	6.543	< .001

Fonte: Gerado pelo programa Jamovi® (versão 2.3)

Como pode-se observar, para as comparações entre as dosagens testadas para os coagulantes, temos um valor de p menor que 0,05 o que indica que há uma diferença significativa entre as dosagens utilizadas para todos os coagulantes no processo de clarificação.

Para os valores de cor após tratamento na comparação entre a utilização do sulfato de alumínio e tanfloc não há uma diferença significativa, pois o p é maior que 0,05 ($p > 0,05$)

Já para a comparação entre o sulfato de alumínio e moringa, assim como para o tanfloc e moringa há uma diferença significativa nos valores de cor após tratamento, pois, o p é menor que 0,05 ($p < 0,05$).

Para a comparação de turbidez observa-se que entre os coagulantes sulfato de alumínio e tanfloc não há diferença significativa nos resultados, pois o valor de p é maior que 0,05 ($p > 0,05$). No entanto, quando comparados sulfato de alumínio e moringa, tem-se uma diferença significativa.

6.3 Eficiência de remoção de cor e turbidez

Para o cálculo eficiência de remoção em porcentagem de cor e turbidez, foi utilizada a relação determinada por Von Sperling (1996), onde são consideradas as cores iniciais encontradas na água bruta, com as cores resultantes das dosagens ótimas encontradas para cada tratamento empregado.

6.3.1 Eficiência de remoção do parâmetro cor

A tabela 5 a seguir demonstra para cada amostra coletada, as dosagens ótimas encontradas para cada coagulante, assim como a cor da água bruta e a cor após aplicação dos coagulantes. Estes valores foram utilizados para calcular a porcentagem de eficiência de remoção através da relação determinada por Von Sperling (1996).

Tabela 5 - Porcentagem eficiência na remoção de cor das amostras coletadas.

Amostra	Coagulante	Dosagem (ppm)	Cor (uH) água bruta	Cor (uH) com tratamento	% Eficiência de remoção cor
1	SA	47	66,4	3,9	94,1
	TSL	90	66,4	7,3	89
	MO	1170	66,4	10,9	83,6
2	SA	44	56,3	4,1	92,7
	TSL	85	56,3	6,1	89,2
	MO	740	56,3	12,2	78,3

3	SA	48	44,4	4,9	89
	TSL	120	44,4	5,4	87,8
	MO	2400	44,4	6	86,5
4	SA	42	31,5	5,7	81,9
	TSL	106	31,5	6	81
	MO	1150	31,5	8,7	72,4
5	SA	42	34,5	4,9	85,8
	TSL	74	34,5	6,7	80,6
	MO	940	34,5	7,7	77,7

Legenda: SA= Sulfato de alumínio; TSL=Tanfloc SL; MO=Moringa oleifera

Fonte: Autora, 2023

6.3.2 Eficiência de remoção do parâmetro turbidez

A tabela 6 a seguir demonstra para cada amostra coletada, as dosagens ótimas encontradas para cada coagulante, assim como a turbidez da água bruta e a turbidez após tratamento. Estes valores foram utilizados para calcular a porcentagem de eficiência de remoção através da relação determinada por Von Sperling (1996).

Tabela 6 - Porcentagem eficiência na remoção de turbidez das amostras coletadas

Amostra	Coagulante	Dosagem (ppm)	Turbidez (NTU) água bruta	Turbidez (NTU) com tratamento	% Ef.remoção turbidez
1	SA	47	24,6	0,22	99
	TSL	90	24,6	0,35	99
	MO	1170	24,6	1,19	95
2	SA	44	21,3	0,1	100
	TSL	90	21,3	0,2	99
	MO	740	21,3	0,8	96

3	SA	48	13,6	0,3	98
	TSL	120	13,6	0,3	98
	MO	2400	13,6	0,7	95
4	SA	42	7,2	0,4	95
	TSL	106	7,2	0,4	95
	MO	1150	7,2	0,6	92
5	SA	42	12,7	0,3	97
	TSL	74	12,7	0,2	98
	MO	1150	12,7	0,5	96

Legenda: SA= Sulfato de alumínio; TSL=Tanfloc SL; MO=Moringa oleifera
 Fonte: Autora, 2023

Para a melhor visualização os dados foram plotados no programa Jamovi, onde foram feitas as médias dos valores de eficiência de remoção de cor e turbidez para cada coagulante, para que posteriormente fossem gerados gráficos de coluna destes dados. A tabela 7 a seguir apresenta estes dados:

