



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**EDSON ARAÚJO DA SILVA DUTRA**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE COAGULANTES ORGÂNICOS E  
INORGÂNICOS EM AMOSTRA DE ÁGUA NATURAL ORIUNDA DA  
BARRAGEM ARAÇAGI**

**CAMPINA GRANDE**

**2024**

**EDSON ARAÚJO DA SILVA DUTRA**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE COAGULANTES ORGÂNICOS E  
INORGÂNICOS EM AMOSTRA DE ÁGUA NATURAL ORIUNDA DA  
BARRAGEM ARAÇAGI**

Dissertação de mestrado apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

**Área de concentração e/ou Linha de pesquisa:** Tecnologias de Tratamento de água e de resíduos.

**Orientadora:** Dra. Weruska Brasileiro Ferreira

**Coorientador:** Dr. Whelton Brito dos Santos

**CAMPINA GRANDE**

**2024**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

D978a Dutra, Edson Araujo da Silva.

Avaliação de desempenho de coagulantes orgânicos e inorgânicos em amostra de água natural oriunda da barragem Araçagi [manuscrito] / Edson Araujo da Silva Dutra. - 2024.

50 p. : il. colorido.

Digitado. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2024. "Orientação : Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT. " "Coorientação: Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT. "

1. Tratamento da água. 2. Coagulantes orgânicos. 3. Qualidade da água. 4. Coagulantes orgânicos cationizados. I. Título

21. ed. CDD 628

**EDSON ARAÚJO DA SILVA DUTRA**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE COAGULANTES ORGÂNICOS E  
INORGÂNICOS EM AMOSTRA DE ÁGUA NATURAL ORIUNDA DA  
BARRAGEM ARAÇAGI**

Dissertação de mestrado apresentada à  
Coordenação do Programa de Pós-Graduação  
em Ciência e Tecnologia Ambiental da  
Universidade Estadual da Paraíba, como  
requisito parcial à obtenção do título de Mestre  
em Ciência e Tecnologia Ambiental.

**Área de concentração e/ou Linha de  
pesquisa:** Tecnologias de Tratamento de água  
e de resíduos.

Aprovado(a) em: 30/08/2024.

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Dra. Weruska Brasileiro Ferreira (Orientadora)**  
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

---

**Dr. Whelton Brito dos Santos (Coorientador)**  
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

---

**Dra. Marcia Ramos Luiz (Examinadora Interna)**  
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

---

**Dra. Monica de Amorim Coura (Examinadora Externa)**  
Universidade Federal de Campina Grande – UFPB

---

**Dra. Lucia Maria de Araujo Lima Gaudencio (Examinadora Externa)**  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

## RESUMO

A água é um bem natural e precioso para a sobrevivência, porém para que ela possa ser consumida e utilizada nos afazeres domésticos, deve passar por um processo de tratamento em várias etapas, em estação de tratamento de água (ETA). Outro fator importante relacionado à água, é que deve-se tratá-la como um bem que pode se tornar escasso ao longo dos anos, devido aos períodos de estiagem, despejo inadequado de materiais em lixões, rios e lagos que podem contaminar lençóis freáticos e mananciais, dentre outros fatores. A geologia de uma região que compõe mananciais que abastecem estações de tratamento de água, por sua vez, pode influenciar diretamente na qualidade da água bruta a ser tratada e, em algumas situações, o solo desse tipo de barragem, como é o caso da barragem de Araçagi, pode conter diversos metais, dentre eles o ferro e o manganês. A presença desses metais acarretam diversos problemas nas ETAs, que podem dificultar o tratamento da água por meio de ETA's de ciclo completo. Para isso, novas técnicas de tratamento são necessárias a fim de aprimorar o tratamento de água. A coagulação é uma das etapas principais no tratamento de água e requer novas pesquisas para aprimorar o tratamento em ETAs. Considerando a importância do tratamento de água, o presente estudo teve o objetivo de avaliar a eficiência da ação de vários coagulantes em diferentes concentrações, orgânicos (à base de Tanino), como Angico, Cajueiro, Jurema e Tanfloc. Também foi analisado o coagulante inorgânico Sulfato de Alumínio. Por meio de ensaios de tratabilidade com esses coagulantes, foi possível observar uma melhoria na qualidade d'água, avaliados por meio dos parâmetros físico-químicos da água natural, como, turbidez, cor aparente e verdadeira, variações no pH, e remoção dos metais ferro e manganês, em escala de laboratório. O estudo constatou que, dentre todos os coagulantes utilizados, os coagulantes orgânicos apresentaram melhor desempenho, obtendo até 97% de remoção de manganês para o coagulante a base de Angico e remoção de 75% de ferro utilizando o coagulante Tanfloc.

**Palavras-chave:** água; tratamento; coagulantes; qualidade de água; coagulantes orgânicos cationizados.

## ABSTRACT

Water is a natural and precious resource for survival, but in order for it to be consumed and used for domestic purposes, it must undergo a multi-stage treatment process at a water treatment plant (WTP). Another important factor related to water is that it must be treated as a resource that can become scarce over the years due to periods of drought, improper dumping of materials in landfills, rivers and lakes that can contaminate groundwater and springs, among other factors. The geology of a region that contains springs that supply water treatment plants, in turn, can directly influence the quality of the raw water to be treated and, in some situations, the soil of this type of dam, such as the Araçagi dam, can contain several metals, including iron and manganese. The presence of these metals causes several problems in WTPs, which can make it difficult to treat water using full-cycle WTPs. To this end, new treatment techniques are needed to improve water treatment. Coagulation is one of the main steps in water treatment and requires further research to improve treatment in WTPs. Considering the importance of water treatment, this study aimed to evaluate the efficiency of the action of several organic coagulants (tannin-based) at different concentrations, such as Angico, Cajueiro, Jurema and Tanfloc. The inorganic coagulant Aluminum Sulfate was also analyzed. Through treatability tests with these coagulants, it was possible to observe an improvement in water quality, evaluated by means of the physical-chemical parameters of natural water, such as turbidity, apparent and true color, variations in pH, and removal of iron and manganese metals, on a laboratory scale. The study found that, among all the coagulants used, organic coagulants performed best, achieving up to 97% manganese removal for the Angico-based coagulant and 75% iron removal using the Tanfloc coagulant.

**Keywords:** water; treatment; coagulants; water quality; cationized organic coagulants.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Fluxograma da pesquisa.....	24
Figura 2 –	Mapa de localização da barragem Araçagi.....	25
Figura 3 –	Valores de turbidez para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min.....	31
Figura 4 –	Valores de turbidez para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,0 cm/min alumínio.....	32
Figura 5 –	Valores de cor aparente para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min .....	33
Figura 6 –	Valores de cor aparente para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,0 cm/min.....	34
Figura 7 –	Valores de cor verdadeira para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min.....	35
Figura 8 –	Valores de cor verdadeira para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,0 cm/min.....	36
Figura 9 –	Valores de pH para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min .....	37
Figura 10 –	Valores de pH para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,0 cm/min .....	38
Figura 11 –	Valores de manganês para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min .....	39
Figura 12 –	Valores de manganês para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,0 cm/min).....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Ensaio realizado para amostras de água bruta da Barragem de Araçagi.	27
Tabela 2 –	Parâmetros físico-químicos.....	27
Tabela 3 –	Configurações do Jar Test utilizado no experimento.....	28
Tabela 4 –	Valor médio dos parâmetros e desvio padrão da água bruta utilizada no experimento.....	30
Tabela 5 –	Valores de Ferro total para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min.....	41
Tabela 6 –	Valores de Ferro total para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,0 cm/min).....	41
Tabela 7 –	Valores de Ferro solúvel para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min .....	42
Tabela 8 –	Valores de Ferro solúvel para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,0 cm/min.....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas
ANOVA	Análise de Variância
ETA	Estação de Tratamento de Água
LARTECA	Laboratório Referência em Tecnologia de Águas
mg/L	Miligramas por Litro
pH	Potencial Hidrogeniônico
RPM	Rotação por Minuto
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAC	Sistema de Atendimento ao Consumidor
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
uH	Unidade de Cor
uT	Unidade de Turbidez

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1</b>	<b>Tratamento de água para consumo humano.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Estação de tratamento de água de ciclo completo.....</i></b>	<b><i>14</i></b>
<b>4.1.1.1</b>	<b><i>Coagulação.....</i></b>	<b><i>14</i></b>
<b>4.1.1.2</b>	<b><i>Floculação.....</i></b>	<b><i>15</i></b>
<b>4.1.1.3</b>	<b><i>Decantação.....</i></b>	<b><i>15</i></b>
<b>4.1.1.4</b>	<b><i>Filtração.....</i></b>	<b><i>16</i></b>
<b>4.1.1.5</b>	<b><i>Desinfecção.....</i></b>	<b><i>16</i></b>
<b>4.2</b>	<b>Parâmetros de potabilidade.....</b>	<b>17</b>
<b>4.3</b>	<b>Parâmetros físico-químicos da água .....</b>	<b>18</b>
<b>4.3.1</b>	<b><i>Cor.....</i></b>	<b><i>18</i></b>
<b>4.3.2</b>	<b><i>pH.....</i></b>	<b><i>18</i></b>
<b>4.3.3</b>	<b><i>Turbidez.....</i></b>	<b><i>19</i></b>
<b>4.3.4</b>	<b><i>Ferro e manganês presente em águas naturais.....</i></b>	<b><i>20</i></b>
<b>4.4</b>	<b>Coagulantes.....</b>	<b>22</b>
<b>4.4.1</b>	<b><i>Coagulantes orgânicos.....</i></b>	<b><i>22</i></b>
<b>4.4.2</b>	<b><i>Coagulantes inorgânicos.....</i></b>	<b><i>23</i></b>
<b>4.5</b>	<b>Teste de jarro ou Jar Test.....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1</b>	<b>Descrição da área de estudo.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1.1</b>	<b><i>Reservatório barragem de Araçagi.....</i></b>	<b><i>25</i></b>
<b>5.2</b>	<b>Coleta de amostras.....</b>	<b>25</b>
<b>5.3</b>	<b>Ensaio de tratabilidade.....</b>	<b>26</b>
<b>5.3.1</b>	<b><i>Determinações analíticas.....</i></b>	<b><i>27</i></b>
<b>5.3.2</b>	<b><i>Ensaio com Jar Test.....</i></b>	<b><i>27</i></b>
<b>5.4</b>	<b>Teste ANOVA one-way.....</b>	<b>29</b>

<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>6.1</b>	<b>Quaidade da água bruta.....</b>	<b>30</b>
<b>6.2</b>	<b>Turbidez.....</b>	<b>30</b>
<b>6.3</b>	<b>Cor aparente.....</b>	<b>32</b>
<b>6.4</b>	<b>Cor verdadeira.....</b>	<b>35</b>
<b>6.5</b>	<b>pH.....</b>	<b>37</b>
<b>6.6</b>	<b>Manganês.....</b>	<b>39</b>
<b>6.7</b>	<b>Ferro total.....</b>	<b>40</b>
<b>6.8</b>	<b>Ferro solúvel.....</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Para que a água exerça seu papel na sociedade, é necessário que seja tomado um conjunto de cuidados, desde a captação nos mananciais e aquíferos, até o uso e descarte pela população (Salvatierra; Oliveira; Zarbin, 2010). Estes cuidados estão relacionados não apenas aos aspectos da qualidade da água, mas também da segurança quanto à sua disponibilidade para atender ao abastecimento humano, industrial, comercial, agrícola, pecuário, recreacional, de geração de energia elétrica, entre outros.

Assim, a distribuição dever ser realizada racionalmente, evitando a degradação e as perdas de água (Santos *et al.*, 2011). No Brasil, os procedimentos relativos ao controle e vigilância da qualidade da água e os padrões de potabilidade para consumo humano foram revisados e estabelecidos conforme a Portaria da Consolidação nº 5, Anexo XX, de 2017, alterada pela Portaria nº 888/2021, do Ministério da Saúde (Brasil, 2021).

No Brasil, dentre as várias tecnologias que existem no mercado, pode-se destacar o tratamento convencional de água, muito utilizado em estações de tratamento de água (ETAs). Para esse tipo de tratamento, é fundamental que a etapa de coagulação seja eficiente, haja vista que as etapas seguintes dependem que essa etapa tenha acontecido com qualidade na desestabilização das partículas suspensas e coloidais (Di Bernardo; Dantas; Voltan, 2017). Dentre as etapas do tratamento de água convencional, a coagulação é de fundamental importância para se obter resultados satisfatórios no tratamento convencional e, por esse motivo, vários estudos relacionados a coagulantes estão cada vez mais em evidência.

Existem vários agentes coagulantes inorgânicos à base de sais metálicos, muito utilizados no processo de tratamento de água, dentre eles, um dos mais utilizados é o Sulfato de Alumínio devido a sua maior disponibilidade e menor custo (Libânio, 2016). Apesar de seus benefícios, esses coagulantes inorgânicos ainda geram desafios no tratamento de água em ETAs, devido à grande produção de lodo de difícil manuseio e tratabilidade, podendo resultar em resíduos químicos na água após o tratamento (Silveira, 2018).

