



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ**  
**PRÓ - REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO**  
**DEPARTAMENTO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO**  
**CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**BRUNA DE OLIVEIRA BARROS**

**USO DO SULFATO DE ALUMÍNIO COMO COAGULANTE NA CLARIFICAÇÃO  
DE ÁGUA DO RIO AMAZONAS**

MACAPÁ  
2025

**BRUNA DE OLIVEIRA BARROS**

**USO DO SULFATO DE ALUMÍNIO COMO COAGULANTE NA CLARIFICAÇÃO  
DE ÁGUA DO RIO AMAZONAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do curso de Ciências Ambientais como  
requisito parcial para a obtenção do Título de  
Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Cardoso Valverde

MACAPÁ  
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP  
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

---

B277u Barros, Bruna de Oliveira.

    Uso do sulfato de alumínio como coagulante na clarificação de água do rio Amazonas /  
Bruna de Oliveira Barros. - Macapá, 2025.  
    1 recurso eletrônico.  
    42 f.

    Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá,  
Coordenação do Curso de Ciências Ambientais, Macapá, 2025.

    Orientadora: Karina Cardoso Valverde.

    Coorientador: .

    Modo de acesso: World Wide Web.

    Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

    1. Cor aparente. 2. Saneamento básico. 3. Tratamento de água. I. Valverde, Karina Cardoso,  
orientadora. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 363.72

---

**BRUNA DE OLIVEIRA BARROS**

**USO DO SULFATO DE ALUMÍNIO COMO COAGULANTE NA CLARIFICAÇÃO  
DE ÁGUA DO RIO AMAZONAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do curso de Ciências Ambientais como  
requisito parcial para a obtenção do Título de  
Bacharel em Ciências Ambientais.

Data de aprovação: 22/04/2025.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Cardoso Valverde  
Universidade Federal do Amapá - UNIFAP  
Orientadora

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Julieta Bramorski  
Universidade Federal do Amapá - UNIFAP  
Avaliadora

---

Me. Paulo Gibson Farias Bezerra  
Universidade Federal do Amapá - UNIFAP  
Avaliador

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso foi possível graças ao apoio e incentivo de diversas pessoas, às quais expresso minha sincera gratidão.

Primeiramente, agradeço a Deus, à minha família, pelo suporte incondicional, pelo incentivo e por acreditarem em mim em todos os momentos. Sem vocês, esta jornada não teria sido possível, agradeço ao meu pai e mãe que sempre me apoiaram para realização dessa etapa, aos meus irmãos Brenda, Bianca e Vitor pelo suporte emocional.

Agradeço a professora Karina Valverde, pela orientação, paciência e dedicação ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho, sempre fornecendo insights valiosos e apoio essencial.

Aos colegas e amigos que, de alguma forma, estiveram ao meu lado durante este percurso acadêmico, seja compartilhando desafios, experiências ou palavras de encorajamento em especial aos meus amigos Walli, Edson, Lorena, Adson, Marcus, Tay, Danny e as “Xixas” por terem me acompanhado e feito da graduação uma das melhores fases da minha vida. Agradeço à minha amiga Lívia por sempre estar comigo me apoiando.

Por fim, agradeço às instituições e laboratórios que disponibilizaram os recursos necessários para a realização deste estudo, agradeço ao técnico Paulo pelo aprendizado e ajuda nas análises e em especial a Michelle por ter me ajudado em todo o processo de construção do TCC.

A todos, o meu muito obrigado!

# USO DO SULFATO DE ALUMÍNIO COMO COAGULANTE NA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA DO RIO AMAZONAS

Autora: Bruna de Oliveira Barros

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Cardoso Valverde

Curso de Bacharelado em Ciências Ambientais

Macapá, 22 de abril de 2025

## RESUMO

O tratamento da água é vital para garantir o acesso da população à água segura e livre de contaminação, conforme os parâmetros de qualidade estabelecidos. Contudo, é necessário que haja um tratamento de água para o consumo humano, assegurando que a população tenha acesso à água livre de contaminação. O rio Amazonas é a principal fonte de abastecimento de água no município de Macapá (AP), já que alimenta o sistema de captação da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Macapá. Assim, este trabalho avaliou a eficácia do coagulante sulfato de alumínio no processo de clarificação da água do rio Amazonas. A água foi coletada na orla do rio Amazonas, no município de Macapá (AP), na Rampa do Açaí. O pH de coagulação da água bruta foi ajustado para pH entre 5 e 8, com soluções de  $H_2SO_4$  0,1 M e NaOH 0,1 M. Os ensaios foram realizados no equipamento *Jar Test*, em condições de operação pré-determinadas para as velocidades e tempos de mistura rápida e lenta. As dosagens de sulfato de alumínio utilizadas foram de 0 mg/L a 25 mg/L. Os tempos de sedimentação de 10 min, 20 min e 30 min foram avaliados. Constatou-se que a dosagem ótima foi de 20 mg/L em um pH de coagulação 7 e com tempo de sedimentação de 20 min. Os parâmetros de qualidade: cor aparente, turbidez, pH, alumínio, ferro, sulfato, coliformes totais e *E.coli* foram analisados para a água bruta superficial e a água clarificada, nas condições ideais determinadas. Apesar dos resultados obtidos, a água clarificada ainda não se enquadra nos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº. 888/2021, com exceção do parâmetro químico ferro e o pH. Entretanto, observou-se remoções de 90,7% e 87,0% para cor aparente e turbidez, respectivamente. Em contrapartida, houve um aumento de 101,6% na concentração de alumínio e de 366,7% na concentração de sulfato, ocasionados pela adição do coagulante, sendo que este último ainda está de acordo com os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Não foi possível quantificar os coliformes totais da água bruta e água clarificada devido à ultrapassagem do limite de leitura do método utilizado, porém, *E. coli* apresentou remoção acima de 56,7%. Neste contexto, sugere-se inserir a etapa de filtração no processo de tratamento de água, assim como a etapa de desinfecção.

**Palavras-chave:** Cor aparente. *Jar test*. Saneamento básico. Tratamento de água. Turbidez.

## LISTA DE ABREVIATURA, SIGLAS E SÍMBOLOS

ACS: American Chemical Society (Sociedade Americana de Química)

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  : sulfato de alumínio

AM: Amazonas

ANA: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

AP: Amapá

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CSA: Concessionária de Saneamento do Amapá

ELA: esclerose lateral múltipla

ETA: Estação de Tratamento de Água

Fe: ferro

g: gramas

$\text{H}^+$ : íons hidrogênio ( $\text{H}^+$ )

$\text{H}_2\text{SO}_4$ : ácido sulfúrico

MG: Minas Gerais

mg/L: miligramas por litros

min: minutos

mL: mililitro

NaOH: hidróxido de sódio

NMP: número mais provável

$\text{OH}^-$ : íon hidróxido

P.A.: para análise

PB: Paraíba

pH: potencial hidrogeniônico

$\text{SO}_4^{2-}$ : sulfato

SP: São Paulo

TMR: tempo de mistura rápida

TML: tempo de mistura lenta

TS: tempo de sedimentação

uH: unidade Hazen

uT: unidade de turbidez

VMP: valor máximo permitido

VMR: velocidade de mistura rápida

VML: velocidade de mistura lenta

#: percentual

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de clarificação da água .....	20
Figura 2: Área de coleta da água bruta no rio Amazonas .....	24
Figura 3: Equipamento <i>Jar Test</i> .....	25
Figura 4: Gráfico de contorno para cor aparente no tempo de sedimentação de 10 min .....	27
Figura 5: Gráfico de contorno para turbidez no tempo de sedimentação de 10 min .....	28
Figura 6: Gráficos de contorno para cor aparente no tempo de sedimentação de 20 min .....	28
Figura 7: Gráfico de contorno para turbidez no tempo de sedimentação de 20 min .....	29
Figura 8: Gráfico de contorno para cor aparente no tempo de sedimentação de 30 min .....	29
Figura 9: Gráfico de contorno para turbidez no tempo de sedimentação de 30 min .....	30

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Parâmetros de qualidade e equipamentos .....	26
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros analisados da água bruta e clarificada .....	34
---	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
2.1 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA .....	14
2.2 RIO AMAZONAS .....	14
2.3 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA .....	15
<b>2.3.1 Cor Aparente</b> .....	16
<b>2.3.2 Turbidez</b> .....	16
<b>2.3.3 pH</b> .....	17
<b>2.3.4 Alumínio</b> .....	17
<b>2.3.5 Ferro</b> .....	18
<b>2.3.6 Sulfato</b> .....	18
<b>2.3.7 Coliformes Totais</b> .....	18
<b>2.3.8 <i>E. coli</i></b> .....	19
2.4 CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA .....	19
<b>2.4.1 Coagulação</b> .....	20
2.4.1.1 Sulfato de Alumínio .....	21
<b>2.4.2 Floculação</b> .....	21
<b>2.4.3 Decantação</b> .....	22
<b>2.4.4. Outras Etapas do Tratamento</b> .....	22
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	23
3.1 OBJETIVO GERAL .....	23
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
4.1 ÁREA DE ESTUDO .....	24
4.2 ENSAIOS EM LABORATÓRIO .....	24
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	27
<b>5.1 Definição das Condições Ótimas do Processo</b> .....	32

<b>5.2 Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos da Água Clarificada</b>	<b>33</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a vida e é um recurso vital para todos os seres vivos. No Brasil, mais de 35 milhões de pessoas ainda não têm acesso à água tratada, com a situação mais grave nas regiões norte e nordeste, especialmente em áreas rurais (Basso, 2005; Cartaxo *et al.*, 2022).