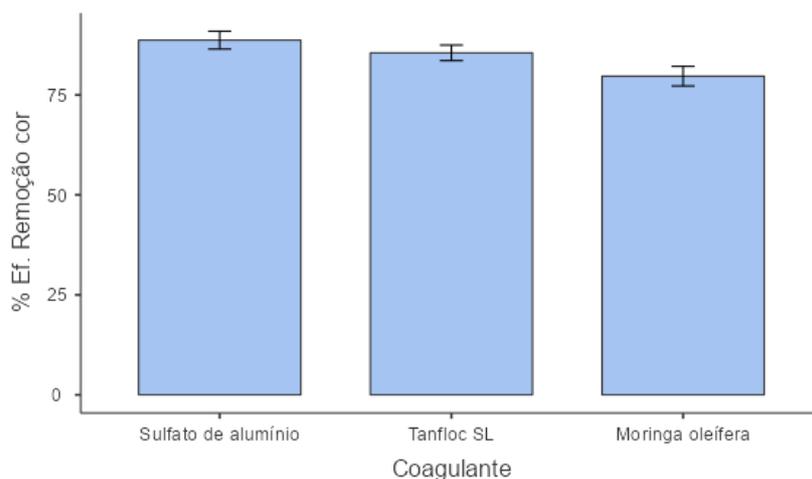
Tabela 7 - Média dos valores resultantes da % de eficiência de remoção de cor e turbidez

	Coagulante	% Ef. Remoção cor	%Ef. Remoção turbidez
N	Sulfato de alumínio	5	5
	Tanfloc SL	5	5
	Moringa oleifera	5	5
Média	Sulfato de alumínio	88,7	97,8
	Tanfloc SL	85,5	97,8
	Moringa oleifera	79,7	94,8
95% IC média limite inferior	Sulfato de alumínio	82,5	95,4
	Tanfloc SL	80,1	95,8
	Moringa oleifera	72,9	92,8
95% IC média limite superior	Sulfato de alumínio	94,9	100
	Tanfloc SL	90,9	99,8
	Moringa oleifera	86,5	96,8

Legenda: N=Número dados para cada grupo; IC=Intervalo de Confiança
 Fonte: Gerado pelo programa Jamovi® (versão 2.3)

O gráfico 4 abaixo ilustra as médias dos resultados das porcentagens eficiência de remoção de cor.

Gráfico 4 - Eficiência média da remoção de cor pelos coagulantes

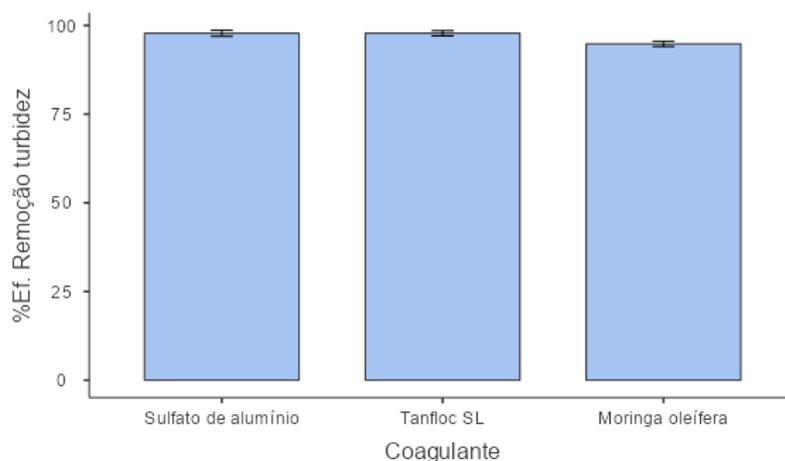


Fonte: Gerado pelo programa Jamovi® (versão 2.3)

Podemos observar que em média para todas as cinco amostras de água bruta, as dosagens ótimas encontradas para o sulfato de alumínio se mantiveram mais eficientes na remoção do parâmetro cor quando comparada aos demais, seguida por o coagulante tanfloc que teve uma porcentagem de remoção da cor para todas as amostras menor que o sulfato de alumínio em média 85,5% de remoção de cor e maior que a moringa com média de remoção de cor de 79,7%. As melhores dosagens encontradas utilizando a moringa se mantiveram com menor eficiência de remoção de cor para todas as amostras quando comparada ao sulfato de alumínio e ao Tanfloc.