Diante dos problemas gerados na produção e descarte do lodo através do uso do coagulante Sulfato de Alumínio em estação de tratamento de água, o uso de coagulantes orgânicos aparece como alternativa a ser utilizada nesse tratamento, entre eles destaca-se os derivados de tanino. Tal alternativa poderia significar maior eficiência no tratamento e minimizar a problemática provocada pelo uso do sulfato de alumínio. Estudos demonstraram desempenho satisfatório no uso dos coagulantes à base de tanino para a remoção de metais e eficiência na coagulação e produção de lodo biodegradável, facilitando seu tratamento e

descarte final (Piantá, 2008; Silveira, 2018; Santos *et al.*, 2018).

Assim, para se encontrar a melhor dosagem de coagulante para uma determinada amostra de água bruta, deve-se proceder experimentos laboratoriais, através, por exemplo, da utilização de *Jar Test* (teste de jarro), que irá permitir uma concepção de dosagem ótima de coagulante (Braga, 2014).

Nesse sentido, diante das dificuldades na utilização de coagulante inorgânico devido às características químicas do lodo e a possibilidade de promover residual de metais prejudiciais à saúde, como alumínio na água após o tratamento, o que não ocorre com a utilização dos coagulantes orgânicos.

Nesse estudo, considerou-se a água bruta da barragem Araçagi para realização de ensaios *Jar Test* em laboratório, com diferentes tipos de coagulantes e diferentes dosagens, a fim de avaliar e identificar os melhores resultados e qual(is) seria(m) o(s) coagulante(s) com melhor aproveitamento em remoção de ferro e manganês, variação de pH, além da remoção dos parâmetros turbidez, cor aparente e verdadeira.

## 2 JUSTIFICATIVA

Diante das dificuldades que existem nas estações de tratamento de água convencional para diversas características química, físicas e microbiológicas das águas brutas utilizadas para sistema de abastecimento de água, as quais podem comprometer a saúde pública, faz-se necessário buscar novas técnicas que podem melhorar a performance do tratamento de ciclo completo, como o uso de novos coagulantes, a exemplos de coagulantes orgânicos cationizados, identificar novas velocidades de sedimentação que se adequam aos coagulantes e a qualidade da água bruta, em especial águas com presença de ferro e manganês, bem como nos parâmetros turbidez, cor e pH que são fundamentais para avaliar a eficiência do tratamento convencional.

Nessa perspectiva, é importante estudos que possam contribuir para uma melhor condição de tratabilidade das estações de tratamento convencional, como é proposto nesse estudo, que consta basicamente na análise do uso de novos coagulantes com diferentes velocidades de sedimentação que terão sua eficiência avaliada por meio de alguns parâmetros físico-químicos, a fim de fornecer uma água de consumo humano mais segura a população.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar o desempenho de coagulantes orgânicos e inorgânicos na remoção de turbidez, cor aparente e verdadeira, ferro, manganês e variação no pH, em ensaios de bancada, no tratamento da água da barragem Araçagi.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar a água bruta da barragem Araçagi, em termos dos parâmetros físico-químicos turbidez, cor aparente e verdadeira, pH, ferro e manganês.
- Avaliar a eficiência de coagulantes orgânicos e inorgânico, em dosagens variadas, em ensaios de bancada considerando os parâmetros físico-químicos.
- Analisar a influência de diferentes velocidades de sedimentação na performance de cada tipo de coagulante analisado neste estudo.

## **4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **4.1 Tratamento de água para abastecimento humano**

De acordo com a Portaria GM/MS nº 888, de 04 de Maio de 2021, todos os recursos hídricos disponíveis na natureza, devem passar por algum tratamento para torna-se potável (Brasil, 2021). A água destinada para consumo humano deve passar por um tratamento prévio, para tornar isenta de agentes patogênicos e oferecer água sem riscos à saúde dos consumidores (Junior, 2021).

A água é indispensável para o consumo humano, porém, devido à sua escassez e, em alguns casos, à pouca quantidade de água do manancial de abastecimento, pode-se constatar a presença de inúmeras substâncias na água, ou seja, elementos químicos ou microrganismos que, em concentrações elevadas, podem ser prejudiciais à saúde humana (Carli; Costa, 2020).

Para isso, o tratamento e distribuição de água potável à população ocorrem após um processo realizado em estação de tratamento de água de ciclo completo.

#### ***4.1.1 Estação de Tratamento de água (ETA) de ciclo completo***

No tratamento de água em ciclo completo, consiste em um tratamento de água bruta, onde é aplicado um agente coagulante na etapa de mistura rápida, podendo ser um sal de alumínio ou de ferro, em que ocorre a formação de precipitados do metal do coagulante, onde aprisionam as impurezas da água. Em seguida, a água coagulada passa para etapa de mistura lenta, com o intuito de formar flocos até que atinjam tamanhos e massa específica suficiente para sedimentar na etapa seguinte, nos decantadores (Di Bernardo; Dantas; Voltan, 2017).

Após, a água clarificada segue para unidade de filtração descendente, composta por material filtrante de granulometria apropriada (Silveira, 2018).

##### ***4.1.1.1 Coagulação***

A escolha do coagulante é essencial para um bom funcionamento da etapa de coagulação. Para isso, essa escolha dependerá da tecnologia do tratamento, do custo do coagulante e das características da água a ser tratada (Anjos, 2021).

Conforme Junior (2021) a coagulação é a etapa mais importante do tratamento de água, pois, tem o objetivo de remover as impurezas presentes na água bruta, e que para este processo

é necessário à adição de agentes coagulantes que se hidrolisam ao serem adicionados à água, promovendo a desestabilização das partículas coloidais suspensas para em seguida ocorrer à aglutinação e sedimentação. O sulfato de alumínio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  e o cloreto férrico  $\text{FeCl}_3$ , são os agentes coagulantes mais utilizados no sistema de tratamento de água por terem eficiência e bom custo-benefício (Junior, 2021).

Estudo como o de Silveira (2018) mostram que esta etapa do tratamento é de muita importância para eficiência das etapas seguintes, pois, necessitam de uma boa desestabilização das partículas suspensas e coloidais durante esta etapa.

#### 4.1.1.2 Floculação

A floculação é uma das etapas do tratamento que consiste na clarificação da água. Através de um conjunto de fenômenos físicos, que ocorre para reduzir o número de partículas suspensas e coloidais presentes na água. É através da etapa de floculação que acontece a formação de flocos das partículas que foram desestabilizadas no processo da coagulação, onde esses flocos serão removidos na etapa seguinte por sedimentação. A eficiência da floculação depende da eficiência da etapa anterior, a coagulação (Junior, 2021).

O desempenho das etapas seguintes do tratamento de água, também depende da eficiência da etapa de floculação, pois a ineficiência desta pode comprometer o desempenho da sedimentação e filtração (Di Bernardo; Dantas; Voltan, 2017).

#### 4.1.1.3 Decantação

A decantação é um fenômeno físico e natural, que devido ação da gravidade, ocorre à sedimentação das partículas suspensas em meio líquido de menor massa específica. Estudos apontam que, as unidades de tratamento convencionais necessitam desta etapa de tratamento em virtude da água submetida ao tratamento apresentar concentrações elevadas de sólidos dissolvidos, coloidais ou suspensos. Para um processo de sedimentação eficiente nas unidades, deve-se levar em consideração a taxa de aplicação superficial, que tem relação direta com a velocidade de sedimentação das partículas suspensas (Francisco *et al.*, 2011).

O processo de sedimentação é baseado no fato em que uma partícula coloidal suspensa em meio líquido, e de massa específica maior, ela tem seu processo de sedimentar acelerado em virtude da ação da gravidade, até que o peso específico da partícula seja igualado às forças de viscosidade do meio líquido (Di Bernardo; Dantas; Voltan, 2017).

A velocidade de sedimentação em ETA's influencia diretamente no desempenho da unidade, onde através de ensaios em laboratório, pode-se determinar a velocidade de sedimentação a ser utilizada e multiplicada por um fator K. A ABNT NBR 12216 de Abril de 1992, estabelece valores para o fator K, para dimensionar os ensaios a depender da tratabilidade da unidade, sendo que, para estações com capacidade de até 1000 m<sup>3</sup>/dia, utiliza-se o fator K=0,50, unidades com capacidade entre 1000 e 10000 m<sup>3</sup>/dia, utiliza-se o fator K=0,70 e para unidade com capacidade superior, utiliza-se o fator K=0,80.

#### *4.1.1.4 Filtração*

A filtração é a etapa do processo de tratamento que consiste na remoção de algumas partículas em suspensão ou coloidais, não removidas nas etapas anteriores do tratamento, e que são responsáveis pela turbidez da água, onde a presença destes reduz a eficiência da etapa seguinte, a desinfecção, na inativação dos microrganismos patogênicos. Pode-se considerar que a filtração em ETA's é o processo final de remoção de impurezas, pois consiste na passagem da água por um meio filtrante, que possa remover partículas ou alguns microrganismos existentes. Em sistemas de tratamento convencional, o filtro de areia é o mais utilizado, por possuir baixo custo de manutenção (Junior, 2021).

#### *4.1.1.5 Desinfecção*

O Art. 24 da Portaria GM/MS nº 888, de 04 de Maio de 2021, estabelece que toda água para consumo humano que seja fornecida de forma coletiva deverá passar por processo de desinfecção para manutenção dos residuais mínimos. Assim como, o Art. 32 da mesma Portaria, estabelece obrigatoriedade de se manter no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda rede do sistema de distribuição (Brasil, 2021).

Estudos apontam que a etapa de desinfecção é considerada como a última barreira para os microrganismos, podendo ser utilizada agentes físicos ou químicos. A desinfecção promove a inativação de microrganismos, mantendo a qualidade microbiológica da água distribuída. Para que ocorra eficiência na desinfecção, deve-se levar em consideração alguns fatores considerados essenciais, como as características da água, os microrganismos a serem inativados e o potencial de oxidação do agente desinfetante, que em sua maioria, utiliza-se o cloro gasoso (Junior, 2021).

## 4.2 Parâmetros de potabilidade

A água é um bem essencial à vida de todos os seres, portanto, quando for destinada para o consumo da população, deve passar por processo de tratamento, que a torne apta ao consumo humano (Michelan *et al.*, 2019).

A água potável segue um rigoroso conjunto de parâmetros, que deve ser seguido com rigor, antes de ser distribuída à população.

Mesmo ainda não sendo claro a toda a população que a água é um bem finito e que é necessário proceder ao seu uso consciente para se ter uma segurança hídrica para os próximos anos, também é importante garantir a implementação de políticas que assegurem o direito do saneamento básico a todos (Carli; Costa, 2020).

A Portaria MS Nº 2914 de 12 de Dezembro de 2011, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e em seu Art. 3º estabelece que toda água destinada ao consumo humano, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água (Brasil, 2011).

Já na Portaria GM/MS Nº 888, em seu capítulo V, a água potável deve atender a padrões de potabilidade estabelecidos, estando em conformidade microbiológica para garantir a qualidade da água a ser distribuída. Alguns desses padrões estão dispostos em Brasil (2021, n.p.):

§ 1º No controle da qualidade da água, quando forem detectadas amostras com resultado positivo para coliformes totais, mesmo em ensaios presuntivos, ações corretivas devem ser adotadas pelo responsável pelo SAA ou SAC e novas amostras devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos até que revelem resultados satisfatórios.

§ 2º Nos sistemas de distribuição, as novas amostras devem incluir no mínimo uma recoleta no ponto onde foi constatado o resultado positivo para coliformes totais e duas amostras extras, sendo uma à montante e outra à jusante do local da recoleta.

§ 3º As recoletas não devem ser consideradas no cálculo do percentual mensal de amostras com resultados positivos de coliformes totais.

§ 4º O resultado negativo para coliformes totais das recoletas não anula o resultado originalmente positivo no cálculo dos percentuais de amostras com resultado positivo.

§ 7º Quando houver interpretação duvidosa nas reações típicas dos ensaios analíticos na determinação de coliformes totais e *Escherichia coli*, deve-se fazer recoleta.

Todo esse procedimento e cuidados com o tratamento de água são necessárias para garantir um produto de qualidade, que satisfaça e atenda aos padrões de potabilidade vigentes na base legal.

### 4.3 Parâmetros físico-químicos da água

Diversos parâmetros da água são analisados em estação de tratamento, dentre eles estão a Cor, o pH e a turbidez. É necessário manter o controle desses parâmetros em ETAs, pelo fato que se estes estiverem em desequilíbrio podem afetar o desempenho das etapas do processo de tratamento e conseqüentemente a qualidade da água produzida.

#### 4.3.1 Cor

De acordo com Piantá (2008), a cor da água é decorrente de vários fatores, a exemplo da presença de substâncias dissolvidas e coloidais de origem natural e oriundas da decomposição da matéria orgânica vegetal e também a presença de ferro e manganês.

Existe diferença para classificar a cor apresentada na água, sendo classificada como “cor aparente” e “cor verdadeira”, onde a cor aparente é causada pela matéria dissolvida e em suspensão, enquanto que a cor verdadeira é decorrente especificamente apenas da matéria dissolvida (Braga, 2014).

Para tanto, a Portaria MS Nº 888 de 04 de Maio de 2021, estabelece o padrão de potabilidade para cor aparente de no máximo 15 uH para água potável (Brasil, 2021).