O saneamento ambiental está intimamente ligado à relação que o ser humano tem com a proteção das águas e é tido como condição imperativa à dignidade e sobrevivência da pessoa, em especial dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário (Brandão, 2020).

De acordo com Rios (2024) a poluição e a degradação ambiental comprometem significativamente a qualidade da água, a biodiversidade, a saúde humana e a funcionalidade dos ecossistemas, a industrialização e a urbanização aumentam a contaminação.

Assim, é necessário que haja um tratamento de água para o consumo humano, assegurando que a população tenha acesso à água livre de contaminação, seguindo os parâmetros de qualidade estabelecidos.

O tratamento convencional da água tem como objetivo atender aos padrões de potabilidade e ocorre por meio de diversas etapas, incluindo a captação da água bruta no manancial, seguida pelos processos de clarificação, que envolvem coagulação, floculação e decantação. Após essa fase, a água passa por desinfecção, ajuste de pH, armazenamento em reservatórios e, por fim, distribuição para o consumo.

No Brasil, o sulfato de alumínio é o coagulante químico mais utilizado no tratamento de água devido à sua eficiência na remoção de partículas suspensas e ao seu baixo custo.

Portanto, busca-se verificar o comportamento do coagulante sulfato de alumínio na clarificação de água do rio Amazonas, por meio da avaliação das etapas de coagulação, floculação e decantação da água. Neste cenário, é importante que haja estudos com este coagulante em diferentes dosagens e pH de coagulação, a fim de verificar o comportamento das características da água após o tratamento proposto no presente trabalho.

Deste modo, fica o questionamento: apesar dos avanços no tratamento de água, o uso do coagulante sulfato de alumínio terá eficiência no processo de clarificação de água do rio Amazonas, nas condições de operação, dosagens e pHs

de coagulação estudados?

Como respostas ao questionamento, vislumbra-se que é provável que as características da água do rio Amazonas tenham influência na eficiência da remoção da cor aparente e turbidez da água. Contudo, espera-se que o uso do sulfato de alumínio seja eficiente como agente coagulante nas condições aplicadas ao presente estudo.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficácia do coagulante sulfato de alumínio no processo de clarificação da água do rio Amazonas, com coletas realizadas na Rampa do Açaí localizada na orla de Macapá (AP).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Importância da Água

A água é essencial para a sustentação da vida no planeta, sendo crucial para a existência da humanidade. No entanto, as diversas e complexas ações humanas têm provocado mudanças relevantes nesse recurso vital. O rápido crescimento populacional, a urbanização acelerada e o progresso tecnológico são elementos que intensificam a pressão exercida sobre os mananciais. Esses fatores agravam os impactos na qualidade e na quantidade da água disponível, afetando tanto os ecossistemas naturais quanto o bem-estar humano (Damasceno *et al.*, 2015).

Ainda que a água seja vital para todos os aspectos da vida terrestre, sua disponibilidade depende de vários fatores, incluindo clima, regime hidrológico e tipo de ocupação em uma bacia (Silva *et al.*, 2016).

De acordo com Cartaxo *et al.* (2022) a poluição dos recursos hídricos é um desafio mundial que afeta diversos países, comprometendo o desenvolvimento econômico, a saúde ambiental e impactando negativamente a vida de bilhões de pessoas. Entre as principais causas desse problema estão: o despejo de esgoto doméstico e industrial, o crescimento populacional, o uso de agrotóxicos e fertilizantes agrícolas, resultando em consequências como eutrofização, poluição microbiana e contaminação química, entre outros danos.

Considera-se então, que o grande crescimento populacional elevou o grau de poluição da água e aumentou o consumo. Atualmente, a água é utilizada para a indústria, a agropecuária, a navegação, a recreação, a pesca e o paisagismo, além do consumo. Assim, a água deve ser preservada para que não desapareça e não prejudique a vida ou a cadeia produtiva (Reis; Sanches; Maldonado, 2021; Santos *et al.*, 2018).

### 2.2 Rio Amazonas

A bacia hidrográfica do rio Amazonas, reconhecida como a maior do planeta, abrange uma extensa área marcada por uma notável diversidade geológica, climática e ecológica. Essa variedade influencia diretamente a tipologia de suas águas, que pode ser classificada com base em suas características físicas, químicas e biológicas

(Silva *et al.*, 2020).

As características das águas da bacia Amazônia são diferenciadas das de outras regiões do país, uma vez que os rios desta bacia encontram-se setorizados em ambientes geologicamente diferentes, com solos e relevos diferentes, abrigando a flora e a fauna adaptadas a cada local, sob influência determinante do clima da região (Silva *et al.*, 2020).

Segundo Homma (2005), 70% da população da região norte brasileira é urbana, 90% da população do estado do Amapá vive nas cidades, e com isso as concentrações populacionais localizadas ao longo do rio Amazonas estão transformando seu leito em um grande esgoto das cidades ao longo de sua calha (Manaus, Porto Velho, Parintins, Santarém, Macapá, dentre outras).

As águas do rio Amazonas no Estado ainda não possuem enquadramento, como preconiza a Resolução CONAMA nº. 357/05 (ANA, 2019; CONAMA, 2005). Dessa forma, enquanto não forem aprovados os respectivos enquadramentos, deve-se considerar o rio Amazonas como classe 2 (Guedes, 2023).

A orla do município de Macapá (AP), atua como a principal fonte de abastecimento de água, já que alimenta o sistema de captação da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Macapá, operado pela Concessionária de Saneamento do Amapá (CSA) (Damasceno *et al.*, 2015). Deste modo, avaliar os parâmetros de qualidade da água do rio Amazonas se torna relevante.

### **2.3 Parâmetros de Qualidade da Água**

Para ser considerada potável, a água destinada ao abastecimento humano deve atender aos padrões de qualidade estabelecidos, dentro dos limites permitidos para os parâmetros químicos, físicos e biológicos (Casali, 2008). Portanto, o Ministério da Saúde por meio da Portaria GM/MS nº. 888/2021 cria regras para a potabilidade, a fim de garantir a qualidade da água fornecida à população (Brasil, 2021).

Segundo Nóbrega e Bonifácio (2021), os parâmetros físicos e químicos da água são influenciados por características únicas da bacia hidrográfica, como a geologia, o relevo, os tipos de solo, o clima e a vegetação. Esses fatores determinam a presença de sólidos, matéria orgânica e inorgânica na água. Os parâmetros da qualidade microbiológica da água são fundamentais para detectar fontes de contaminação e prevenir surtos de doenças transmitidas pela água.

### 2.3.1 Cor Aparente

De acordo com o Ministério da Saúde (MS, 2016) a cor da água é causada pela reflexão da luz em partículas minúsculas com dimensões menores que 1  $\mu\text{m}$  (micrômetro), conhecidas como coloides. Essas partículas, finamente dispersas, podem ter origem orgânica, como ácidos húmicos, fúlvicos e taninos; ou origem mineral, como resíduos industriais e compostos de ferro e manganês (Silva *et al.*, 2017; Von Sperling, 2005).

Segundo Estevam, Silva e Silva (2020) a cor da água se define como cor aparente e a cor verdadeira. A cor verdadeira após filtração ou centrifugação se refere à determinação de cor em amostras sem turbidez; e a cor aparente com material coloidal ou em suspensão se refere à determinação de cor em amostras com turbidez.

A cor aparente é importante para garantir a qualidade estética da água. Níveis elevados de cor são perceptíveis e podem indicar a presença de materiais suspensos e dissolvidos, e quando a cor aparente está em níveis elevados, torna-se facilmente detectável pelas pessoas, o que pode gerar rejeição, além de aumentar o risco de microrganismos e substâncias tóxicas, tornando a água inadequada para o consumo (Casali, 2008).

A Portaria GM/MS nº. 888/2021 define como valor máximo permitido para cor aparente: 15 uH (unidade Hazen: mg/L Pt-Co) (Brasil, 2021).

### 2.3.2 Turbidez

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a turbidez indica o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água. Esta atenuação ocorre pela absorção e espalhamento da luz causada pelos sólidos em suspensão (silte, areia, argila, algas, detritos, entre outros) (ANA, 2018).

Segundo Rocha (2019) a turbidez da água é um sinal importante da sua qualidade, indicando a quantidade de partículas que estão suspensas nela. Quando a água fica turva, pode significar a presença de materiais como argila, silte e matéria orgânica. Esses elementos não apenas tornam a água menos clara, mas também podem prejudicar a saúde dos ecossistemas aquáticos e dificultar o tratamento da água.

Esse parâmetro pode ter origem natural ou antrópica, sendo essencial tanto

sua qualificação quanto a identificação da fonte. De forma natural, a principal contribuição vem dos materiais em suspensão, que são transportados pelos solos, especialmente os materiais inorgânicos predominantes que neles se encontram (Casali 2008; Rocha, 2019). Assim, nos períodos de intensa precipitação que podem gerar um escoamento exacerbado, há uma lixiviação do solo influenciando na turbidez dos cursos d'água (Nóbrega; Bonifácio, 2021).

Valores de turbidez abaixo de 5,0 uT (unidade de turbidez) são considerados aceitáveis para o consumo humano, conforme a Portaria GM/MS nº. 888/2021 (Brasil, 2021).

### **2.3.3 pH**

O potencial hidrogeniônico (pH) é a medida da concentração de íons hidrogênio ( $H^+$ ), que indica se a água está em estado ácido, neutro ou alcalino, em uma escala que vai de 0 a 14 (Von Sperling, 2005).