As médias obtidas dos valores de eficiência de remoção em porcentagem de turbidez se encontram no gráfico 5

Gráfico 5 - Eficiência média da remoção de turbidez



Fonte: Gerado pelo programa Jamovi® (versão 2.3)

Como se pode observar na no gráfico 5 acima, o sulfato de alumínio e o Tanfloc obtiveram médias de porcentagem de eficiência de remoção de turbidez para iguais, sendo 97,8%. A porcentagem média de eficiência de remoção de turbidez para as dosagens ótimas encontradas para a moringa, se manteve menor que a dos demais coagulantes para os ensaios em todas as amostras de água bruta, tendo uma média de 94,8% de eficiência de remoção de turbidez.

6.4 Estimativa de custo para os tratamentos

Para a realização da estimativa de custos para o período de um ano, dos coagulantes utilizados neste estudo, foi feito o levantamento do valor em que são vendidos os produtos utilizados no estudo, foi calculada a média entre as dosagens determinadas como ótimas para o tratamento de cada amostra de água bruta, assim como foram levantados os dados sobre valor de produção em metros cúbicos (m³) de água pela ETA em um período dos últimos 12 meses. Os valores em reais referentes aos produtos utilizados estão na tabela 8 a seguir:

Tabela 8 - Valores dos produtos utilizados em reais

Coagulante	Valor R\$/kg	Valor R\$/g	Dosagem média (g/m ³)
SA	1,23	0,00123	47
TSL	7	0,007	106
MO	632,13	0,63213	1170

Legenda: SA= Sulfato de alumínio; TSL=Tanfloc SL; MO=Moringa oleífera

Os preços inseridos na tabela para o sulfato de alumínio foram fornecidos pela companhia de tratamento de água, os do Tanfloc, pela TANAC fabricante do coagulante e através do preço pago em 174g de semente de moringa, calculou-se o valor de 1kg.

A tabela 9 a seguir, mostra o volume produzido de água pela ETA em um período de 12 meses:

Tabela 9 - Produção de água tratada pela ETA no período de 12 meses

Meses/Ano	Produção (m ³)
Julho (2022)	161566
Agosto (2022)	160394
Setembro (2022)	158324
Outubro (2022)	167428
Novembro (2022)	167268
Dezembro (2022)	183790
Janeiro (2023)	182640
Fevereiro (2023)	156958
Março (2023)	177844
Abril (2023)	133597
Mai (2023)	146774
Junho (2023)	142382
Total	1938965

Os dados da produção de água tratada foram disponibilizados pela CORSAN, foi feita a multiplicação do total de m³ produzidos na ETA no período 12 meses, pela

média das dosagens ótimas encontradas nos ensaios e pelo preço equivalente em gramas para cada produto. A tabela 10 a seguir, demonstra a estimativa de custos em reais, para cada coagulante utilizado no estudo:

Tabela 10 - Estimativa de custos da utilização dos coagulantes por ano

Coagulante	Estimativa custo R\$/ano
SA	R\$ 112.091,57
TSL	R\$ 1.438.712,03
MO	R\$ 1.434.043.196,18

Legenda: SA= Sulfato de alumínio; TSL=Tanfloc SL; MO=Moringa oleífera

Como pode-se ver na tabela 10, o coagulante sulfato de alumínio resulta em um valor mais baixo, seguido pelo Tanfloc SL e por último a moringa oleífera muito distante dos demais.

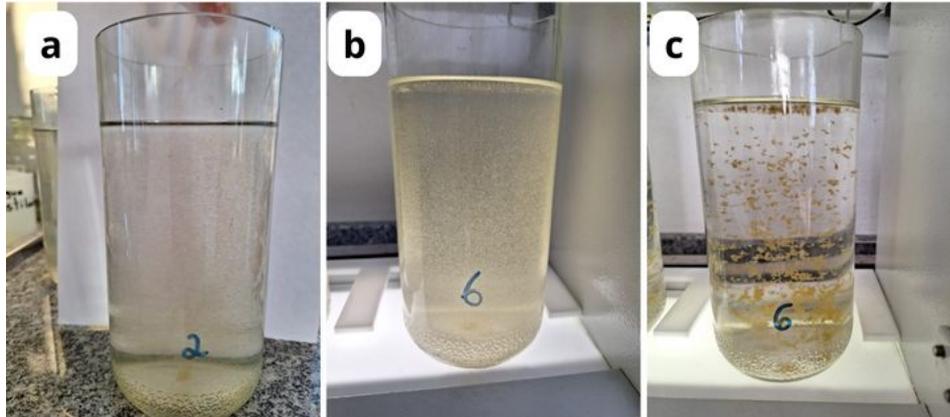
Com isso, podemos fazer uma relação entre as estimativas de custo obtidas, onde em um ano do uso de Tanfloc, o custo seria aproximadamente 13 vezes maior quando comparado ao sulfato de alumínio.