Segundo Bezerra (2018), a cor é um parâmetro de qualidade da água que na maioria das vezes está associada à presença de metais (Fe e Mn), muito comum em águas subterrâneas, matéria orgânica de degradação de matéria de origem vegetal, além de outras substâncias presentes dissolvidas na água.

De acordo com Di Bernardo, Dantas e Voltan (2017, p. 40).

As substâncias húmicas (SH), responsáveis pela cor verdadeira da água, são encontradas em solo, solos turfosos, sedimentos e águas naturais. São formadas pela degradação química e biológica de resíduos de vegetais e de animais, e da atividade de síntese de microrganismos. Nas águas naturais, a matéria orgânica natural (MON) é geralmente composta por substâncias que podem ser agrupadas como substâncias não húmicas (carboidratos, proteínas, lipídios, aminoácidos e ácidos orgânicos de baixo peso molecular) e substâncias húmicas (SH).

#### 4.3.2 pH

O pH tem influência direta na qualidade da água tratada, uma vez que valores baixos de pH tornam a água tratada mais agressiva, corrosiva. Em contrapartida, valores de pH elevados,

podem originar a formação de incrustações em tubulações (Piantá, 2008).

Libânio (2016) avalia que o pH seja o parâmetro que requer maior frequência de monitoramento na rotina operacional das ETAs devido a sua influência em diversas etapas no processo de tratamento de água, desde a aplicação dos coagulantes até o processo de desinfecção. Esse monitoramento ocorre por meio de potenciômetro ou pHmetro, em unidades de tratamento de água (Libânio, 2016).

De acordo com Junior (2021), a faixa de pH favorável à manutenção do sistema de abastecimento de água e que esteja segura ao consumo humano, deve estar no intervalo de 6,0 a 9,0. O pH é um dos principais parâmetros físico-químicos da água e seu controle é fundamental para eficiência nas etapas do tratamento de água nas estações.

### **4.3.3 Turbidez**

A turbidez que se apresenta na água é decorrente de vários fatores, dentre os quais pode-se citar os materiais suspensos, devido ao lixiviado dos mananciais em virtude dos períodos chuvosos, quando o arrasto do volume de água promove o aumento da turbidez.

Segundo Piantá (2008), a turbidez na água é devida à presença de substâncias em suspensão e coloidais de origem natural.

A diminuição no índice desse parâmetro faz-se necessária para manter um bom desempenho no processo de desinfecção na etapa final do tratamento, pois os microrganismos utilizam as partículas presentes como escudo para se defenderem do agente desinfetante, promovendo resultado insatisfatório na etapa (Braga, 2014).

A turbidez para o tratamento não é apenas questão de estética para expressar a qualidade da água, atua como indicador sanitário. A turbidez da água é um dos principais parâmetros para escolha da tecnologia de tratamento e controle operacional nos processos de tratamento de água (Bezerra, 2018).

Para garantir o cumprimento das exigências relativas aos indicadores microbiológicos, a Portaria MS Nº 2914 de 12 de Dezembro de 2011, em seu Art. 30º estabelece o valor máximo permitido (VMP) de turbidez de 0,5 uT para água filtrada pós tratamento de ciclo completo, garantindo o atendimento do VMP de 5,0 uT em toda rede de distribuição (Brasil, 2011).

Já a Portaria MS Nº 888 de 04 de Maio de 2021, estabelece maior rigidez no controle da turbidez na saída do tratamento, estabelecendo também 0,5 uT para água filtrada, porém, aumentou-se a frequência das análises nas ETA's, passando a ser realizada a cada (02) duas horas (Brasil, 2021).

Portanto, a turbidez para o tratamento de água está relacionada diretamente com a filtração, onde quanto maior este parâmetro, o sistema de filtração poderá apresentar dificuldades tornando-se até mais oneroso, além de agregar a água características como cor, odor e sabor, podendo refletir em não aceitação para o consumo humano (Bezerra, 2018).

#### ***4.3.4 Ferro e Manganês presente em águas naturais***

O ferro é um dos elementos mais importantes e abundantes da Terra, ficando atrás apenas do oxigênio, silício e alumínio, ao lado do qual é o mais importante elemento metálico. Na indústria, os compostos de ferro utilizados são os óxidos, carbonatos e sulfetos, de onde o metal é obtido através dos minérios de ferro (Ramos, 2010).

O ferro e o manganês são componentes encontrados em solos e rochas e suas presenças em águas naturais se dá devido à interação com a água, outros metais também podem ser encontrados devido à ação de despejos industriais e atividades agrícolas (Madeira, 2003).

Segundo Ramos (2010), o ferro é o elemento mais útil dentre os metais:

As suas aplicações, bem como as das suas ligas, na construção metálica de todos os tipos são muito conhecidos. Os compostos de ferro têm aplicações muito diversas: o sulfato ferroso é usado em tinturaria e como fungicida; o oxalato ferroso é usado em reveladores foto/figuras; a limonita e a hematita são usadas como pigmentos, adsorventes e abrasivas; a magnetita é utilizada na fabricação de eletrodos industriais; o nitrato e o cloreto de ferro são usados como mordentes como hemostáticos e reagentes industriais. (Ramos, 2010, p 8).

O ferro na água pode ocorrer de duas maneiras, na forma iônica ou complexada, em estado coloidal ou dispersa, sendo que o ferro só ocorre na forma iônica (ferroII) se o pH estiver abaixo de 3 ou se a água estiver livre de oxigênio.

A presença de ferro em águas naturais, na ausência de oxigênio e de baixo pH, vai estar na forma química reduzida ( $\text{Fe}^{+2}$ ), portanto, solúvel. A partir do momento que ocorre a oxidação do material pela aeração ou pela aplicação de um agente oxidante, esses metais presentes na água são precipitados, em condição contrária não havendo a oxidação, a presença do metal ferro pode fornecer a água uma coloração avermelhada (Piaia, 2021).

O manganês é um pouco diferente pois, após o ferro e o titânio, o manganês é o metal de transição mais abundante, compreendendo cerca de 0,1% da crosta terrestre. (Ramos, 2010).

Segundo Madeira (2003), o manganês encontra-se em rochas metamórficas e sedimentares, já os dióxidos de manganês, tais como a manganita e a pirolusita, aglutinam-se nos solos e, com o passar do tempo, os componentes mais solúveis se separam por lixiviação.

O manganês pode ser utilizado em diversas situações, sendo que uma das principais aplicações do manganês puro é a fabricação de ligas de ferro manganês e ligas não ferrosas com alumínio e magnésio, cobre, zinco, entre outros. Também é muito utilizado na fabricação de pilhas, fertilizantes, tintas e vernizes (Ramos, 2010).

Na água, o manganês pode se apresentar de diversas formas, como afirma (Ramos, 2010).

Os metais que estão presentes na água bruta, possivelmente e fortemente complexados com os compostos húmicos, são muito solúveis e difíceis de serem removidos por processos convencionais de tratamento. Após a filtração e aplicação de cloro, este oxida a matéria orgânica liberando e oxidando os metais, principalmente o ferro e o manganês. Esses metais na presença de alcalinidade (correção de pH), passam as suas formas finais de oxidação, ou seja, os hidróxidos metálicos que são insolúveis em água, resultando em coloração amarelo-claro, laranja-tijolo, marrom avermelhado, preto, etc. Estas reações em função da liberação de gás carbônico, podem levar até 48 horas para se processarem totalmente, ou seja, ocorrem reações de precipitação similares às que ocorrem no processo de floculação. Estas reações irão se formar principalmente em redes, onde a velocidade da água é baixa (Ramos, 2010, p. 9-10).

Segundo Apolinário *et al.* (2018), vários problemas podem ocorrer com o aumento da concentração de íons ferro e manganês na água. O ferro e o manganês na forma  $Fe^{2+}$  e de  $Mn^{2+}$  formam compostos solúveis, mas se precipitam na forma de  $Fe^{3+}$  e  $Mn^{4+}$  ao entrarem em contato com o agente oxidante, originando compostos insolúveis e conferindo cor avermelhada, para precipitados do ferro, e marrom escuro, para precipitados do manganês, além de deixar a água com aspecto indesejável e de aparência turva. A coloração das águas naturais é, portanto, decorrente, principalmente, da decomposição da matéria orgânica existente nos próprios mananciais como também em suas margens.

O acúmulo de ferro e manganês nos tubos de distribuição, também pode acarretar transtornos obstruindo as tubulações, pois esses metais em contato com o oxigênio oxidam e por possuírem baixa solubilidade, precipitam no interior das tubulações (Almeida *et al.*, 2019).

A precipitação do manganês é de difícil ocorrência e também depende do pH, pois a ocorrência de oxidação do manganês presente em águas naturais, depende de um valor de pH maior que 8,0. Os problemas causados pela presença de manganês nas águas são similares aos que são gerados pela presença do ferro, principalmente, a coloração indesejada (Piaia, 2021).

Outros fatores a se considerar em água com a presença de ferro e manganês distribuída à população são o aparecimento de manchas em roupas e utensílios domésticos, sabor desagradável e até interferência em processos industriais (Ramos, 2010).

Ao ingerir água contendo manganês o ser humano não sofre danos à saúde, porém, essa condição afeta a forma com que a água será apresentada. Sendo antes exposta ao processo de

aeração, a mesma pode sofrer com aumento da turbidez, prejudicando a parte estética do líquido e tornando a água não aceitável.

Diante do exposto sobre ferro e o manganês, a Portaria MS N° 888 de 04 de Maio de 2021, estabelece o padrão de potabilidade e (VMPs) de 0,3 mg/L e 0,1 mg/L, para o ferro e manganês, respectivamente. Contudo, permite valores acima do estabelecido para água potável, desde que: 1) Estejam complexados como produtos químicos e não ofereça risco à saúde, de acordo com o inciso VIII do Art. 14 e nas normas da ABNT. 2) Que as concentrações de ferro e manganês não superem 2,4 mg/L e 0,4 mg/L, respectivamente (Brasil, 2021).

#### **4.4 Coagulantes**

A água disponível nos mananciais contém impurezas, partículas suspensas carregadas negativamente. Tal fato, impossibilita a aglomeração dessas partículas. No entanto, para promover o tratamento adequado e remover essas partículas, deve-se primeiramente neutralizar a superfície do sólido carregada, para que em seguida aconteça a agregação dessas partículas e conseqüentemente, a separação da água. Para isso, deve-se utilizar coagulantes. (KNEVITZ, 2017).

O termo “coagulante” é utilizado para se fazer referência ao agente químico adicionado à água que se deseja aplicar um tratamento para desestabilizar as partículas coloidais presentes, formando o flocos. De forma geral, os coagulantes podem ser classificados como orgânicos e inorgânicos (Silveira, 2018).

Para o processo de coagulação e floculação é necessário à aplicação de coagulante para desestabilizar as partículas coloidais em suspensão e promover a sedimentação dos flocos. Vale salientar que, a aplicação desses coagulantes no tratamento de água, não devem deixar resíduos que possam prejudicar a água e o meio ambiente (Santos, 2017).

##### **4.4.1 Coagulantes orgânicos**

Conforme Santos *et al.* (2018) e Piantá (2008), coagulantes orgânicos à base de taninos são muito utilizados em aplicação na etapa de coagulação, em estação de tratamento de água, por diversos fatores, tais como: baixo custo, uso de fontes renováveis e baixa produção de resíduos após o tratamento. Esses fatores contribuem de forma significativa para um tratamento de efluente mais limpo com geração de lodo menos ofensivo.

Segundo Anjos (2021), os coagulantes orgânicos tornaram-se uma fonte alternativa para

o tratamento da água bruta, devido às inúmeras vantagens apresentadas em comparação ao coagulante inorgânico, bem como ao aumento da eficiência na remoção de cor e turbidez, entre outros. Os coagulantes orgânicos a base de taninos são produzidos comercialmente, sendo o mais utilizado o Tanfloc-comercial, produzido a partir da espécie *Acacia mearnsii*, e fabricado pela empresa brasileira TANAC (Tanac, 2024).

#### **4.4.2 Coagulantes inorgânicos**

Existem vários agentes coagulantes inorgânicos que podem ser utilizados para neutralizar as cargas, sendo o sulfato de alumínio, um dos mais utilizados. O sulfato de alumínio possui uma larga escala de atuação de pH (4,5 a 9,0), o que possibilita ao coagulante uma vasta amplitude para ser utilizado (Menezes, 2018).

Os coagulantes inorgânicos à base de sais metálicos mais utilizados e comercializados no mercado são o Cloreto Férrico e o Sulfato de Alumínio, que possuem alta taxa em remoção de partículas coloidais e substâncias inorgânicas em suspensão. A principal desvantagem em sua utilização é que os usos desses coagulantes podem gerar residual de metais na água tratada e no lodo final gerado, além do difícil manejo devido ao grande volume produzido. Outro fator, é que esses metais são corrosivos, possibilitando a diminuição da vida útil dos equipamentos e tubulações das estações de tratamento (Anjos, 2021).

Segundo Silveira (2018), esses coagulantes são largamente utilizados nas estações de tratamento de água, devido, principalmente, ao seu baixo custo (Silveira, 2018).