As variações no pH podem ser causadas por fatores naturais como a decomposição das rochas ou por atividades humanas como derramamentos industriais. Há ainda casos específicos, como os ácidos húmicos gerados pela decomposição da vegetação que resultam em valores de pH entre 4 e 6. Além disso, a acidificação da água também pode ocorrer devido à poluição atmosférica e origem antrópica, despejo doméstico e despejo industrial (Funasa, 2014).

Valores de pH entre 6 e 9 são recomendados pela Portaria GM/MS nº. 888/2021 (Brasil, 2021).

### **2.3.4 Alumínio**

Os sais de alumínio são utilizados no tratamento de água para o consumo humano, entretanto, o aumento de alumínio na concentração da água pode causar possíveis doenças do foro neurológico associadas ao Alzheimer, Parkinson e esclerose lateral amiotrófica (ELA) (Rosalino, 2011).

Além disso, devido a falhas ou à ausência de controle operacional adequado, os produtos químicos tóxicos empregados no tratamento da água podem ser transferidos para as residências dos consumidores. Os riscos à saúde da população, decorrentes dos níveis de alumínio na água tratada, que estão fora dos padrões de

potabilidade da legislação vigente trazendo riscos evidentes e potenciais (Figueiredo, 2004).

O limite máximo permitido para alumínio é de 0,2 mg/L, segundo a Portaria GM/MS nº. 888/2021 (Brasil, 2021).

### **2.3.5 Ferro**

O ferro (Fe) solúvel quando entra em contato com o meio ambiente oxidado se transforma em compostos insolúveis que conferem à água a coloração avermelhada para os precipitados de ferro, além de deixá-la com um aspecto turvo. (Apolinário *et. al.*, 2018).

A presença de ferro em águas de abastecimento podem promover alguns inconvenientes, como: alteração de odor e sabor da água; aparecimento de manchas em louças, roupas e vasos sanitários; aparecimento de incrustações e de bactérias ferruginosas no sistema de distribuição; e interferência em processos industriais (Santos, 2020).

A Portaria GM/MS nº. 888/2021 (Brasil, 2021) permite um valor máximo de 0,3 mg/L para o consumo humano.

### **2.3.6 Sulfato**

O sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) é amplamente encontrado na natureza, ocorrendo em diferentes concentrações em águas (Vasconcelos, 2018). Em águas naturais, o sulfato provém principalmente da dissolução de solos e rochas. Já as principais fontes antropogênicas incluem o lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais (Fernandes, 2012).

A Portaria GM/MS nº. 888/2021 (Brasil, 2021) traz 250 mg/L como valor máximo permitido para esse parâmetro.

### **2.3.7 Coliformes Totais**

Os coliformes totais representam um grupo de bactérias que estão presentes no intestino humano e de animais de sangue quente, e são eliminadas em grandes quantidades nas fezes e quantificadas por métodos simples. Entre os exemplos,

podem-se citar os gêneros: *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. Também estão presentes no solo e vegetais, tendo relativa capacidade de se multiplicarem na água (Marquezi, 2010; Alves, 2018).

Como a presença de coliformes totais em águas indica contaminação microbiológica, a Portaria GM/MS nº. 888/2021 (Brasil, 2021) prevê ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

### **2.3.8 *E. coli***

A *Escherichia coli* (*E. coli*) é uma bactéria do grupo dos coliformes, cujo habitat principal é o intestino de seres humanos e animais de sangue quente. Ela representa aproximadamente 95% das bactérias coliformes presentes nas fezes desses organismos (Marquezi, 2010).

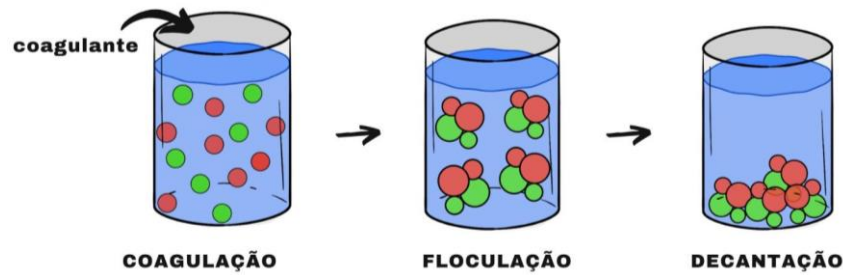
A detecção de *E. coli* sugere contaminação fecal, com risco de patógenos como rotavírus, *Salmonella* spp. e protozoários causadores de doenças gastrointestinais (Barbosa *et al.*, 2025). Além disso, a má qualidade microbiológica das águas está diretamente relacionada às doenças de veiculação hídrica, como a febre tifoide, cólera, hepatite A e giardíase (Souza-Silva *et al.*, 2023).

A Portaria GM/MS nº. 888/2021 (Brasil, 2021) estabelece a ausência de *E.coli* em 100 mL de água.

## **2.4 Clarificação da Água**

De acordo com Santos *et al.* (2024) as etapas do processo de clarificação ocorrem a partir da coagulação, floculação e decantação e são essenciais para o tratamento de água, já que contribuem significativamente para a redução da presença de sólidos em suspensão (Figura 1).

**Figura 1:** Processo de clarificação da água



Fonte: Santos *et al.* (2024)

Assim, a clarificação da água é a remoção de partículas sólidas suspensas sedimentáveis e coloidais presentes na água, tendo origem na erosão do solo, decaimento da vegetação, microrganismos e compostos produtores de cor. As partículas maiores podem ser eliminadas na decantação, já as mais finas têm que passar por um processo de coagulação com o uso de produtos químicos (coagulantes), a fim de produzir flocos que serão retirados na etapa de sedimentação (Filho e Rita, 2002).

#### 2.4.1 Coagulação

A etapa de coagulação compreende o processo de desestabilização das partículas através da adição de um produto químico (coagulante) e intensa agitação. Estes coagulantes reagem com o particulado sólido, desestabilizando-os e diminuindo as forças que os mantêm afastados (Souza *et al.*, 2022). O coagulante adicionado à água reduz as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão (Júnior; Cicilinski; Reis, 2024).

A coagulação no tratamento de água envolve dois processos distintos: um de natureza química e outro de caráter físico. O processo químico depende da concentração do metal e do pH final da solução, ocorrendo por meio da reação entre o coagulante e a água, resultando na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva. Já o processo físico está relacionado ao deslocamento dessas espécies na água, possibilitando seu contato com as impurezas. Esse contato é favorecido pela etapa de mistura rápida nas Estações de Tratamento de Água (ETA), promovendo a desestabilização das partículas contaminantes ou sua incorporação aos flocos formados (Di Bernardo *et al.*, 2017).

### 2.4.1.1 Sulfato de Alumínio

O sulfato de alumínio, objeto de estudo deste trabalho, é considerado o coagulante mais utilizado nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) do Brasil e em diversos países do mundo por ser eficaz e facilmente acessível, especialmente devido ao seu baixo custo e alta eficiência, porém possui características cumulativas (Kurniawan *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2024; Souza *et al.*, 2022).

É necessário que se estabilize o pH ótimo para a coagulação, já que o pH ideal varia de acordo com o coagulante e o tipo de água a ser tratada e alterações no pH podem desestabilizar os colóides por diferentes mecanismos (Alves, 2020). No caso do sulfato de alumínio, a faixa de pH ideal é entre 5,5 e 8,5 (Konradt-Moraes, 2011; Rosalino, 2011).

Contudo, os resíduos de alumínio na água, provenientes do uso do sulfato de alumínio de forma inadequada, podem contribuir para algumas doenças no organismo humano, como osteoporose, hiperatividade e dificuldade de aprendizado em crianças, e até mesmo para *Alzheimer* e *Parkinson* (Santos *et al.*, 2020).

### 2.4.2 Floculação

A floculação é uma das operações unitárias do processo de clarificação, envolvendo um conjunto de fenômenos físicos que tem como objetivo principal reduzir a quantidade de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida (Libâneo, 2010).

Assim, após a etapa de coagulação, ocorre a floculação, que é baseada na aglutinação de partículas em flocos com peso específico superior ao da água, que então se depositarão para facilitar sua remoção (Meza-leones, 2018).

Deste modo, a floculação está diretamente relacionada às dosagens de coagulante, além do método de operação adotado. Nesse estágio, são criadas diversas oportunidades para que partículas suspensas na água se transformem em colóides ou agregados, por meio de uma agitação suave e prolongada. As câmaras de floculação são projetadas para promover um fluxo laminar, evitando a quebra dos flocos, ao mesmo tempo em que garantem uma mistura adequada para a sua formação (Konradt-Moraes, 2011).

### **2.4.3 Decantação**

A decantação é uma operação unitária que reflete a eficiência das etapas anteriores, como a coagulação e a floculação, sendo uma das mais comuns realizadas no tratamento convencional. Consiste na utilização da força gravitacional para separar as partículas de densidade superior à da água sendo depositado em decantadores (Richter; Azevedo Netto, 2002).

Assim, na etapa de decantação, aos flocos formados anteriormente são fornecidas condições que os permitam depositar pela ação da gravidade. Esse procedimento tem por objetivo reduzir o afluxo de partículas às unidades filtrantes (Libâneo, 2010).

### **2.4.4 Outras Etapas do Tratamento**

O tratamento convencional de água ainda contempla as etapas de filtração e desinfecção.

Considera-se que o processo de filtração assume a tarefa de reter os flocos que não sedimentaram durante a fase anterior, além de ter um papel vital na eliminação de microrganismos (Kurniawan *et al.*, 2020).