Já para a estimativa de um ano do uso da moringa oleífera geraria um custo exorbitantemente maior de 12.793 vezes maior quando comparado ao sulfato de alumínio.

6.5 Algumas observações realizadas durante os ensaios

Durante os ensaios foi possível visualizar alguns aspectos de cada coagulante, como a característica dos flocos formados durante a floculação, assim como na etapa de sedimentação. A figura 10 a seguir, ilustra as características dos flocos durante a realização dos ensaios.

Figura 10 - Aspecto visual dos flocos formados para cada coagulantes



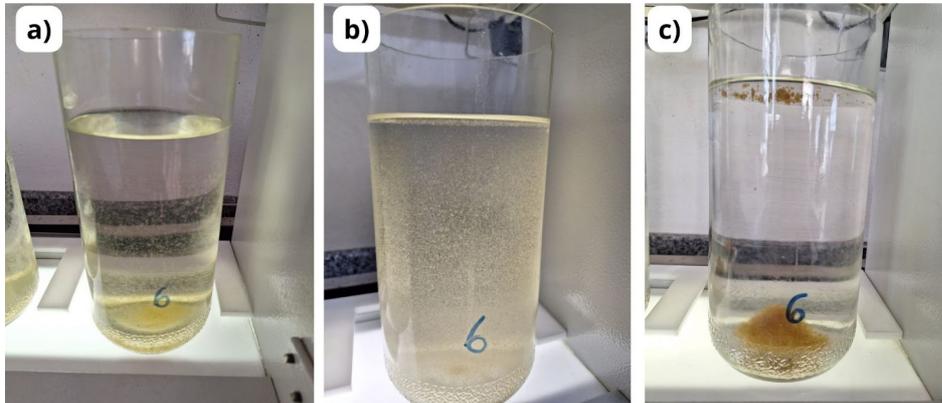
Legenda: a) Sulfato de alumínio; b) Moringa oleifera; c) Tanfloc SL
Fonte: Autora, 2023

Como se pode observar na figura acima, os flocos formados durante o processo de floculação com os coagulantes utilizados têm características diferentes.

Referente a característica dos flocos formados, o Tanfloc SL é o que mais se diferencia quanto a coloração e tamanho, ele apresenta um flocos com maior tamanho e irregularidade na estrutura que os flocos resultantes da utilização do sulfato de alumínio e da moringa oleifera. De acordo com Vanacôr (2005) o flocos resultante da utilização do coagulante tanfloc apresenta uma superfície maior com formato irregular, ocasionando uma maior área de contato comparado ao flocos do sulfato de alumínio, por exemplo.

Na etapa de sedimentação pode-se observar que o coagulante Tanfloc possui uma maior velocidade de sedimentação quando comparado aos demais coagulantes, pois, aos 5 minutos desta etapa todos os flocos formados na etapa de floculação para este coagulante estavam praticamente decantados. A figura 11 a seguir, mostra a situação de sedimentação dos flocos dos coagulantes aos 5 minutos de sedimentação.

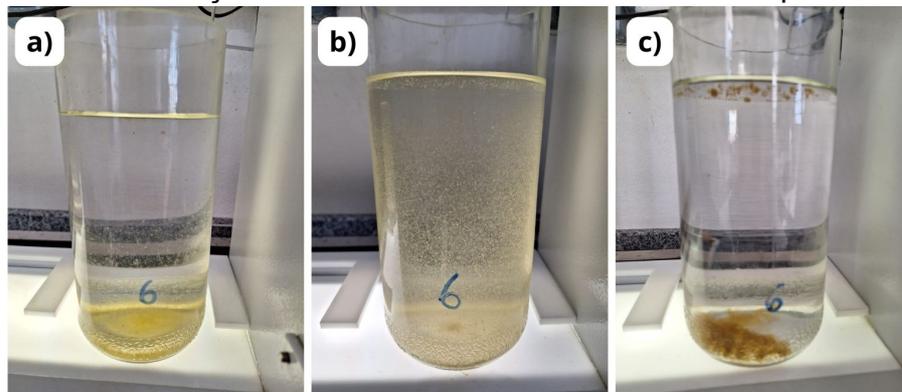
Figura 11 - Observação da sedimentação dos flocos formados pelos coagulantes