#### **4.5 Teste de jarro ou Jar Test**

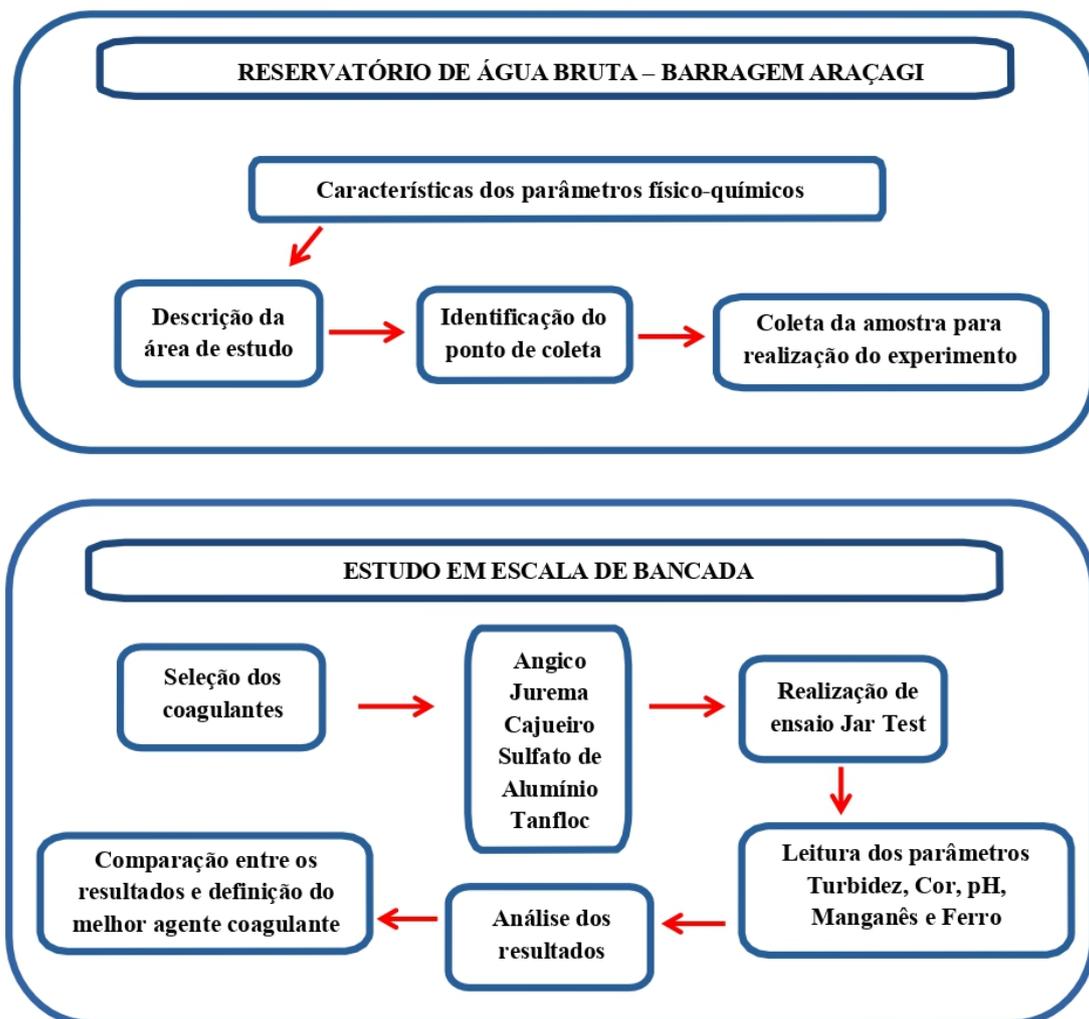
O Jar Test ou teste de jarro é um equipamento utilizado em escala de bancada para ensaios e que funciona como simulador das etapas de coagulação, floculação e sedimentação em ETA's. Empregado com a finalidade de encontrar a melhor dosagem de coagulantes ou na obtenção dos gradientes de velocidade e tempo de mistura, em novos projetos de estações de tratamento ou para realizar adaptações naquelas já existentes, otimizando assim, os processos de tratamento de água (Pintá, 2008).

Com o equipamento Jar Test pode-se promover variação de dosagem e concentração de produto químico, possibilitando resultados diferentes em cada um dos 06 (seis) jarros disponíveis no equipamento, que, posteriormente analisados, permitirão definir a concentração com melhor eficiência no tratamento (Santos *et al.*, 2011).

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 tem-se o fluxograma esquemático com detalhamento das etapas metodológicas da presente pesquisa, sendo elas: (i) características dos parâmetros físico-químicos da água bruta, (ii) comparação da performance dos agentes coagulantes em estudo, em escala de bancada, após a realização dos ensaios em laboratório.

Figura 1 – Fluxograma da pesquisa

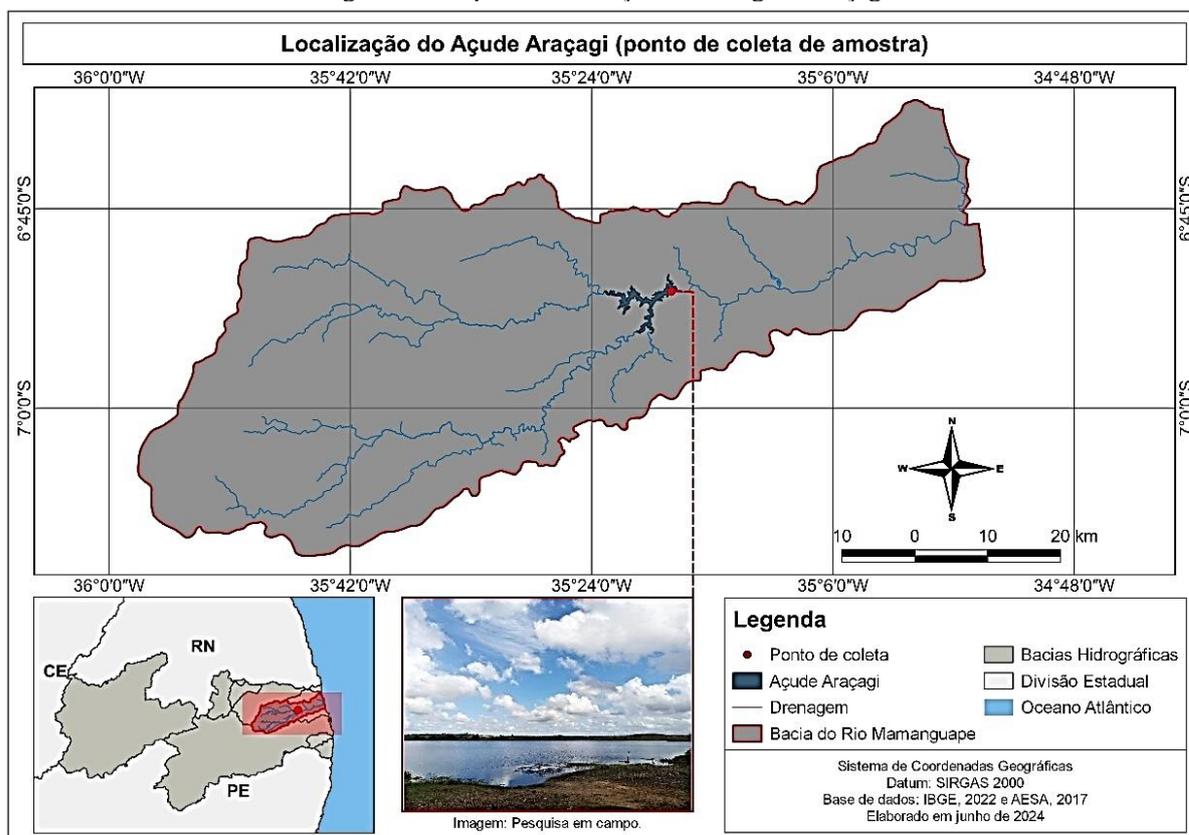


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

### 5.1 Descrição da área de estudo

A pesquisa foi realizada com amostra de água bruta proveniente do reservatório da barragem de Araçagi, localizado no Estado da Paraíba. Na Figura 2, tem-se a localização do reservatório.

Figura 2 – Mapa de localização da barragem Araçagi



Fonte: AESA/PB (2017).

### 5.1.1 Reservatório Barragem de Araçagi

O reservatório de água bruta para realização do experimento é a barragem de Araçagi, localizado na bacia do Rio Mamanguape, no estado da Paraíba, na zona rural entre as cidades de Araçagi e Itapororoca, com capacidade de acumulação de 63.289.037,00 m<sup>3</sup> e cujos usos prioritários são o abastecimento humano e irrigação (AESA, 2023).

Com extensão de 476 metros e solo de terra homogêneo, segundo dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), a geologia da região favorece a presença de um tom avermelhado no solo da barragem, presumindo a presença de ferro e manganês. A presença desses metais pode acarretar vários transtornos na ETA, como elevar os parâmetros de cor e turbidez (AESA, 2024).

### 5.2 Coleta de amostras

Para a realização da presente pesquisa, inicialmente, foi realizado análise físico-química da qualidade da água bruta. Para tanto, foram realizados os seguintes procedimentos em etapas:

- i. **Caracterização dos parâmetros físico-químicos da água:** Foi realizada coleta (2 Litros) da amostra de água bruta da barragem de Araçagi, para análise quantitativa das características físico-químicas, a fim de se inferir um padrão das condições da água do reservatório de água bruta.
- ii. **Identificação do ponto de coleta:** Após o levantamento da qualidade da água bruta e realização de visita *in loco*, foi escolhido o ponto de coleta.
- iii. **Coleta da amostra:** Foi realizado o procedimento de coleta da amostra em quantidade de (80 Litros) para realização dos testes em laboratório.

Desse modo, em Dezembro de 2023, foram coletados 80 (oitenta) litros de água bruta do reservatório barragem de Araçagi para realização de todo o ensaio de tratabilidade. Em seguida, essa amostra foi armazenada em recipientes, (bombonas) com capacidade para (20 Litros) cada, para ser encaminhada no dia seguinte ao laboratório da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, o LARTECA (Laboratório Referência em Tecnologia de Águas), local onde foi realizada a pesquisa.

Durante a realização da pesquisa, o reservatório Barragem de Araçagi apresentava volume de 89,50% do seu volume total (AESAs, 2023).

### 5.3 Ensaio de tratabilidade

No LARTECA, foram realizados ensaios de coagulação/floculação e decantação em equipamento Jar Test de marca e modelo da (Policontrol), digital, com 06 jarros, velocidade programável de 10 RPM a 300 RPM e com agitação mecânica. Foram utilizados 1 (um) agente coagulante inorgânico (Sulfato de Alumínio) e 4 (quatro) coagulantes orgânicos, sendo esses à base de Angico, Cajueiro, Jurema e o Tanfloc-comercial.

As soluções utilizadas, foram preparadas à uma diluição de 1% em balões volumétricos de 100 mL.

No total, foram realizados 5 (cinco) ensaios, um para cada agente coagulante. Todos os coagulantes utilizados nos ensaios foram cedidos pelo laboratório da UEPB.

Tabela 1 – Ensaios realizados para amostras de água bruta da Barragem de Araçagi

Reservatório	Ensaio	Coagulante
Barragem Araçagi	Ensaio 1	Angico
	Ensaio 2	Cajueiro
	Ensaio 3	Jurema
	Ensaio 4	Sulfato de Alumínio
	Ensaio 5	Tanfloc

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

### 5.3.1 Determinações Analíticas

Os parâmetros físico-químicos da água que serão determinados nos ensaios estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos

Parâmetro	Método	Modelo do aparelho
Turbidez	Nefelométrico	Turbidímetro AP2000
Cor aparente	Colorimétrico	Aquacolor cor
Cor verdadeira	Colorimétrico	Aquacolor cor
	Método de Absorção Ultravioleta	espectrofotômetro Global Technology
pH	Potenciométrico	pHmetro KASVI K39-0014PA
Manganês	Colorimétrico	Colorímetro Checker®HC para Manganês
Ferro	Colorimétrico	Colorímetro Checker®HC para Ferro

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para cada ensaio, foram determinadas as leituras em medidores nefelométricos da PoliControl (Aquacolor Cor e Turbidímetro AP2000), para cor aparente e turbidez das amostras. Para a verificação de pH, foi utilizado um medidor portátil da KASVI, modelo K39-0014PA. Para determinação da concentração de Fe e Mn, foi utilizado o Espectrofotômetro (Global Technology), além do equipamento da marca (Solab) utilizado para proceder a análises em banho-maria. Para cor verdadeira, foi utilizado à centrífuga da (Maxim Lab, modelo CT 4000). Também foi utilizado o equipamento Jar Test da marca (Policontrol) e durante o experimento, todas as leituras foram realizadas em triplicata.