A desinfecção tem como função inativar ou eliminar microrganismos presentes na água. Como há diferentes tipos de microrganismos, utilizam-se desinfetantes variados em tipos e dosagens. Entre as opções, a desinfecção por cloro se destaca por ser de baixo custo, eficiente e amplamente utilizada, além de permitir a manutenção do residual exigido pela legislação (Cavalheiro, 2023).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Avaliar a eficácia do coagulante sulfato de alumínio no processo de clarificação da água do rio Amazonas.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

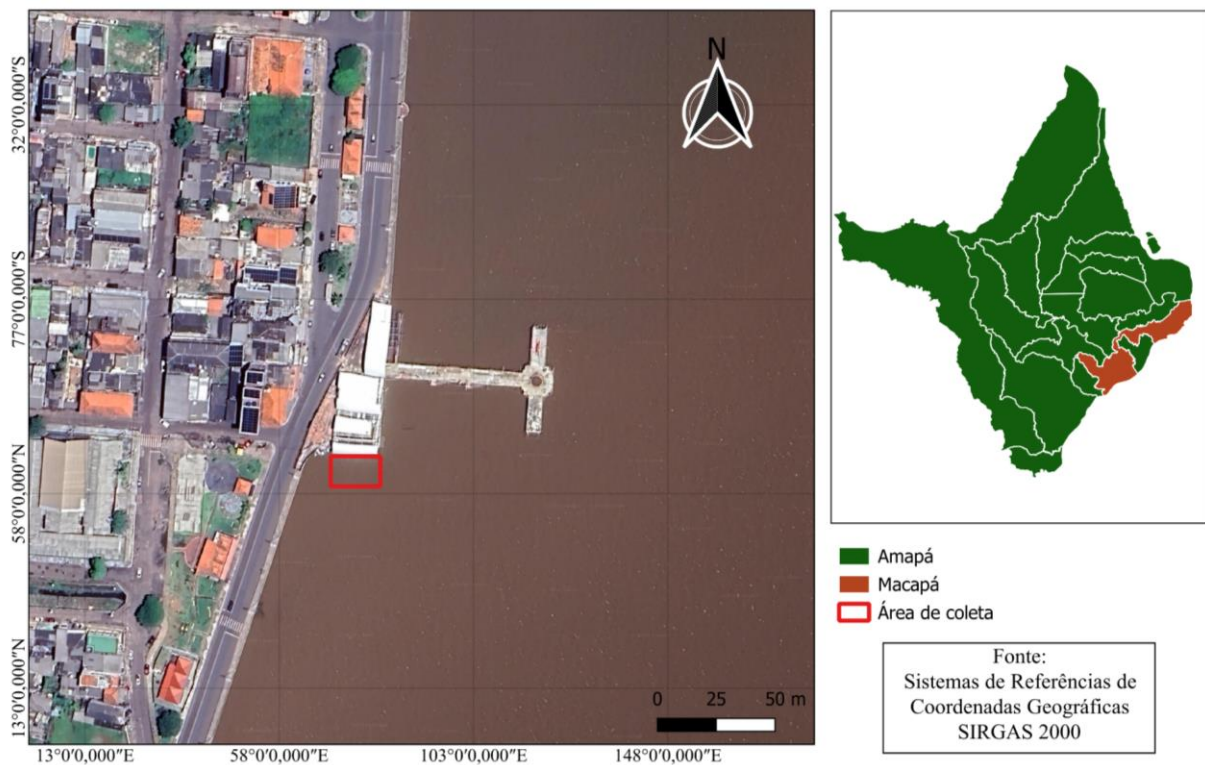
- Investigar a dosagem ótima do sulfato de alumínio para a remoção de cor aparente e turbidez da água;
- Estabelecer o pH ótimo de coagulação da água;
- Determinar o tempo de sedimentação ideal no processo de clarificação da água.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende a Rampa do Açaí, localizada na orla do rio Amazonas no município de Macapá (AP), próximo à estação de captação da Concessionária de Saneamento do Amapá (CSA), nas seguintes coordenadas geográficas: 0°00'55"N 51°03'24"W (Figura 2).

**Figura 2:** Área de coleta da água bruta no rio Amazonas



Fonte: Autoria própria (2025)

A água bruta foi coletada no dia 15 de fevereiro de 2025, em galões de 20 L e se manteve armazenada em freezer (Gelopar, GHBS 02 portas).

### 4.2 Ensaio em Laboratório

A parte experimental desta pesquisa foi realizada no Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem Ambiental (LABQSAMB) do curso de Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP).

O pH de coagulação da água bruta foi ajustado antes da realização dos testes para: 5; 6; 7; e 8. Para a correção do pH de coagulação, foram utilizadas soluções de:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Ácido sulfúrico P.A. ACS, Qhemis) e/ou  $\text{NaOH}$  (Hidróxido de sódio P.A, Synth) a 0,1 M. A medição do pH foi realizada em um pHmetro de bancada (Hach, HQ4300).

Os ensaios foram realizados a nível de bancada no equipamento *Jar Test* (Milan, JT303.M/6) para simular o processo de clarificação da água: etapas de coagulação, floculação e decantação, com 1 L de água bruta (Figura 3) .

**Figura 3:** Equipamento *Jar Test*



Fonte: A autoria própria (2025)

As condições de operação que foram programadas no *Jar Test* foram adaptadas de acordo com a literatura (Santos *et al.*, 2020, Souza *et al.*, 2022), sendo:

- VMR (velocidade de mistura rápida): 180 rpm (rotação por minuto);
- TMR (tempo de mistura rápida): 1 min (minuto);
- VML (velocidade de mistura lenta): 30 rpm;
- TML (tempo de mistura lenta): 20 min;
- TS (tempo de sedimentação): 10, 20 e 30 min;

Para a preparação da solução padrão de coagulante foi utilizado 1 g de sulfato de alumínio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (Autolabor) dissolvido em 100 mL de água destilada, para obter uma solução de 1% m/v.

As dosagens do coagulante utilizadas nos ensaios de clarificação da água foram: 0, 5, 10, 15, 20 e 25 mg/L (Valverde *et al.*, 2018).

Após os ensaios realizados em *Jar Test*, foram realizadas as análises de cor aparente no espectrofotômetro (Hach, DR3900) e turbidez no turbidímetro (Akso, Turbimax) da água clarificada em duplicata, totalizando 288 resultados.

O software Minitab Statistical (versão 22) foi utilizado para construir os gráficos de contorno. Esses gráficos são úteis para visualizar a interação entre duas variáveis e como elas afetam uma terceira variável que representa uma superfície de resposta. Conforme a cor fica mais escura, a resposta aumenta. Assim, foi possível avaliar o comportamento da dosagem do coagulante x pH de coagulação e verificar a eficiência de remoção dos parâmetros de qualidade avaliados: cor aparente e turbidez.

Os parâmetros de qualidade analisados para a água clarificada após a definição das condições ótimas do processo, assim como os equipamentos utilizados estão descritos no quadro abaixo (Quadro 1).

**Quadro 1:** Parâmetros de qualidade e equipamentos

<b>Parâmetros de Qualidade</b>	<b>Equipamentos</b>
Cor aparente	Espectrofotômetro Hach, DR3900
Turbidez	Turbidímetro Akso, Turbimax
pH	pHmetro portátil Hach, HQ 4300
Alumínio	Espectrofotômetro Hach, DR3900
Ferro	
Sulfato	
Coliformes totais	Seladora Idexx Quanti-tray Sealer, 2x Lab Sealer; estufa de Leo; câmara de UV
<i>E. coli</i>	

Fonte: Autoria própria (2025)

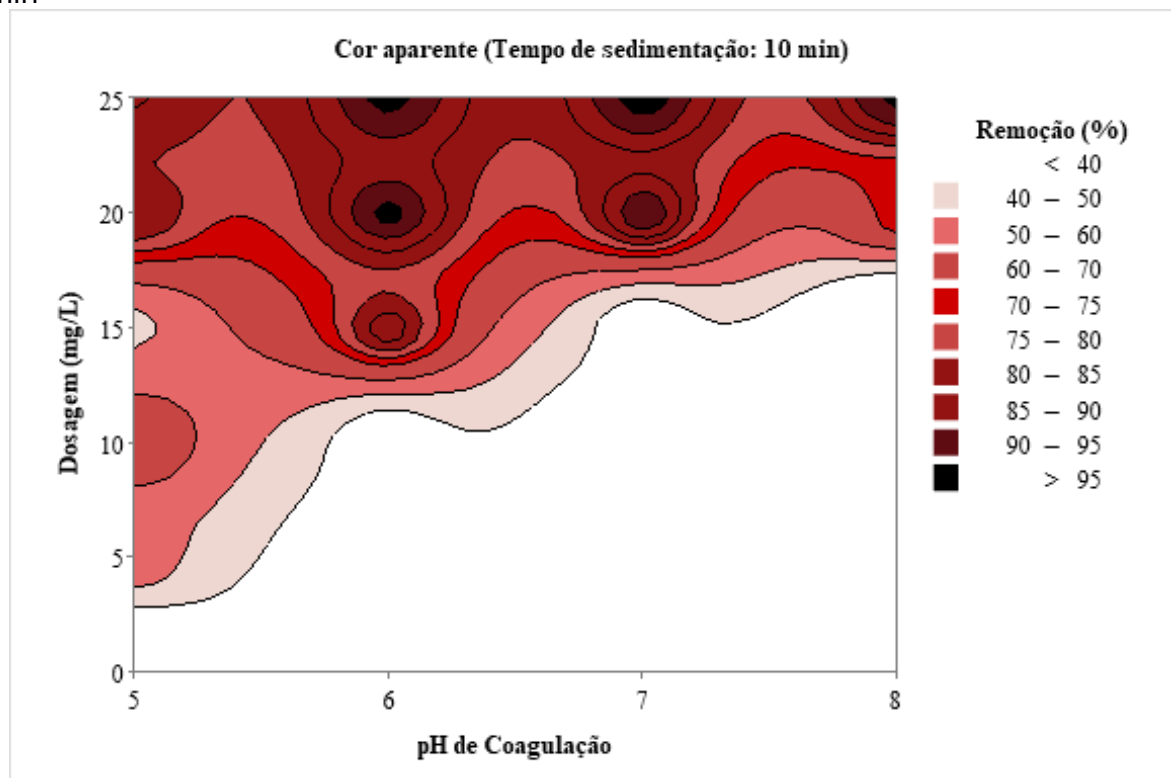
Os resultados obtidos na análise de qualidade de água foram comparados com os limites máximos permitidos estabelecidos pela Portaria GM/MS nº. 888/2021 (Brasil, 2021).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras de 4 a 9 apresentam os gráficos de contorno para os parâmetros cor aparente e turbidez nas condições estudadas, que demonstram os resultados da eficiência de remoção (%) obtidos para a dosagem de coagulante (0 a 25 mg/L) x pH de coagulação (5 a 8), de acordo com os tempos de sedimentação avaliados (10, 20 e 30 min). As colorações mais escuras de cada gráfico representam as maiores eficiências de remoção (%) para os parâmetros de qualidade.