Legenda: a) sulfato de alumínio b) moringa c) tanfloc SL
Fonte: Autora, 2023

Foi feito também o registro fotográfico aos 10 minutos de sedimentação dos flocos, tempo final do processo. A figura 12 mostra a etapa de sedimentação aos 10 minutos:

Figura 12 - Sedimentação dos flocos formados aos 10 minutos pelos coagulantes



Legenda: a) sulfato de alumínio b) moringa e c) tanfloc SL
Fonte: Autora, 2023

Pode-se ver na Figura 12, que os coagulantes tanfloc e sulfato de alumínio estão com a maior parte dos flocos formados sedimentados, enquanto a moringa não.

Considerando a observação da velocidade de sedimentação do tanfloc ser maior quando comparado ao sulfato de alumínio, por exemplo, essa pode ser considerada uma vantagem pois, é menor a chance de ocorrer arraste de partículas, não sedimentadas para os filtros, resultando em uma menor necessidade de retrolavagem dos mesmos.

Além disso o Tanfloc SL não conta com residual de alumínio no processo, assim como o lodo gerado pelo mesmo tem característica biodegradável o que tornaria a sua disposição final não prejudicial ao meio ambiente.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo foi possível observar que em todos os ensaios realizados, os coagulantes sulfato de alumínio, tanfloc SL e moringa oleífera aplicados na água bruta resultaram em uma redução nos parâmetros de cor e turbidez das águas após as aplicações.

No entanto, a análise estatística considerando todos os dados de todos os ensaios realizados, quando comparados com coagulante sulfato de alumínio que é utilizado na ETA, somente o Tanfloc SL não apresentou diferenças significativas nas remoções de cor e turbidez. O coagulante à base de moringa oleífera demonstrou diferença significativa.

Levando em conta a eficiência de remoção em porcentagem dos parâmetros cor e turbidez resultantes das dosagens ótimas encontradas, os coagulantes sulfato de alumínio e moringa oleífera apresentaram resultados muito próximos aos do sulfato de alumínio.

Ao fazer a estimativa dos custos para um ano de uso dos coagulantes através da média das dosagens ótimas encontradas para cada um, chega-se à conclusão de que embora o tanfloc SL tenha se mostrado como uma alternativa ao sulfato de alumínio o valor de custo estimado se torna inviável, visto que será gasto aproximadamente 13 vezes mais que o uso do sulfato de alumínio, isso acontece também com o coagulante a base de moringa oleífera que tem um valor exorbitantemente maior comparado aos demais.

Ficam como sugestões para trabalhos futuros um estudo mais aprofundado sobre a velocidade de sedimentação e características dos flocos formados por esses coagulantes. Assim como o estudo das características físico-químicas do lodo gerado pelos mesmos.

REFERÊNCIAS

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** American Public Health Association, American Water Works Association, Water. .22th ed. Washington. 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos sólidos - Classificação.** Disponível em: <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em 14 de novembro de 2022.

BALBINOTI, J. R. et al. **Uso de sementes de Moringa oleifera como agente coagulante para o tratamento de água.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 11, n. 5, p. 1748-1760, 2018.

BITTENCOURT, Cláudia; PAULA, Maria Aparecida Silva, D. **Tratamento de Água e Efluentes - Fundamentos de Saneamento Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos.** São Paulo, SP: Editora Saraiva, 2014. E-book. ISBN 9788536521770. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521770/> Acesso em 06 de novembro de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Boas práticas no abastecimento de água: Procedimento para a minimização dos riscos à saúde.** Brasília, 2006. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/boas_praticas_agua.pdf Acesso em 5 de janeiro de 2023.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS.** Brasília, 2014. Disponível em <https://repositorio.funasa.gov.br/bitstream/handle/123456789/491/06> Acesso em 27 de junho de 2023.

BRASIL. Fundação Nacional da Saúde. **Manual Prático de Análise de Água.** Brasília, 2013. Disponível em http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf Acesso em 02 de novembro de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. **Os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Disponível em https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html Acesso em 31 de outubro de 2022.

CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CARVALHO, M. J. H; **Uso De Coagulantes Naturais No Processo De Obtenção De Água Potável.** Disponível em <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3586> Acesso em 19 de janeiro de 2023.