### 5.3.2 Ensaios com Jar Test

Os ensaios Jar Test foram realizados em equipamento com seis jarros com capacidade de 2 litros cada (fabricante: PoliControl). O equipamento foi ajustado da seguinte maneira: a) Mistura rápida, foi utilizado para etapa de coagulação um gradiente de velocidade de 300 rotações por minuto (RPM) com tempo de 10 segundos; (b) Mistura lenta, foi realizada em quatro (04) estágios de gradiente de velocidade, sendo o 1º estágio de 80 RPM, 2º estágio de 68 RPM, 3º estágio de 50 RPM e o 4º estágio de 33 RPM, com tempo de 5 minutos para cada estágio; c) Decantação, estágio em repouso (0 RPM) durante 2 minutos e 20 segundos, que corresponde a velocidade de sedimentação de 3 cm/min levando em consideração a altura do nível de água do jarro até o ponto de coleta, que dista 7 cm, no qual foi realizado a 1ª coleta da amostra para análise. Após 4 minutos e quarenta segundos, foi coletado a 2ª amostra, tempo esse que corresponde a velocidade de sedimentação de 1,5 cm/min, também levando em consideração as condições da altura da água até o ponto de coleta do jarro. Antes de proceder a coleta para análise, foi descartado um volume de água do ponto a ser coletado, durante 2 segundos, para eliminar contaminação e influência da amostra subsequente com a anterior. O tempo utilizado para cada coleta da amostra foi 20 segundos, sendo coletado 150 ml.

A Tabela 3, a seguir, apresenta as configurações utilizadas no equipamento Jar Test para todos os ensaios do experimento.

Tabela 3 - Configurações do Jar Test utilizado no experimento

<b>Etapas</b>	<b>Velocidade de rotação</b>	<b>Tempo</b>
Mistura rápida	300 RPM	10 segundos
Mistura lenta (floculação)	80 RPM	5 minutos
	68 RPM	5 minutos
	50 RPM	5 minutos
	33 RPM	5 minutos
Decantação	0 RPM	2 minutos e 20 segundos
	0 RPM	4 minutos e 40 segundos
Descarte	-	2 segundos
Coleta	-	20 segundos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

As dosagens dos coagulantes orgânicos e inorgânico definidas para o experimento ficaram no intervalo de 10 mg/L a 700 mg/L. Sendo dispostos da seguinte maneira: 10 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L, 300 mg/L, 500 mg/L e 700 mg/L, definidos para cada bateria de ensaio para cada coagulante em questão. As dosagens foram definidas em larga escala de concentração, para

obter amplitude maior de resultados considerando desde uma dosagem baixa até uma muito alta.

No total, foram realizados 05 (cinco) ensaios Jar Test, um para cada coagulante, sendo coletadas duas amostras para análise em cada jarro.

Com os resultados analíticos obtidos foi possível avaliar os melhores resultados em eficiência para cada agente coagulante.

#### **5.4 Teste ANOVA one-way**

A análise de variância de um fator (ANOVA one-way) é um teste estatístico aplicado para comparar médias de três ou mais grupos independentes, com o intuito de determinar se existe diferença significativa entre elas. Este método avalia se a variação entre os grupos supera a variação dentro de cada grupo, indicando se as diferenças entre as médias são devidas ao acaso ou a fatores específicos.

No software PAST 4.03, o teste ANOVA one-way é realizado por meio da especificação de variáveis a serem comparadas. O programa calcula a estatística F, que corresponde à razão entre a variabilidade explicada pelo modelo (diferenças entre grupos) e a variabilidade residual (diferenças dentro dos grupos). Se o valor de F for suficientemente elevado e o p-valor associado for inferior ao nível de significância pré-estabelecido de (0,05), rejeita-se a hipótese que as médias dos grupos são equivalentes.

O PAST é capaz de calcular a correlação entre variáveis, sendo a correlação de Pearson a medida mais comum. Este coeficiente quantifica a força e a direção da relação linear entre dois parâmetros, onde valores próximos de 1 indicam uma correlação positiva forte, valores próximos de -1 indicam uma correlação negativa forte, e valores próximos de 0 indicam ausência de correlação linear.

Os resultados foram submetidos ao teste de variância, exceto para o parâmetro da Turbidez, onde o desvio padrão foi inferior ( $p < 0,05$ ) não havendo distribuição normal, e os parâmetros de Ferro total e Solúvel, pois não foram realizadas análises para todas as dosagens.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Qualidade da água bruta

Na Tabela 4, estão descritos os valores dos parâmetros para água bruta antes da realização de cada ensaio Jar Test.

Tabela 4 - Valor médio dos parâmetros e desvio padrão da água bruta utilizada no experimento

	<b>Turbidez (uT)</b>	<b>Cor aparente (uC)</b>	<b>Cor Verdadeira (uC)</b>	<b>pH</b>	<b>Manganês (mg/L)</b>	<b>Ferro Solúvel (mg/L)</b>	<b>Ferro Total (mg/L)</b>
<b>Média</b>	7,47	57,70	37,05	7,90	0,06	1,40	3,03
<b>Desvio Padrão</b>	0,38891	2,82843	1,3435	0	0,005	0,0115	0,0005

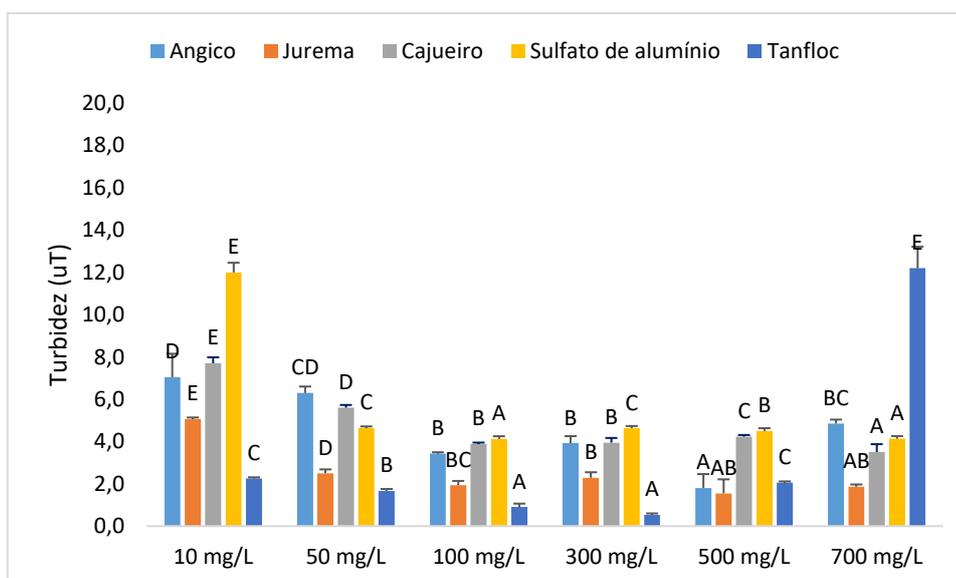
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

São apresentados os dados obtidos após realização dos ensaios Jar Test, para os parâmetros turbidez, cor aparente e verdadeira, pH, manganês, ferro total e solúvel, fazendo uma comparação de dados para cada parâmetro, com os coagulantes a base de angico, jurema, cajueiro, tanfloc-comercial e o coagulante inorgânico sulfato de alumínio, em dosagens que variam de 10 mg/L a 700 mg/L para cada coagulante.

### 6.2 Turbidez

Para Figura 3, são apresentados os resultados de turbidez.

Figura 3 – Valores de turbidez para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

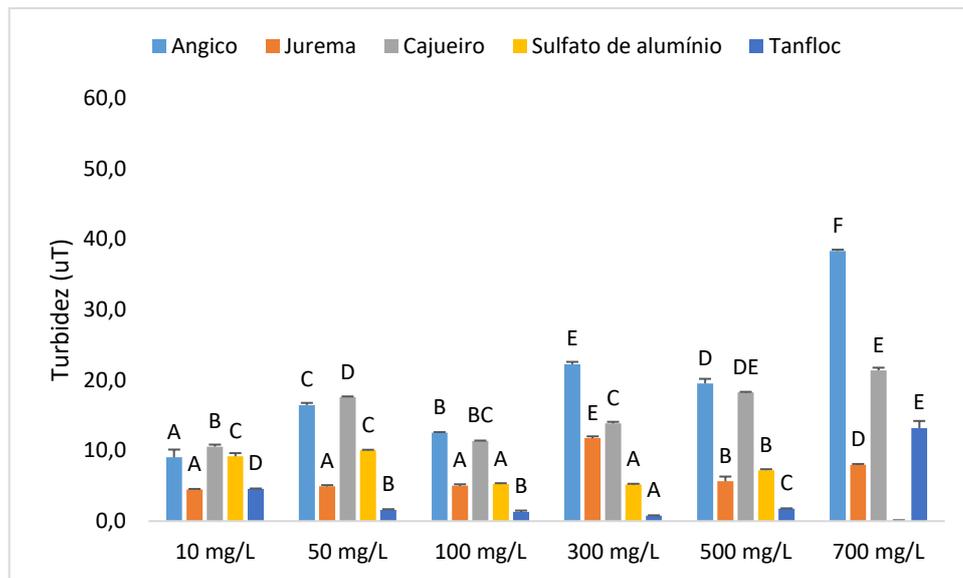
Para as diferentes dosagens para o mesmo coagulante, letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey.

Os resultados apresentados foram satisfatórios em comparação ao valor inicialmente registrado para água bruta. O Tanfloc apresentou melhor eficiência entre os coagulantes, obtendo redução no parâmetro em quase todas as dosagens, exceto na dosagem de 700 mg/L, onde o valor apresentado ficou bastante elevado, atingindo 12,2 uT. Por outro lado a dosagem de 10 mg/L para o Cajueiro e o Sulfato de alumínio se mostrou insuficiente, pois, apresentaram alta, registrando 7,7 uT e 12 uT, respectivamente. O Angico se mostrou eficiente nas dosagens entre 100 mg/L a 500 mg/L, onde obteve melhor desempenho, apresentando redução de até 76% na dosagem de 500 mg/L. Já a Jurema também apresentou bons resultados, porém, em dosagens altas, onde seu melhor resultado foi na dosagem de 500 mg/L, que registrou 1,6 uT que representa um redução no parâmetro de 78%. Utilizando o Sulfato de alumínio como agente coagulante para reduzir turbidez em seu estudo, (Freitas, 2022) conseguiu redução de até 96% no parâmetro.

O teste de variância comprovou oscilação na redução do parâmetro, porém, apresentou uma redução significativa da turbidez, para os coagulantes Jurema, Cajueiro e Sulfato de alumínio, especialmente nas dosagens medianas, entre 100 mg/L a 300 mg/L. Porém, para o coagulante Tanfloc, observou-se um aumento da turbidez das amostras em dosagens altas.

Na Figura 4 são apresentados os dados de turbidez.

Figura 4 – Valores de turbidez para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,0 cm/min.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para as diferentes dosagens para o mesmo coagulante, letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey.

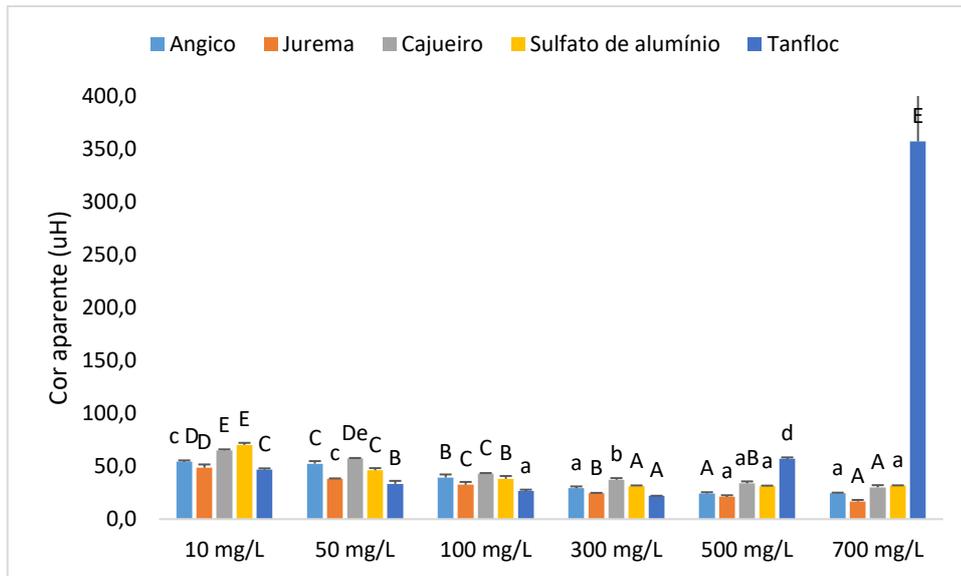
Analisando os resultados da Figura 4, pode-se verificar resultados satisfatórios, exceto os coagulantes orgânicos a base de Angico e Cajueiro, que elevaram a turbidez das amostras, principalmente em dosagens altas. O Cajueiro em dosagem de 500 mg/L elevou a turbidez da amostra para 19,53 uT, enquanto que o Angico em dosagem de 700 mg/L teve uma elevação para 38,33 uT, representando um aumento de 161 % e 413 % respectivamente. Os coagulantes Jurema e o Sulfato de alumínio apresentaram bom desempenho e resultados parecidos em redução de turbidez, reduzindo para 5,6 uT e 5,2 uT em dosagens de 500 mg/L e 300 mg/L, respectivamente. O Tanfloc apresentou melhor eficiência, obtendo valor de 1,34 uT em dosagem de 100 mg/L e 0,76 uT em dosagem de 300 mg/L de coagulante, demonstrando boa eficiência. Em seus estudos, (Oliveir *et al.*, 2011) utilizando coagulante orgânico para reduzir turbidez de águas naturais, obteve bom desempenho no processo de clarificação, atingindo de 90 a 94% de remoção de turbidez, em comparação a utilização de coagulantes inorgânicos.