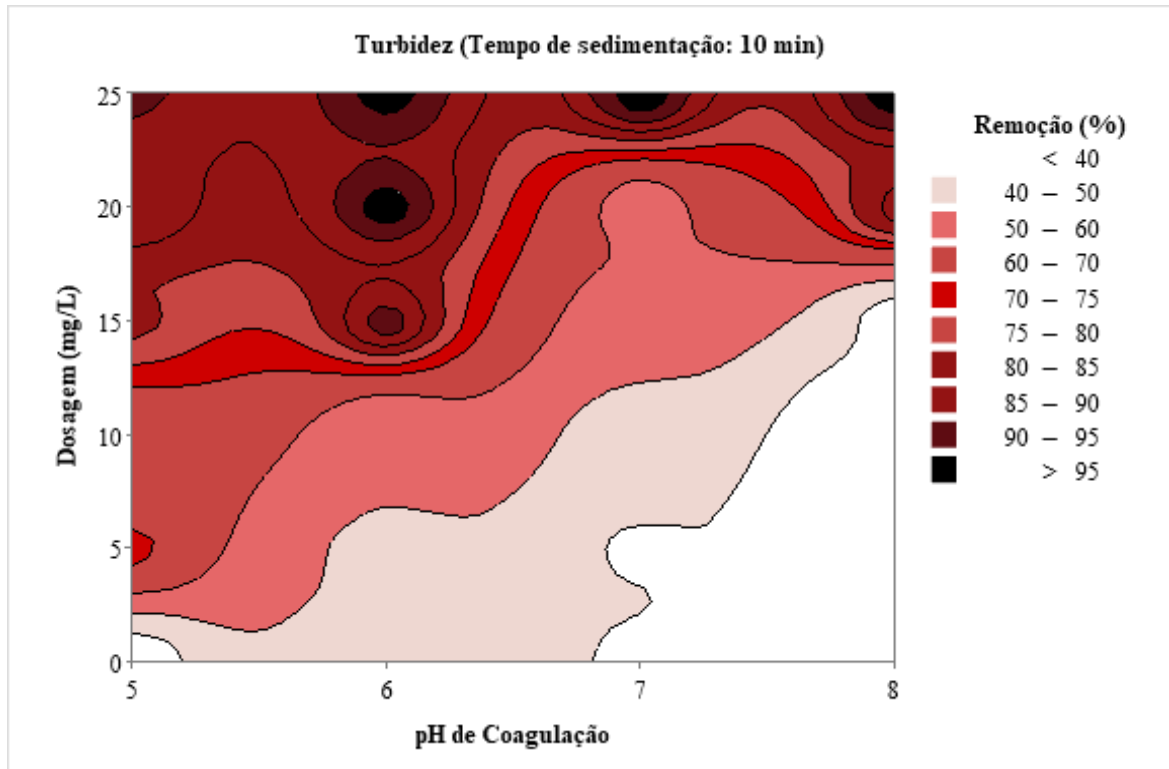
Os valores obtidos na caracterização da água bruta foram: 757 uH, 168 uT e 7; para cor aparente, turbidez e pH, respectivamente.

**Figura 4:** Gráfico de contorno para cor aparente no tempo de sedimentação de 10 min



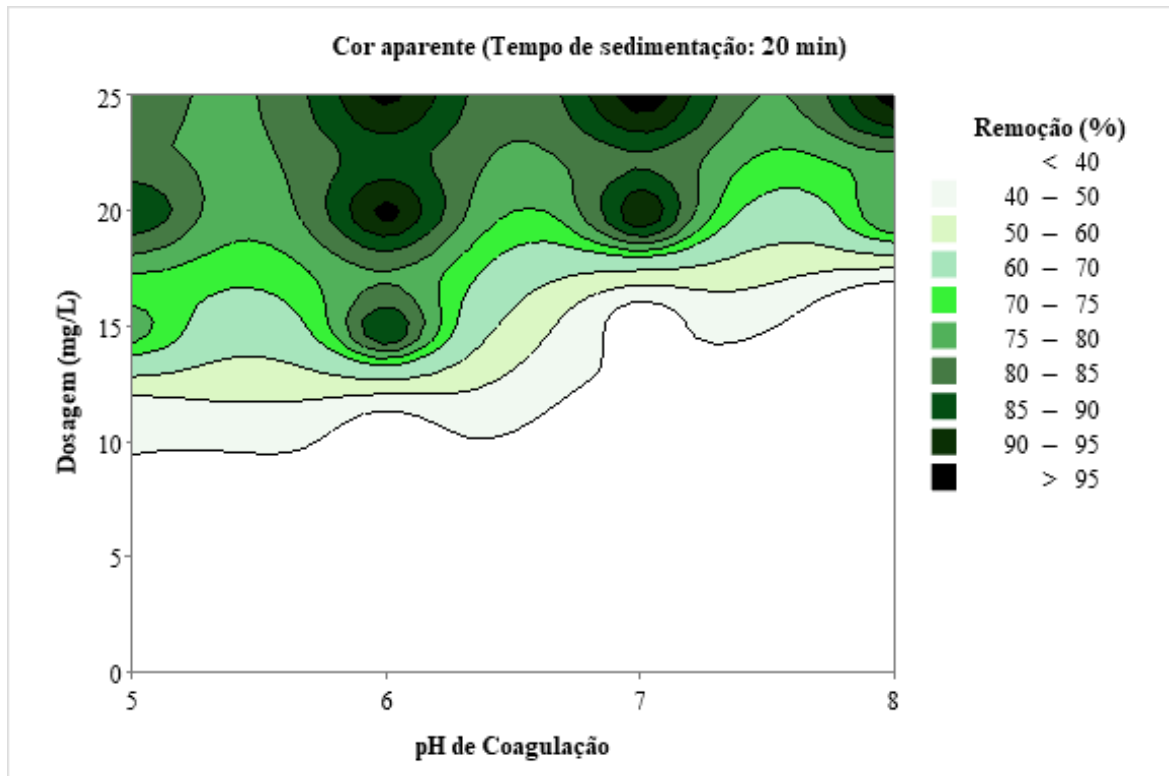
Fonte: Autoria própria (2025)

**Figura 5:** Gráfico de contorno para turbidez no tempo de sedimentação de 10 min



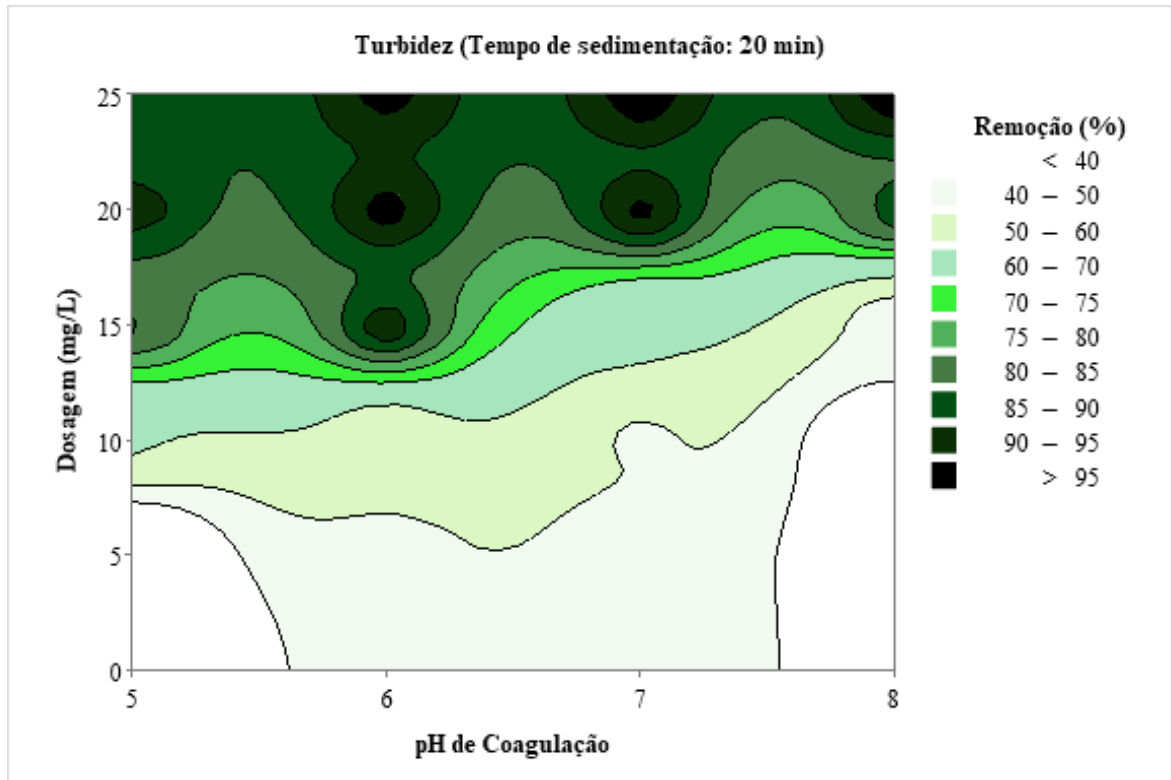
Fonte: Autoria própria (2025)