COLDEBELLA, F. P; VALVERDE, C. K. **Avaliação Da Semente De Moringa Oleifera Lam Em Pó E Em Soluções Aquosa E Salina No Tratamento De Água Superficial.** Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=155&SUMARIO=4017>

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R. B; BASSETTI, F. J. **Estudo da viabilidade de utilização do polímero natural (TANFLOC) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo.** Disponível em <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/4/F.%20J.%20Bassetti%20-%20Resumo%20Exp.pdf>

FIORENTINI, V. **Uso do tanino no processo de tratamento de água como melhoria em sistema de gestão ambiental.** Disponível em <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/8427?show=full>

FOGAÇA, J. R. V. **Coagulação e Floculação.** Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/coagulacao-floculacao.html> Acesso em 23 de janeiro de 2023.

GALLÃO, M. I; DAMASCENO, L. F; DE BRITO, E. S. **Avaliação química e estrutural da semente de moringa.** Revista Ciência Agrônômica, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.

GUEDES, T. A; ACORSI, C. R. L; MARTINS, A. B. T; JANEIRO, V. Projeto de Ensino: Aprender Fazendo Estatística. **Estatística Descritiva.** Disponível em https://www.ime.usp.br/~rvicente/Guedes_et_al_Estatistica_Descritiva.pdf Acesso em 10 de junho de 2023

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística . **Cidades e Estados : Caçapava do Sul.** Brasília. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/cacapava-do-sul.html> Acesso em 26 de dezembro de 2022.

KONRADT-MORAES, L. C. **Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável.** 2010

LEAL, S. F; NUNES, C. A; DE CARVALHO W; DE OLIVEIRA, A. F; **Implantação de coagulante de alta performance à base de tanino para tratamento de água com foco na redução de turbidez da água bruta.** Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/coagulante-tanino-tratamento-agua-turbidez/>

LIMA JUNIOR, R. N; ABREU, F. O M. S. **Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidade.** Disponível em <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v10n3a2> Acesso em: 15 de janeiro de 2023

LIMA, A. R. B; SILVA, J. F. S; OLIVEIRA J. P; BEZERRA D. E; SANTOS W. B. **Análise Da Eficiência Do Coagulante Tanfloc SL Como Alternativa Ao Uso Do Sulfato**

De Alumínio Com Utilização De Pré-Oxidação No Tratamento De Águas Naturais. 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63130>

NUNES, N. A; NAGEL, G. W; SILVA, B. S. G; COSTA, M. T. V; MILANI, I. C. B; **Avaliação da eficiência da utilização da semente de moringa oleifera no tratamento de água.** 2014. Disponível em <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/3/PAP018355.pdf>

PHILLIP, JR. A. **Saneamento, saúde e ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável.** São Paulo: Manole, 2005

RIBEIRO, A. T. A. **Aplicação da Moringa Oleifera no tratamento de água para consumo humano : remoção de poluentes por coagulação-floculação.** Disponível em: <http://hdl.handle.net/10216/59823>, Acesso em 10 de dezembro de 2022.

RICHTER, C. A. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento.** São Paulo: Blucher, 2009.

RICHTER, C, A; AZEVEDO NETTO, José M. **Tratamento de água: Tecnologia atualizada.** São Paulo: Blucher, 1991

ROSALINO, Melanie Roselyne Rodrigues. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano.** Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011. Disponível em <https://core.ac.uk/download/pdf/303714863.pdf>

SANTOS FILHO, D. F. dos; **Tecnologia de tratamento de água.** 3ª ed. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 1989.

SILVA, Amanda Leticia Oliveira et al. **Possíveis efeitos do alumínio presente na água tratada.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 1, p. 1413-1420, 2020.

SIQUEIRA, A. P. S. et al. **Análise da performance dos coagulantes naturais Moringa oleifera e tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água.** Enciclopédia Biosfera, v.15, n. 27, p. 18-29, 2018.

TANAC S. A. **Tanfloc SL.** Disponível em: https://www.tanac.com.br/novo/wp-content/uploads/2021/06/CT_TANFLOC_SL_PT_0.pdf Acesso dia 02 de novembro de 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO NORTE FLUMINENSE. **Árvores da UENF. Moringa.** Disponível em <https://uenf.br/projetos/arvoresdauenf/especie-2/moringa/> Acesso em 28 de junho de 2023

VANACÔR, R. N. **Avaliação do coagulante veta organic utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento público.** 2005. Disponível em <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/6900/000492016.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em 28 de junho de 2023

VESILIND, P. A.; MORGAN, S. M. **Introdução à engenharia ambiental**. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ª ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996