O teste de variância, apresentou bom desempenho na redução da turbidez, dessa vez nas dosagens, entre 100 mg/L a 500 mg/L, principalmente para o Tanfloc. Observou-se também um aumento da turbidez para o coagulante Angico, em dosagem alta.

### 6.3 Cor aparente

Na Figura 5 estão dispostos os resultados para o parâmetro Cor aparente.

Figura 5 – Valores de Cor aparente para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

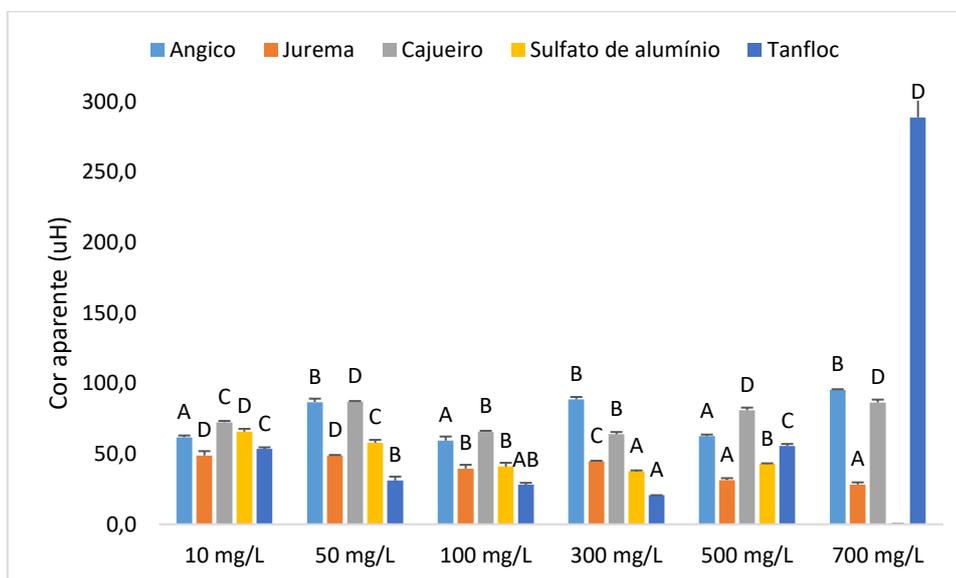
Para as diferentes dosagens para o mesmo coagulante, letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey.

Analisando a Figura 5, pode-se observar que a medida em aumentava-se as dosagens de coagulantes, a cor aparente era reduzida. Destaca-se o Tanfloc que apresentou melhor resultado de 22,0 uH na dosagem de 300 mg/L de coagulante, o que representa uma redução de 62%. Segundo (Santos, 2011), em seu estudo, afirma que utilizando Tanfloc obteve os melhores resultados na fase de clarificação. Por outro lado, em dosagem de 700 mg/L do coagulante, foi registrado um valor de 357,3 uH, valor muito acima da média se comparando com os demais coagulantes analisados. Para o Angico e a Jurema, seus resultados foram similares, obtendo o melhor desempenho na dosagem de 700 mg/L, atingindo 24,5 uH para o Angico e 16,6 uH para Jurema, o que representa uma redução de 57% e 71%. Os resultados obtidos para o Cajueiro e o Sulfato de alumínio foram bastante parecidos, não demonstrando eficiência em dosagens baixas, mas apresentaram resultados de redução do parâmetro em dosagens altas, atingindo o melhor desempenho na dosagem de 700 mg/L. (Freitas, 2022) destaca a eficiência na redução de cor aparente utilizando o Tanfloc nas dosagens entre 2,0 mg/L e 7,0 mg/L de coagulante, atingindo redução de até 93%.

O teste de variância apresentou capacidade de redução de cor para o coagulante Jurema, assim como o Tanfloc, que na dosagem de 100 mg/L, atingiu redução superior a 50% da cor aparente. Entretanto, ao aumentar a dosagem, observou-se um aumento acentuado na coloração das amostras, devido às características do tanino presente neste coagulante.

Na Figura 6, são apresentados os resultados para redução de cor aparente.

Figura 6 – Valores de Cor aparente para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,0 cm/min.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para as diferentes dosagens para o mesmo coagulante, letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey.

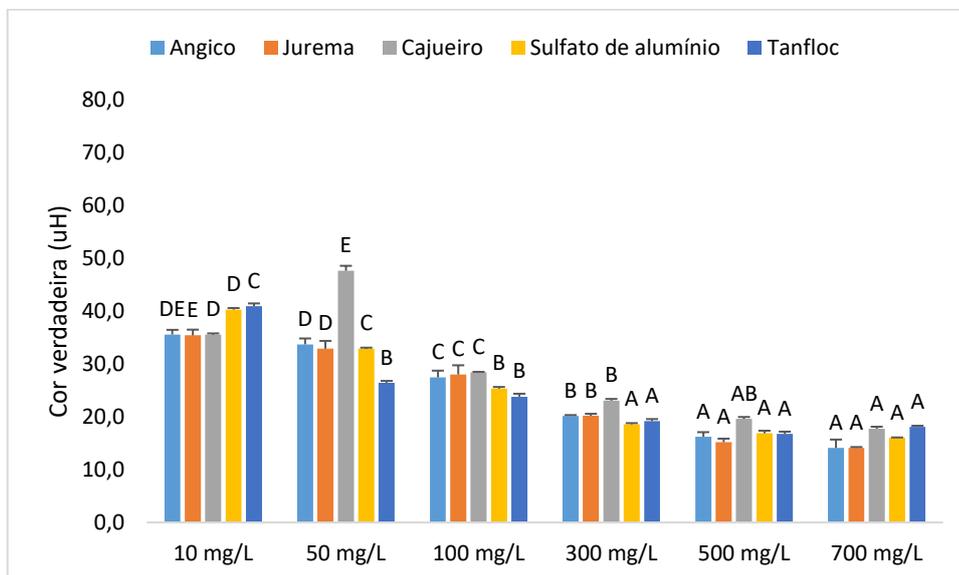
De acordo com a Figura 6, para redução de cor aparente, o coagulante Tanfloc apresentou resultado elevado em dosagem de 700 mg/L. Foi registrado um valor de 288,7 uH em comparação ao valor inicial da água bruta de 57,7 uH. Deve-se considerar que os taninos contidos nos coagulantes orgânicos, tem sua cor natural bastante acentuada, o que poderia justificar a coloração em maiores dosagens. Por outro lado, em dosagem 300 mg/L foi registrado uma cor de 20,5 uH, correspondente a redução de 64% do parâmetro, sendo considerado um bom desempenho. Assim como (Oliveira *et al.*, 2022), aponta que conseguiu bons resultados em redução de cor aparente utilizando Tanfloc como agente coagulante. Para os demais coagulantes analisados no experimento, os resultados da cor aparente aumentaram bastante, apresentando aumento no parâmetro para o coagulante a base de angico, com valores de 86,7 uH, 88,6 uH e 95,3 uH, em dosagens de 50 mg/L, 300 mg/L e 700 mg/L, respectivamente. Já os coagulantes sulfato de alumínio, jurema e tanfloc, com dosagens de 50 mg/L a 300 mg/L do coagulante, obtiveram redução no parâmetro, entre 31,6 uH para jurema e 28,2 uH para o tanfloc, ambos na dosagem de 50 mg/L. Por outro lado, apresentou 22,3 uH para Jurema e 17,8 uH para o Sulfato de alumínio na dosagem de 300 mg/L. Diante desses resultados, a medida em que aumentava-se a dosagem do coagulante no experimento, a cor era reduzida gradativamente.

O teste de variância mais uma vez apresentou capacidade de redução de cor para os coagulantes Jurema e o Tanfloc, atingindo ótima redução de cor aparente. Vale ressaltar que, ao aumentar a dosagem, observou-se um aumento acentuado na coloração das amostras, como já citado anteriormente.

#### 6.4 Cor verdadeira

Na Figura 7 são apresentados os dados para o parâmetro cor verdadeira após realização do experimento.

Figura 7 – Valores de Cor verdadeira para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para as diferentes dosagens para o mesmo coagulante, letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey.

Os resultados apresentados na Figura 7, onde pode-se observar uma similaridade muito forte entre os coagulantes utilizados, ficando claro uma tendência de redução na medida em que aplicava-se dosagem maior de coagulante, exceto para o coagulante Cajueiro, que para dosagem de 50 mg/L aumentou o parâmetro para 47,6 uH, que representa um acréscimo em 28% em comparação ao valor registrado para água bruta. Para os demais coagulantes, os resultados demonstraram que, a medida em que aplicava-se um aumento na dosagem de coagulante, ocorria redução no parâmetro. Destaca-se bom desempenho para o Angico e o Tanfloc, que atingiram redução para 14,1 uH e 16,8 uH, respectivamente. De acordo com (Santos, 2011), em

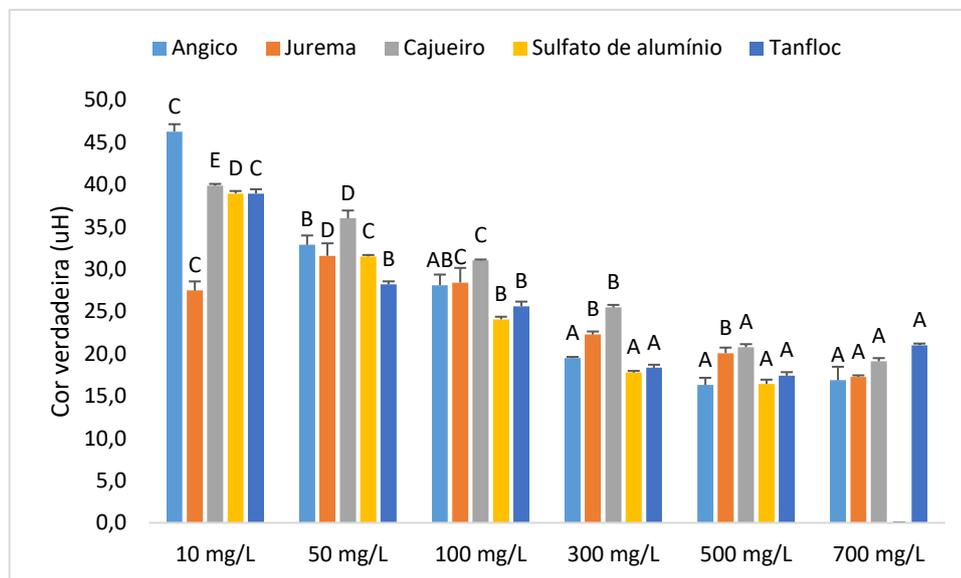
seu estudo verificando a eficiência de produtos químicos na coagulação em ETA, aponta um melhor desempenho utilizando o coagulante Tanfloc diluído, porém, seria necessário espaço maior na unidade para preparar a solução.

Com tempo de sedimentação mais elevado, foi determinante para obter melhor desempenho em redução nos parâmetros.

O teste de variância, apresentou para o coagulante Cajueiro um aumento na coloração das amostras, semelhante ao observado com o Angico.

Na Figura 8 são apresentados os dados para cor verdadeira na 1ª coleta.

Figura 8 – Valores de Cor verdadeira para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,00 cm/min.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para as diferentes dosagens para o mesmo coagulante, letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey.

Assim como foi observado na Figura 7, os resultados apresentados na Figura 8 também mantém tendência de redução na medida em que aumentava-se as dosagens de coagulantes. No entanto, os resultados para os coagulantes Sulfato de alumínio e Angico, obtiveram na dosagem de 500 mg/L, 16,4 uH e 16,3 uH, respectivamente, que representa redução de 56% no parâmetro. Foi registrado 27,5 uH para o coagulante a base de Jurema na dosagem de 10 mg/L, que representa redução de apenas 25%. Importante ressaltar que para o coagulante Sulfato de alumínio na dosagem de 700 mg/L, não houve coleta da amostra suficiente para realizar a análise. De modo geral, (Santos, 2011) aponta em seus estudos que o coagulante orgânico a base de taninos (Tanfloc) tem melhor desempenho em comparação a utilização do coagulante

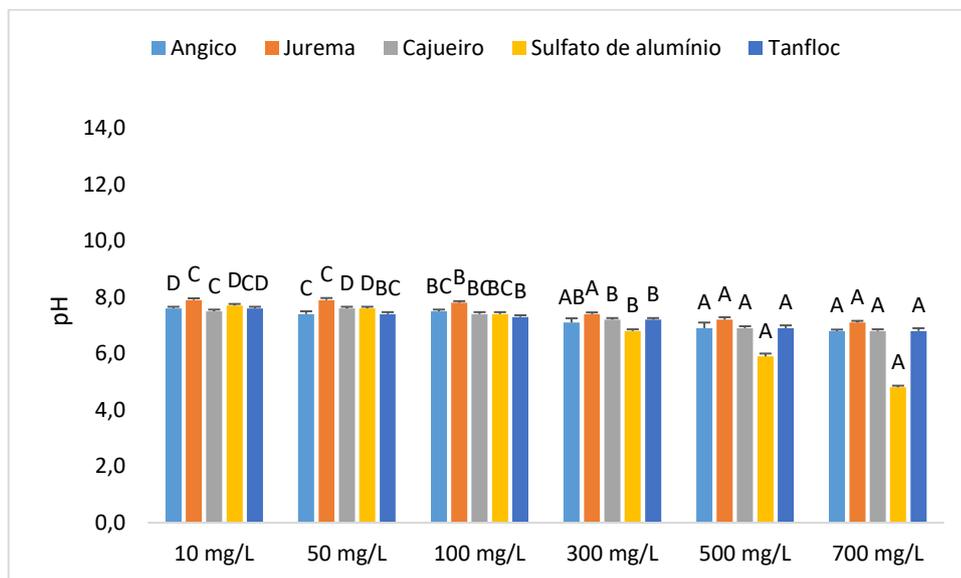
inorgânico Sulfato de Alumínio, para os parâmetros cor, pH e turbidez (Santos, 2011).