**Figura 6:** Gráficos de contorno para cor aparente no tempo de sedimentação de 20 min



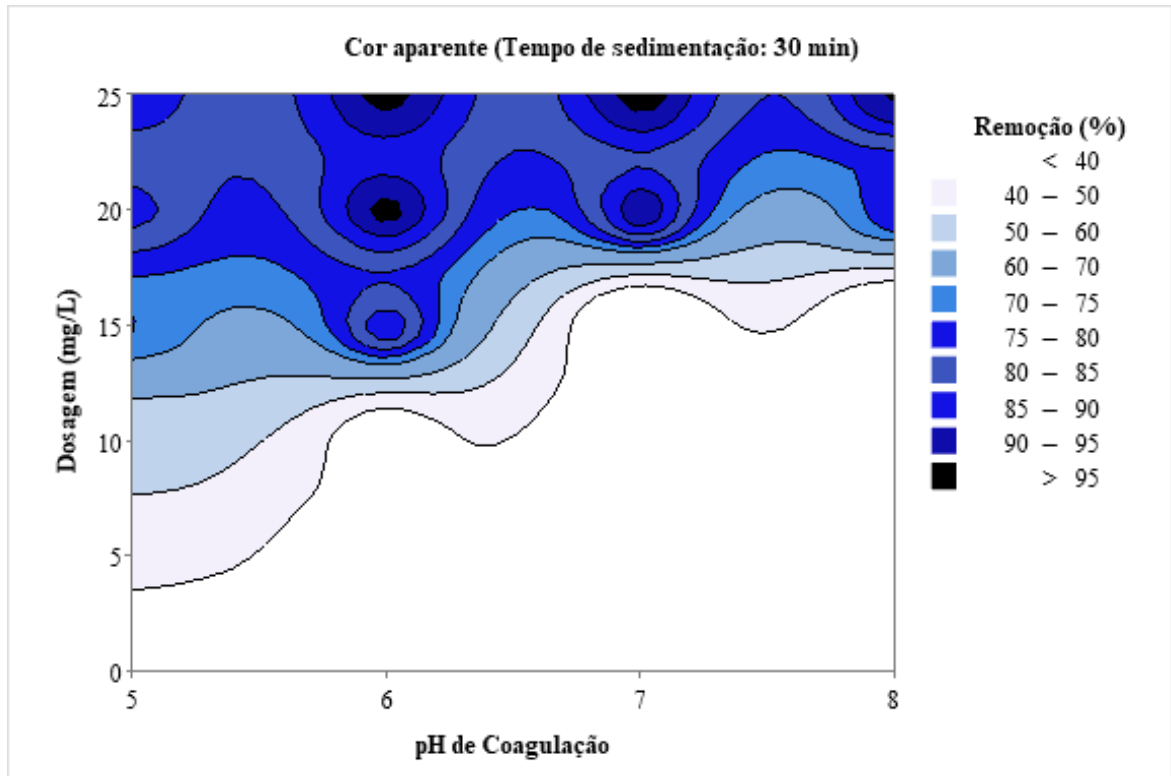
Fonte: Autoria própria (2025)

**Figura 7:** Gráfico de contorno para turbidez no tempo de sedimentação de 20 min



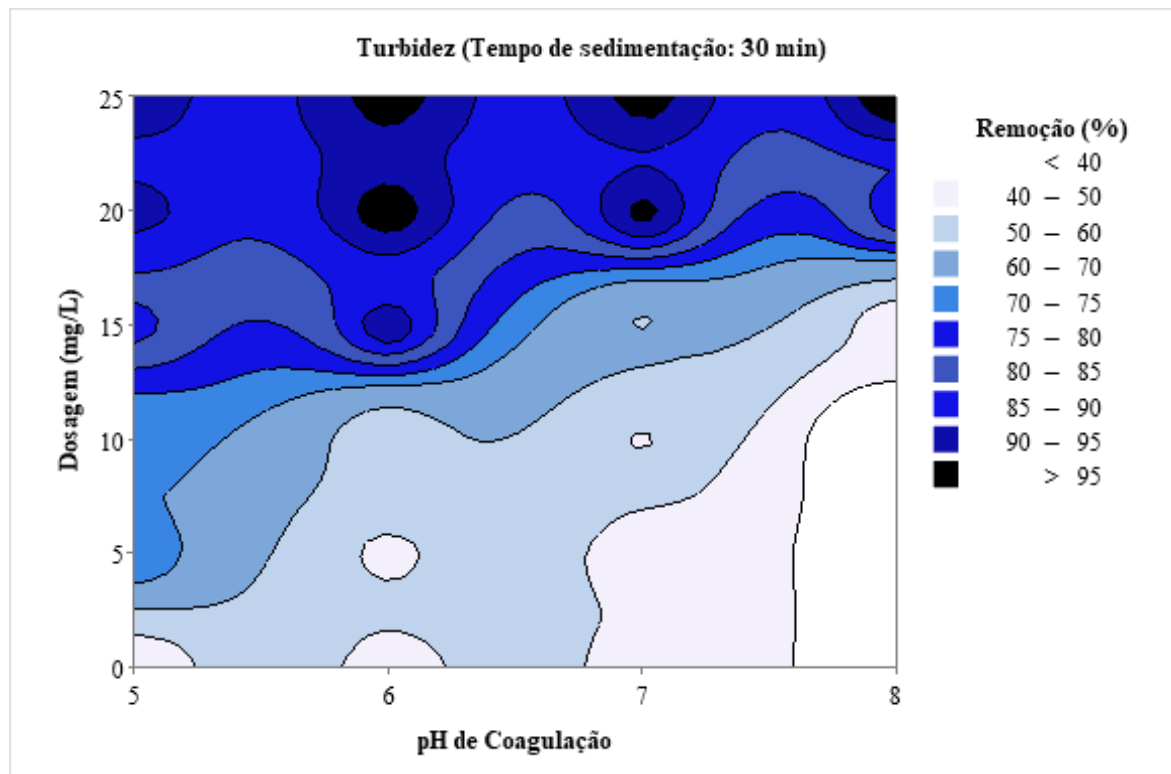
Fonte: Autoria própria (2025)

**Figura 8:** Gráfico de contorno para cor aparente no tempo de sedimentação de 30 min



Fonte: Autoria própria (2025)

**Figura 9:** Gráfico de contorno para turbidez no tempo de sedimentação de 30 min



Fonte: Autoria própria (2024)

O controle (dosagem de 0 mg/L de coagulante) após o processo de clarificação apresentou baixa redução da cor aparente e turbidez em comparação com a água bruta em todos os pHs de coagulação e tempos de sedimentação, conforme esperado, pois a ação da gravidade tende a decantar sólidos naturalmente com o passar do tempo.

De acordo com o trabalho de Silva, Capobiango e Bastos (2017), a remoção de turbidez se viu comprometida em valores de dosagens e pH mais baixos: 8 mg/L e 5,8, respectivamente, para uma água bruta coletada no estado de Minas Gerais (MG) com turbidez inicial superior a 160 uT. Dosagens baixas, mesmo em valores mais elevados de pH, também resultaram em baixa eficiência de remoção de turbidez, tanto no trabalho dos autores citados, quanto no presente trabalho. Sugere-se então que essa combinação resultou na insuficiência de cargas positivas comprometendo a coagulação da água (Silva; Capobiango; Bastos, 2017).

Em geral, constatou-se no presente estudo, que quanto maior a dosagem de coagulante utilizada (20 e 25 mg/L), melhor a eficiência de remoção observada, o que corrobora com o estudo realizado por Souza e Ferreira (2021), no qual foi avaliada a eficiência do processo de coagulação em amostras de água bruta do Rio Solimões

(AM), com turbidez inicial entre 75 e 150 uT, caracterizada por uma elevada carga de partículas em suspensão. Os autores observaram que as melhores remoções de turbidez foram alcançadas com o aumento das dosagens de coagulante, que variaram entre 7 e 25 mg/L, sendo os testes conduzidos em pH 7. Esses resultados indicam que, para águas com alta turbidez, a aplicação de dosagens mais elevadas de coagulante pode ser necessária para garantir a eficiência do tratamento.

Neste contexto, Silva (2021) destaca que, para uma turbidez de 150 uT, a dosagem ideal do coagulante sulfato de alumínio é de 18 a 37 mg/L, o que vai de encontro com os resultados do presente trabalho. Assim, os resultados apresentados a seguir referem-se às dosagens de 20 mg/L e 25 mg/L de coagulante.

O pH de coagulação 5 foi o que apresentou menor eficiência de remoção para as dosagens de 20 mg/L e 25 mg/L de coagulante, em todos os tempos de sedimentação estudados (10 min, 20 min e 30 min) (Figuras 4 a 9), com faixas de remoção de cor aparente e turbidez entre 82,2% e 92,4%. Seneda, Garcia e Reis (2019) ressaltam que em valores de pH inferiores a 6, o hidróxido de alumínio ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) permanece em sua forma solúvel, o que dificulta a formação do precipitado necessário para o mecanismo de varredura, levando à permanência de turbidez e cor elevadas na água tratada. Este fato também foi observado por Rosalino (2011).

Para um tempo de sedimentação de 10 min (Figuras 4 e 5) foram obtidos valores de remoção de cor aparente entre 96,1% e 96,8%, e de turbidez entre 97,2% e 97,3%, com dosagens de sulfato de alumínio de 20 mg/L e 25 mg/L, respectivamente, e um pH de coagulação de 6. Quando a dosagem de sulfato de alumínio foi aumentada para 25 mg/L e o pH de coagulação ajustado para 7, a eficiência de remoção alcançou 97,7% para a cor aparente e 98,1% para a turbidez. Nesta mesma dosagem de 25 mg/L, mas com pH de coagulação 8, os valores de eficiência de remoção foram de 96,5% para a cor aparente e 98,3% para a turbidez.

Já no tempo de sedimentação de 20 min (Figuras 6 e 7), eficiências de remoção na ordem de 95,7% a 96,7% foram obtidas para os parâmetros de qualidade avaliados no pH de coagulação 6. Observou-se ainda eficiências de remoção de cor aparente e turbidez de 93,5% e 97,7% para cor aparente e 95,7% e 98,2% para turbidez, nas dosagens de 20 mg/L e 25 mg/L de sulfato de alumínio, respectivamente, no pH de coagulação 7. O pH 8 não interferiu na eficiência de remoção, sendo obtidos resultados semelhantes ao pH 7.

Referente ao tempo de 30 min de sedimentação (Figuras 8 e 9), faixas de

remoção entre 96,0% e 97,8% foram observadas para os parâmetros de qualidade estudados, em pHs de coagulação 6 e 7 e dosagens de coagulante de 20 mg/L e 25 mg/L. Nota-se um comportamento similar para pH de coagulação 8, na dosagem de 25 mg/L, com remoção de 95,9% para cor aparente e 98,6% para turbidez.

Silva, Capobianco e Bastos (2017) afirmam que a região de maior remoção de turbidez está associada ao mecanismo de varredura, que aconteceu na faixa de pH de coagulação entre 6,3 e 7,8 e com dosagens de sulfato de alumínio entre 16 e 26 mg/L adicionadas na água bruta coletada em MG. Para Bartiko, De Julio (2015) os melhores resultados foram observados na faixa de pH de coagulação entre 6,5 e 7,5, com uma dosagem do coagulante comercial superior a 15 mg/L, em uma água bruta coletada em São José dos Campos (SP). Esses estudos estão de acordo com o comportamento obtido no presente trabalho.

### **5.1 Definição das Condições Ótimas do Processo**

A otimização das dosagens de produtos químicos no tratamento de água é fundamental para garantir bons resultados, já que o sulfato de alumínio pode prejudicar o processo de tratamento de água, elevando a turbidez e aumentando os custos operacionais. Portanto, o uso do *Jar Test* permite encontrar as dosagens ideais, assegurando eficiência, economia e conformidade com os padrões de qualidade da água (El-bacha *et al.*, 2024).

Dentre os resultados obtidos, optou-se por escolher a dosagem ótima de sulfato de alumínio de 20 mg/L em um pH de coagulação 7, para um tempo de sedimentação de 20 min, já que a dosagem de 25 mg/L apresentou um resultado semelhante.

Como destaca El-bacha *et al.* (2024), quantidades adicionais de sulfato de alumínio além do ponto ótimo não promovem melhorias significativas, pois a turbidez permanece praticamente inalterada. Assim, a dosagem de 20 mg/L foi escolhida com base no critério de ser uma das concentrações mais baixas que apresenta bons resultados, visando à eficiência do processo com o menor consumo de reagente.

Segundo Narges (2021), a faixa de pH de coagulação entre 6,9 e 7,7 se mostra adequada, o que também foi observado no presente trabalho. Rosalino (2011) também relata que o intervalo ótimo de pH para a maioria das águas está entre 6,8 e 7,5, quando se utiliza o coagulante sulfato de alumínio. Deste modo, o pH de coagulação 7 foi escolhido por ser de fácil ajuste, visto que o pH da água bruta do rio

Amazonas já se encontra próximo a esse valor. Assim, reduz-se a necessidade de correção química, tornando o processo mais simples, eficiente e econômico.

Silva (2017) observou que, ao fim de um tempo de sedimentação de 8 min em água subterrânea proveniente de poços artesianos na cidade de Remígio (PB), as partículas formadas ainda não haviam se sedimentado completamente, indicando que tempos menores de sedimentação não foram suficientemente eficazes para a remoção adequada das partículas em suspensão. Assim, foi necessário adotar um tempo maior de 16 min, garantindo uma melhor eficiência no processo. Isso demonstra que tempos reduzidos não permitem a completa deposição das partículas menos densas. No presente estudo, observou-se uma remoção de turbidez de apenas 55,1% com uma dosagem de 20 mg/L após 10 min de sedimentação e de 95,7% após 20 min, o que justifica essa escolha do tempo de sedimentação, já que para 30 min de sedimentação, a eficiência de remoção aumentou apenas 0,3%.

## **5.2 Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos da Água Clarificada**

A Tabela 1 apresenta o resultado das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água bruta, da água clarificada e a eficiência de remoção (%) obtida nos ensaios realizados em condições otimizadas.

**Tabela 1:** Parâmetros de qualidade da água bruta, água clarificada e eficiência de remoção (%) obtida

Parâmetros de Qualidade	Água bruta	Água clarificada	Eficiência de remoção (%)	VMP <sup>(*)</sup>
Cor aparente (uH)	757	98	87,0	15
Turbidez (uT)	168	15,5	90,7	5
pH	7 <sup>(**)</sup>	6,7	-	-
Alumínio (Al)	0,5	1,0	-101,6	0,2
Ferro (Fe)	1,84	0,13	92,9	0,3
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	3	14	-366,7	250
Coliformes totais (NMP/100 mL)	> 2419,6	> 2419,6	-	Ausência em 100 mL
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	> 2419,6	1046,2	> 56,7	Ausência em 100 mL

(\*): Valores máximo permitido pela Portaria GM/MS nº. 888/2021 (Brasil, 2021).

(\*\*): pH da água bruta ajustado.

Fonte: Autoria própria (2025)

Constatou-se que os parâmetros de qualidade cor aparente e turbidez não atenderam ao limite estabelecido pela Portaria GM/MS nº. 888/2021 (Brasil, 2021), com as etapas de clarificação da água: coagulação, floculação e decantação. Contudo, as eficiências de remoção obtidas foram de 90,7% e 87,0%, respectivamente, indicando a eficiência do coagulante sulfato de alumínio, o que também foi observado por Santos, Rosa e Michelan (2022), que evidenciaram que diversos coagulantes, incluindo o sulfato de alumínio, contribuem para a melhoria da qualidade da água, promovendo remoção significativa de cor aparente e turbidez.

O pH da água bruta demonstrou uma redução de 7 para 6,7 após o processo de clarificação da água bruta. De acordo Tahraoui (2024), a adição de sulfato de alumínio resulta em uma leve redução do pH, que ocorre pois o coagulante neutraliza as cargas negativas presentes no líquido, liberando íons hidróxido (OH<sup>-</sup>) e, conseqüentemente, ocasionando uma discreta queda no pH. Silva, Capobiango, Bastos (2017) também observaram em seu estudo uma redução nos valores de pH após a etapa de clarificação com o uso desse coagulante.

Quanto ao alumínio, houve um aumento de 101,6%, o que representa que a adição de coagulantes à base de alumínio pode elevar a concentração de alumínio na água tratada, frequentemente ultrapassando os níveis encontrados na água bruta (Rosalino, 2011). Ressalta-se que o parâmetro de alumínio não se enquadra nos

limites estabelecidos pela legislação vigente, tanto na água bruta quanto na água clarificada.

A concentração elevada de ferro na água pode causar danos financeiros e operacionais aos sistemas de abastecimento, além de comprometer sua qualidade estética, resultando na recusa do consumo pela população. Em certas situações, também pode representar um risco à saúde pública (Valones, 2018). Contudo, após o processo de clarificação houve uma eficiência de remoção de 92,2% de ferro na água, obtendo-se a água clarificada dentro dos limites permitidos pela Portaria GM/MS nº. 888/2021 (Brasil, 2021).

O sulfato apresentou um aumento de 11 mg/L após o processo de clarificação da água. Presume-se que esse aumento se deu por conta do uso do sulfato de alumínio como coagulante. Entretanto, o valor ainda se mantém abaixo do permitido pela Portaria GM/MS nº. 888/2021 (Brasil, 2021). Considera-se que a etapa de filtração pode ser importante para reduzir esse parâmetro na água tratada.

Não foi possível quantificar coliformes totais da água bruta, pois ultrapassou o limite de contagem na cartela Quanti-tray, de 2419,6 organismos por 100 mL de água. Vale destacar que seria interessante que a amostra de água bruta tivesse passado por um processo de diluição prévio, a fim de possibilitar a quantificação dos coliformes totais. Já a leitura de *E.coli* demonstrou uma redução superior a 56,7%. Sendo assim, a etapa de desinfecção seria interessante, já que desempenha um papel fundamental no tratamento da água, garantindo a remoção de microrganismos patogênicos e melhorando a caracterização da água (Lanrewaju *et al.*, 2021).