O teste de variância, apresentou da mesma forma, para o coagulante Cajueiro um aumento na coloração das amostras, também observado para o Angico.

## 6.5 pH

A Figura 9 apresenta os resultados para variação de pH.

Figura 9 – Valores de pH para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

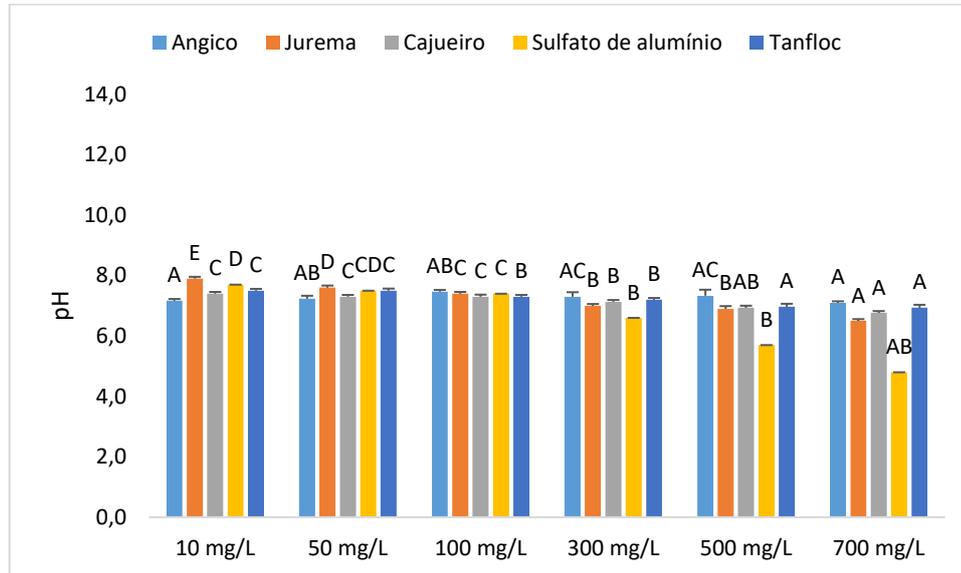
Para as diferentes dosagens para o mesmo coagulante, letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey.

Em análise a Figura 9, pode-se concluir que os resultados obtidos se assemelham bastante, principalmente com relação aos coagulantes orgânicos que mantiveram o valor de pH com pouca variação. O coagulante Angico apontou como resultado um pH de 7,6 para dosagem de 10 mg/L a 6,8 para dosagem de 700 mg/L, que corresponde a redução de 10,5%. Diferentemente ocorreu com o Sulfato de alumínio que apresentou redução de pH, registrando 4,8 na dosagem de 700 mg/L. Os coagulantes orgânicos, matém o controle de pH mesmo utilizando dosagens mais altas, controle esse, que é fundamental em ETA's, para o bom desempenho das etapas de tratamento e mantendo esse controle do pH na saída do tratamento, evita corrosões nas redes de distribuição. Para amostras com pH dentro da faixa ideal de coagulação do Sulfato de alumínio, que é de 5,5 a 7,5, em seus estudos (Knevez, 2017) conseguiu obter eficiência de remoção de turbidez de até 90%.

A análise de variância apresentou redução significativa no pH das amostras, utilizando o Sulfato de alumínio, diferentemente dos coagulantes orgânicos testados.

Na Figura 10, são apresentados os dados referentes à variação de pH para 1ª coleta.

Figura 10 – Valores de pH para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,0 cm/min.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para as diferentes dosagens para o mesmo coagulante, letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey.

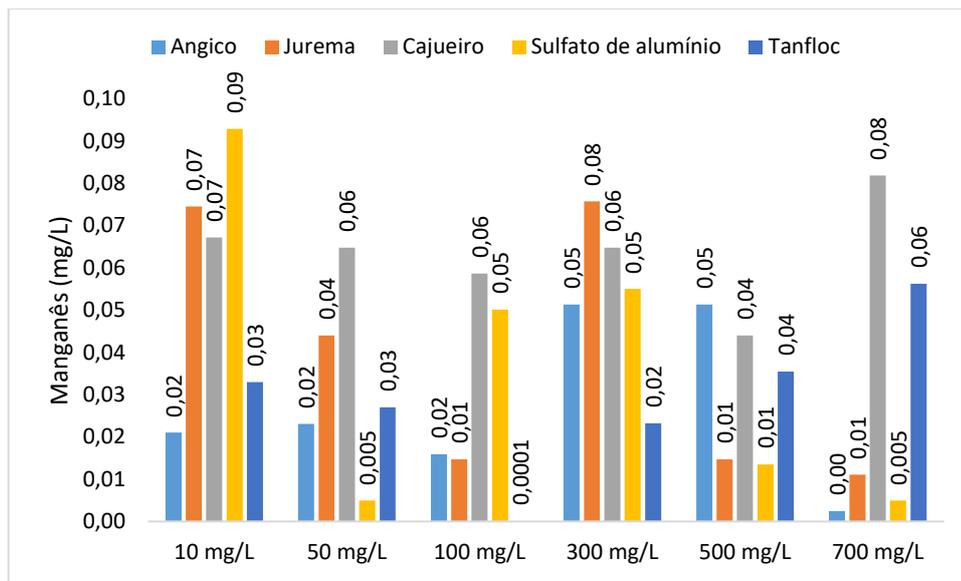
De acordo com a Figura 10, os dados apresentados para o pH do experimento, se assemelham com os resultados apresentados na Figura 9, onde a variação de pH foi muito baixa. Assim sendo, o desempenho do Sulfato de alumínio permaneceu baixo, principalmente nas maiores dosagens aplicadas no experimento, onde reduziu o pH na dosagem de 700 mg/L de coagulante para 4,8, que correspondente redução de 38%. Para o coagulante orgânico a base de jurema em dosagem de 700 mg/L a redução foi de 18%. E para os demais coagulantes analisados a variação no valor do pH foi baixa. A utilização dos coagulantes orgânicos não interferiu na variação do pH da amostra, fato contrário ocorreu com a utilização do coagulante Sulfato de alumínio. Porém, estudos como o de (Knevitz, 2017), apontam a importância da faixa de pH ideal, para se obter bom desempenho na etapa de coagulação, e cita que a faixa ideal de pH para atingir eficiência na coagulação para o Sulfato de alumínio é entre 5,5 e 7,5 (Knevitz, 2017).

A análise de variância mais uma vez comprovou redução significativa no pH das amostras, utilizando o Sulfato de alumínio, diferentemente dos coagulantes orgânicos testados.

## 6.6 Manganês

Na Figura 11, são apresentados os resultados para redução da concentração de manganês.

Figura 11 – Valores de Manganês para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min.

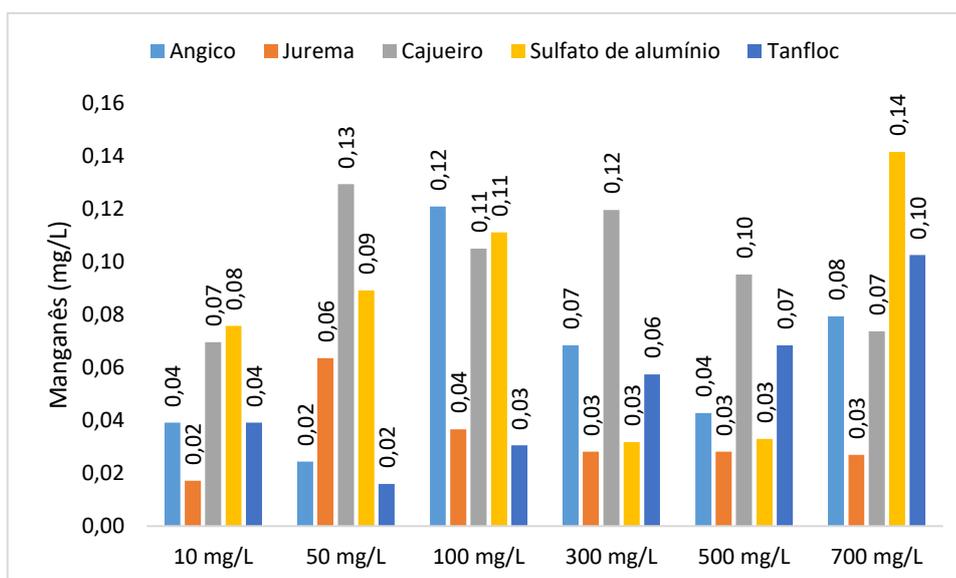


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Em análise da Figura 11, pode-se observar resultados com bastante oscilação para redução de manganês em diferentes dosagens e para todos os coagulantes em questão. Porém, vale pontuar alguns dados na Figura 11, onde são apresentados os resultados de redução de manganês de 92% e 97% para os coagulantes Sulfato de alumínio e Angico, respectivamente. (Lopes, 2014) obteve resultados parecidos utilizando o coagulante sulfato de alumínio, alcançando redução de 64%. Para o Tanfloc, o resultado foi ainda melhor, onde 98% de redução na concentração de manganês em dosagem de 100 mg/L, foi registrado. Para os coagulantes Angico e Jurema os resultados de redução apresentados para ambos foi de 73%. Apesar de apresentarem oscilações dos dados entre as dosagens apresentadas para o experimento, pode-se pontuar eficiência em redução de manganês para os coagulantes analisados. Assim como (Lopes, *et. al* 2018), que avaliou a eficiência em redução de manganês utilizando os coagulantes Sulfato de alumínio, Tanfloc e PAC, concluiu que os três coagulantes apresentaram boa eficiência de redução do parâmetro.

Na Figura 12, são apresentados os dados obtidos para redução de manganês na 1ª coleta.

Figura 12 – Valores de Manganês para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,0 cm/min.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Analisando os dados da Figura 12, tem-se os resultados obtidos entre todos os coagulantes analisados em diferentes dosagens. Observa-se redução positiva para o coagulante Jurema em dosagem de 10 mg/L, a menor utilizada para o experimento, onde foi registrado 0,02 mg/L de concentração de manganês, que representa 72% de redução. O tanfloc apresentou redução de 73% em dosagem de 50 mg/L, enquanto que o sulfato de alumínio obteve redução de aproximadamente 47%, porém, em dosagens maiores, de 300 mg/L e 500 mg/L. Por outro lado, os coagulantes Angico e Cajueiro apresentaram valores que oscilaram bastante, porém, o coagulante Angico apresentou melhor resultado para dosagem de 50 mg/L, que obteve redução de 60% na concentração de manganês. Fazendo um comparativo utilizando os coagulantes Tanfloc e o Sulfato de alumínio, em estação de tratamento de água durante seus estudos (Lopes, *et al.* 2018), aponta que o coagulante a base de Tanino apresentou maior eficiência de redução de Manganês.

A análise estatística do manganês foi comprometida, mas de forma geral, observou-se que em dosagens mais baixas foi possível reduzir a concentração de manganês das amostras, especialmente utilizando o Tanfloc e a Jurema.

## 6.7 Ferro Total

Na Tabela 5, estão dispostos os dados para redução de Ferro total. Ressalto que durante o experimento, apenas para os parâmetros Ferro total e solúvel, não foi realizado análises para

todas as dosagens, foi selecionada as amostras nas dosagens de 300 mg/L e 500 mg/L.

Tabela 5 – Valores de Ferro total para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min.

<b>Coagulante</b>	<b>Dosagem (mg/L)</b>	<b>Resultados</b>
Angico	300	1,45
Sulfato de alumínio	300	1,17
Tanfloc	300	0,77
Cajueiro	500	1,02
Jurema	500	1,83
	700	1,72

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Em análise da Tabela 5, são apresentados os dados obtidos após análise do experimento, no qual foram realizadas as análises para as dosagens de 300 mg/L a 700 mg/L. Na apresentação dos dados, pode-se observar redução do parâmetro ferro total para todos os coagulantes analisados, sendo que para dosagem de 300 mg/L os coagulantes Angico, Sulfato de Alumínio e Tanfloc obtiveram redução de 52%, 61% e 74%, respectivamente. De acordo com (Lopes, 2014), analisando a eficiência do Sulfato de alumínio na redução de Ferro, ele afirma ter atingido eficiência de 99% em redução do parâmetro utilizando o agente coagulante. Já para o coagulante cajueiro, a redução foi de 66% na dosagem de 500 mg/L e para Jurema redução de 43% na maior dosagem utilizada para o experimento, de 700 mg/L.

Na Tabela 6, são apresentados os dados de redução de ferro total para as amostras analisadas.

Tabela 6 – Valores de Ferro total para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,0 cm/min.

<b>Coagulante</b>	<b>Dosagem (mg/L)</b>	<b>Ferro total (mg/L)</b>
Angico	300	2,23
Cajueiro	500	1,51
Tanfloc	300	1,15
Sulfato de alumínio	300	1,88

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Analisando a Tabela 6, onde são apresentados os dados para redução do Ferro total, têm-se bons resultados. Para os resultados apresentados, o coagulante Angico obteve redução de 26% em comparação ao valor de ferro total obtido para água bruta, enquanto que o sulfato de alumínio, obteve redução de 38%, ambos para dosagem de 300 mg/L. Para o coagulante Cajueiro, foi apresentado resultado um pouco melhor em redução de ferro total, 50%, porém, em dosagem de 500 mg/L. Por fim, o coagulante Tanfloc obteve melhor desempenho em

redução do parâmetro ferro total em comparação aos demais coagulantes, atingindo 62% na dosagem de 300 mg/L.

### 6.8 Ferro Solúvel

Para Tabela 7, são apresentados os dados para redução do parâmetro ferro solúvel.

Tabela 7 – Valores de Ferro solúvel para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 1,5 cm/min.

<b>Coagulante</b>	<b>Dosagem (mg/L)</b>	<b>Resultados</b>
Angico	300	1,70
Sulfato de alumínio	300	0,65
Tanfloc	300	0,90
Cajueiro	500	1,26
Jurema	500	1,91
	700	1,34

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Na Tabela 7, são apresentados os resultados para redução de ferro solúvel após realização do experimento. Pode-se observar redução de 36% e 56% na concentração do parâmetro na dosagem de 300 mg/L, para os coagulantes Tanfloc e Sulfato de alumínio, respectivamente. Por outro lado, o Cajueiro obteve redução de apenas 10%, na dosagem de 500 mg/L, ou seja, demonstrou baixa eficiência pelo fato de se ter aumentado a dosagem e a redução não foi satisfatória. Já o coagulante a base de Jurema, o desempenho foi ainda mais baixo, onde obteve redução de apenas 4%, na dosagem de 700 mg/L. Por fim, O coagulante Angico, obteve resultado de 1,70 mg/L de ferro solúvel, superior ao valor da água bruta de 1,40 mg/L.

Para Tabela 8, são apresentados os dados para redução do parâmetro ferro solúvel.

Tabela 8 – Valores de Ferro solúvel para os ensaios de tratabilidade com tempo de sedimentação de 3,0 cm/min.

<b>Coagulante</b>	<b>Dosagem (mg/L)</b>	<b>Resultados</b>
Angico	300	1,06
Sulfato de alumínio	300	0,98
Tanfloc	300	1,00
Cajueiro	500	1,15

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para a Tabela 8 são apresentados os dados de redução de Ferro solúvel, onde na dosagem de 300 mg/L, os resultados obtidos apresentaram semelhança na redução utilizando os coagulantes Angico, Tanfloc e Sulfato de Alumínio, onde atingiram 24%, 28% e 30% de

redução na concentração de ferro solúvel, respectivamente. Já para o Cajueiro, a redução foi de apenas 17%, na dosagem de 500 mg/L. Nesse caso, mesmo aumentando a dosagem de coagulante o resultado não apresentou êxito, pois a redução foi menor em comparação aos demais coagulantes.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados do desempenho dos coagulantes orgânicos e inorgânico na redução de turbidez, cor aparente e verdadeira, ferro, manganês e variação no pH, em ensaios de bancada, utilizando água bruta da barragem de Araçagi, permitiu concluir:

A água do reservatório barragem de Araçagi, possui concentrações de metais de ferro e manganês, e a utilização dos coagulantes em estudo neste experimento, possibilitou conferir a eficiência na redução desses metais e dos parâmetros turbidez, pH, cor aparente e verdadeira.

Todos os coagulantes utilizados mostraram-se eficientes, no entanto, de forma geral, os coagulantes orgânicos à base de taninos (Tanfloc e Jurema) apresentaram melhores resultados quando comparados ao coagulante inorgânico Sulfato de Alumínio e aos demais coagulantes orgânicos, Angico e Cajueiro.

As diferentes velocidades de sedimentação influenciaram nos resultados de cada coagulante, onde para maior tempo utilizado de sedimentação, obteve-se os melhores resultados.

Esse estudo apresenta-se como uma ferramenta auxiliar na escolha do coagulante com melhor resultado de eficiência para tratamento de água com as características da água da barragem de Araçagi.

Estudos mais aprofundados sobre custo benefício, demanda e aplicabilidade em estação de tratamento de água serão necessários para determinar o agente coagulante mais adequado, levando em consideração também a remoção no percentual dos íons ferro e manganês, e parâmetros de cor e turbidez de amostras de águas naturais.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 12216. **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**, 1992.

AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Reservatório açude Araçagi**. 2017. Disponível em: [www.aesa.pb.gov.br](http://www.aesa.pb.gov.br). Acesso em: 28 fev. 2024.

AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Relatório 2023**. 2023. Disponível em: [www.aesa.pb.gov.br](http://www.aesa.pb.gov.br). Acesso em: 28 fev. 2024.

ALMEIDA, A. B. B.; SILVA, P. B. A.; LIMA, M. R. P.; SANTOS, Y. T. C.; MOREIRA, Y. W. N. Concentração de ferro e manganês em águas de abastecimento no município de Crato, Ceará: caracterização e proposta de tratamento. **Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, Juazeiro do Norte, Ceará, 2019.

ANJOS, Bruna Ferreira dos. **Produção de agentes coagulantes para clarificação da água a partir de taninos de espécies florestais da Caatinga**. 2021. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Agrícola de Jundiá, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

APOLINÁRIO, M. F.; MEIRELES, L.M.; SILVA, D. J.; SANTANA, H. F. Estudo de remoção de íons ferro e manganês da água utilizando peróxido como agente oxidante. 2018. **The Journal Of Engineering And Exact Sciences**, v.4, n. 4, p. 0412-0419. Disponível em: <https://doi.org/10.18540/jcecvl4iss4pp0412-0419>. Acesso em: 02 jun. 2024.

BEZERRA, E. B. N. **Qualidade da água subterrânea de soluções alternativas de abastecimento na sub-bacia do rio Taperoá**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

BRAGA, Fernando Pinto. **Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de água do município de Juiz de Fora**. 2014. 70 f. Monografia (Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora - MG, Juiz de Fora, 2014.

BRASIL. **Portaria MS nº 2914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Acesso em: 02 set. 2024.

BRASIL. **Portaria GM/MS nº 888**, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html). Acesso em: 12 maio 2024.

BRITO, C. N. **Estudo da produção eletroquímica de espécies de cloro ativos para tratamento de efluentes sintéticos**. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

CARLI, A.; COSTA, L. Água potável e saneamento básico: o encontro necessário de dois direitos fundamentais à saúde da vida em geral. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v. 6, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.26668/IndexLawJournals/2525-9687/2020.v6i1.6353> Acesso em: 12 maio 2024.

DANTAS, A. D. B.; BERNARDO, L. D.; VOLTAN, P. E. N.; KOYAMA, M. H. Avaliação da eficiência do cloro gerado a partir de sal nas etapas de pré e pós-cloração da água do rio Piracicaba. In: CONGRESSO ABES/FENASAN, 2017, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2017.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 3ª edição. São Carlos: Editora. LdiBe., 2017.

FRANCISCO, A. A.; POHLMANN, P. H. M.; FERREIRA, M. A. **Tratamento convencional de águas para abastecimento humano: uma abordagem teórica dos processos envolvidos e dos indicadores de referência**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, II, 2011, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2011.

FREITAS, L. L. M. **Tratabilidade de água de abastecimento humano para remoção de cor e turbidez**. 2022. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal do Espírito Santo, Ibatiba, 2022.

JUNIOR, M. F. S. **Avaliação da qualidade da água de abastecimento humano do sistema integrado de Araçagi/Tauá**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2021.

KNEVITZ, L. A. **Avaliação da eficiência de remoção de turbidez de um sistema de clarificação**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2017.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4 ed. Campinas: Editora Átomo, 2016.

LEMO, K. S.; FILHO, S. Q. A.; CAVALLINI, G. S. **Avaliação comparativa entre os coagulantes sulfato de alumínio ferroso e policloreto de alumínio para tratamento de água: estudo de viabilidade econômica**. Curso de Química Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Brasil, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20873/uftv7-7824>

LOPES, B. V. **Eficiência de Coagulantes na Remoção de Diferentes Concentrações de Ferro e Manganês para ETA Terras Baixas**. 2014. Monografia (Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

LOPES, B. V.; HEYLMANN, K.K.A.; VIEGAS, D. P.; SILVA, R. F.; QUADRO, M. S.; ANDREAZZA, R. Eficiência de coagulantes na remoção de manganês. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, 2018.

MADEIRA, Vivian Stumpf. **Desenvolvimento de um carvão absorvente para remoção de íons ferro em águas naturais**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/85902> Acesso em: 02 maio 2024.

MENEZES, P. H. N. **Estudo do desempenho do sulfato de alumínio no processo de clarificação de água de uma refinaria de petróleo e avaliação do tanfloc como agente coagulante alternativo**. 2018, Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

MICHELAN, D.; BATISTA, I.; BATISTA, D.; SANTOS, D.; MENDONÇA, L.; LIMA, D.: Desempenho das etapas de tratamento de água da estação de tratamento de água Poxim. **Scientia cum Industria**, v. 7, n. 3, p. 7-14, 2019.

OLIVEIRA, C.; TREVISAN, V.; SKORONSKI, E. **Aplicação de coagulante à base de tanino para clarificação de águas superficiais com alta turbidez**. Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária. Laboratório de tratamento de água e resíduos. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2022. Disponível em: <http://iwaponline.com/washdev/article-pdf/12/11/803/1139507/washdev0120803.pdf>. Acesso em: 02 maio 2024.

PEREIRA, E. R.; IOSHIMURA, R. A.; THEODORO, J. D. P.; BICUDO, B. R.; JANZ, F. J. L. Estudo Granulométrico em sistema de filtração direta para tratamento de água de abastecimento com uso de coagulantes orgânicos e inorgânicos. **Singular Meio Ambiente e Agrárias**, Palmas, v.1, n.2, 2021. Disponível em: <https://ulbra-to.br/singular/index.php/SingularMAA/article/view/54> Acesso em: 02 maio 2024.

PIAIA, A. A. **Remoção de Ferro e Manganês de águas subterrâneas por resinas de troca iônica comerciais**. 2021. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2021.

PIANTÁ, Cyro Antônio Vianna. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água**. 2008. Monografia (Curso de Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/26026> Acesso em: 12 maio 2024.

RAMOS, Marcos Henrique Centurione. **Remoção de cor, ferro e manganês de águas com matéria orgânica dissolvida por pré-oxidação com dióxido de cloro, coagulação e filtração**. 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2010.

SALVATIERRA, R. V.; OLIVEIRA, M. M.; ZARBIN, A. J. G. One-pot synthesis and processing of transparent, conducting, and freestanding carbon nanotubes/polyaniline composite films. **Chemistry of Materials**, v. 22, n. 18, p. 5222–5234, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/cm1012153> Acesso em: 02 maio 2024.

SANTOS, N. A. P. **Avaliação do desempenho de produtos químicos na coagulação da água produzida na ETA do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro com vistas à redução dos seus custos**. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS, V. DA S.; CURI, W. F.; CURI, R. C.; VIEIRA, A. S. Um Modelo de Otimização Multiobjetivo para Análise de Sistema de Recursos Hídricos I: Metodologia. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 4, p. 49-60, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v16n4.p49-60>. Acesso em: 02 maio 2024.

SANTOS, Wesley Natanael de Araujo; BATISTA, Isabela Ferreira; MICHELAN, Denise Conceição de Gois Santos; SANTOS, Debora de Gois; MENDONÇA, Luciana Coêlho. Uso do sulfato de alumínio e do tanino vegetal no tratamento de água. *In*: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE, Sustentabilidade e Meio Ambiente, X, 2018. **Anais [...]**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, 2018.

SANTOS, Adriana Nunes dos; LEITE, Bruna de Freitas; ARAÚJO, Helvia Waleska Casullo de; FERREIRA, Weruska Brasileiro. **Biocoagulante a base de extrato de mimosa tenuiflora para tratamento de águas e efluentes industriais**. Depositante: Universidade Estadual da Paraíba. Publicação Nacional: 15 jan. 2019. Depósito: 28 jun. 2017. Publicação Nacional: 15 jan. 2019.

SILVA, F. S D. **Estudo teórico da interação entre hidrazina e complexos tetraazamacrociclos de ferro e manganês**. 2018. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís-MA, 2018.

SILVEIRA, Thyago Nóbrega. **Uso de diagramas de coagulação como ferramenta de avaliação de desempenho de coagulantes orgânicos e inorgânicos em águas naturais de características distintas**. 2018. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

TANAC, Tanfloc. 2024. Disponível em: <https://www.tanac.com.br/produto/tratamento-de-agua/>. Acesso em: 02 ago. 2024.