Destaca-se que a etapa de filtração é determinante para o aumento da eficiência do processo, resultando em melhores índices de remoção, já que potencializa os efeitos da coagulação, demonstrando-se essencial para garantir a efetividade no tratamento da água e assegurar um padrão de qualidade adequado. Assim, seria interessante propor esta etapa para trabalhos futuros.

Segundo a Portaria GM/MS nº. 888/2021 (Brasil, 2021) toda água para consumo humano fornecida coletivamente deverá passar por processo de desinfecção ou adição de desinfetante para manutenção dos residuais mínimos. Libânio (2010) destaca que a desinfecção representa a etapa final do processo de potabilização da água. É nesse momento que os microrganismos causadores de doenças são eliminados ou inativados, garantindo a segurança do consumo, sendo importante também inserir esta etapa no tratamento de água.

## 6 CONCLUSÃO

Constatou-se que o ensaio em *Jar Test* desempenhou um papel fundamental na determinação da dosagem ideal de coagulante a ser adotada e pH de coagulação, assim como no tempo de sedimentação adequado para o processo de clarificação de água proposto.

Em geral, verificou-se no presente estudo, que quanto maior a dosagem de coagulante utilizada (20 e 25 mg/L), melhor a eficiência de remoção observada. Dentre os resultados obtidos, optou-se pela dosagem ótima de 20 mg/L de sulfato de alumínio, com pH de coagulação 7 e tempo de sedimentação de 20 min, por apresentar desempenho similar à dosagem de 25 mg/L, porém com menor consumo de reagente. O pH 7 foi escolhido por estar próximo ao pH natural da água do rio Amazonas, reduzindo a necessidade de correção e tornando o processo mais simples, eficiente e econômico.

Apesar dos resultados obtidos, a água clarificada ainda não se enquadra nos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº. 888/2021, com exceção do parâmetro químico ferro e o pH. Entretanto, observou-se remoções de 90,7% e 87,0% para cor aparente e turbidez, respectivamente. Em contrapartida, houve um aumento de 101,6% na concentração de alumínio e de 366,7% na concentração de sulfato, ocasionados pela adição do coagulante, sendo que este último ainda está de acordo com os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Não foi possível quantificar os coliformes totais da água bruta e água clarificada devido à ultrapassagem do limite de leitura do método utilizado, porém, *E. coli* apresentou remoção acima de 56,7%.

Todavia, ressalta-se que as etapas de filtração e desinfecção são essenciais para garantir a qualidade final da água, aumentando a eficiência do tratamento e assegurando a potabilidade.

Ademais, é viável que sejam realizadas mais pesquisas nessa linha, buscando conclusões ainda mais pertinentes, a fim de obter resultados mais detalhados.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, S. G. S.; ATAIDE, C. D. G.; SILVA, J. X. Análise microbiológica de coliformes totais e termotolerantes em água de bebedouros de um parque público de Brasília, **Revisa**, v. 7, n. 1, p. 18-22, 2018. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1096808> Acesso em: 28 mar. 2025.
- ALVES, B. S. G. **Análise das variáveis do processo de coagulação-floculação para clarificação de água superficial – RJ**. 2020. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/13602/1/BrunoDaSilvaGoncalvesAlves-min.pdf> Acesso em: 19 out. 2024.
- ANA. Agência Nacional das Águas. **Portal da qualidade das águas**. 2018. Disponível em: [http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#\\_ftn8](http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn8) Acesso em: 10 out. 2024.
- ANA. Agência Nacional das Águas e saneamento básico. **Encarte sobre enquadramento dos corpos d'água na Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – 2019**. 2019. Disponível em: [https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/encarte\\_enquadramento\\_conjuntura2019.pdf](https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/encarte_enquadramento_conjuntura2019.pdf) Acesso em: 27 mar. 2025.
- APOLINÁRIO, M. F.; MEIRELES, L. M.; SILVA, D. J.; SANTANA, H. F. Estudo da remoção de íons ferro e manganês da água utilizando peróxido de hidrogênio como agente oxidante. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 4, p. 0412-0419, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18540/jcecvl4iss4pp0412-0419>
- BARBOSA, E. M. da S.; BEZERRA, P. G. F.; OLIVEIRA, M. J. de; VALVERDE, K. C. Qualidade da água de poços no bairro Central do município de Santana, Amapá, Brasil. **Revista Caderno Pedagógico**. v. 22, n. 5, p. 01-20, 2025. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n5-232>
- BARTIKO, D.; DE JULIO, M. Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 1, p. 71-81, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1239>
- BASSOI, L. J. Poluição da água. In: JÚNIOR, Arlindo Philippi; PELICIONI, Maria Cecília Focesi (Orgs.). **Educação Ambiental e Sustentabilidade**. Barueri, São Paulo: Manole, 2005.
- BRANDÃO, L. M.; GALLARDO, A. L. C. F. Avaliação de impacto ambiental do saneamento ambiental no Brasil: reflexões para o futuro do licenciamento ambiental no contexto da privatização do saneamento. **Gestão & Regionalidade**, v. 39, p. 01-21, 2023. DOI: <https://doi.org/10.13037/gr.vol39.e20237562>
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021. Estabelece

os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. 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: 03 de set. 2024.

BRASIL., A. S. B.; LEITE, V. D.; ALBUQUERQUE, M. V. C.; RODRIGUES, R. M. M.; AMORIM, J. S. de; CAVALCANTI, I. L. R. Ultrafiltração por gravidade como alternativa para tratamento de água no ponto de uso: uma revisão. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 110-122, 2022. DOI:

<https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.005.0009>

CARTAXO, A. S. B.; LEITE, V. D.; ALBUQUERQUE, M. V. C.; RODRIGUES, R. M. M.; AMORIM, J. S. de; CAVALCANTI, I. L. R. Ultrafiltração por gravidade como alternativa para tratamento de água no ponto de uso: **uma revisão**. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 110-122, 2022. DOI:

<https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.005.0009>

CASALI, C. A. **Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul**. 2008. 139 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/5472>.

[Acesso em: 11 abr. 2025](http://repositorio.ufsm.br/handle/1/5472). Acesso em: 11 abr. 2025.

CAVALHEIRO, A. L. **Tecnologia de ponto-de-uso (POU) para desinfecção de água para consumo humano: reator UV-ozônio**. 2023. 102 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria. 2023 Disponível em:

<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/30733> Acesso em: 11 abr. 2025.

CONAMA. Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 55. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> Acesso em: 16 out. 2024.

DAMASCENO, M. da C. S.; MOURA, R. dos S.; COSTA, M de N. F da.; SANTOS, A. L. B.; NASCIMENTO, S da S. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 598-613. 2015. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1606>

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. **Tratabilidade de águas de abastecimento por meio de ensaios de coagulação/floculação em jar teste**. São Carlos: RiMa Editora, 2017.

EL-BACHA, R.; SALHI, A.; HAFID, A.; RABI, S. Water treatment: aluminum sulfate, polymer, and activated carbon between efficacy and overdosing. Case of Oum Er-

Rbia River, Morocco. **Desalination and Water Treatment**, v. 317, p. 1-5, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100273>

ESTEVA, M.; SILVA, A. W da.; SILVA, F. F da. Análise física da água de entrada no sistema agroindustrial de curtume na cidade de Maringá-Paraná. **Ciência e Natura**, v. 41, n. 16, p. 1-09, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X36610>

FERNANDES, M. M.; CEDDIA, M. B.; FERNANDES, M. R. de M.; GUIMARÃES, G. S. C. Influência do uso do solo na qualidade de água da microbacia Palmital, Macaé – RJ. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 137-142, 2012. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1282> Acesso em: 3 apr. 2025.

FIGUEIREDO, G.J.A . **Avaliação da presença de alumínio na água do sistema de abastecimento público da cidade de João Pessoa e Grande João Pessoa no estado da Paraíba e os possíveis riscos para a saúde da população**. 2004. 118 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/4536>. Acesso em: 11 de abril 2025.

FILHO, J. D. S.; RITA, E. S. S. **Gerenciamento do resíduo gerado na clarificação de água da RLAM**. 2002. 136 f. Monografia (Pós-graduação) – Escola Politécnica, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002. Disponível em: <https://silo.tips/download/universidade-federal-da-bahia-gerenciamento-do-residuo-gerado-na-clarificacao-de> Acesso em 23 out. 2024.

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. 2014. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs**. 3. ed. Brasília: Ministério da Saúde. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2020/04/FUNASA-Manual-de-Controle-da-Qualidade-da-%C3%81gua.pdf> Acesso em: 11 abr. 2025.

GUEDES, J. N. **Influência sazonal na qualidade da água e salinização na foz do rio Amazonas**. 2023. 31 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2023. Disponível em: [https://ppgca.unifap.br/wp-content/uploads/2023/03/Dissertacao\\_Jimaine-Nascimento-Guedes.-PPGCA.pdf](https://ppgca.unifap.br/wp-content/uploads/2023/03/Dissertacao_Jimaine-Nascimento-Guedes.-PPGCA.pdf). Acesso em: 27 mar. 2025.

HOMMA, A. K. Amazônia: como aproveitar os benefícios da destruição?. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 115-135, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142005000200007>

JÚNIOR, J. F.; CICILINSKI, A. D.; RIBS, M. M. D. Avaliação da eficiência do processo de coagulação/floculação como tratamento de efluentes de lava car. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 11, n. 2, p. 220-226, 2024. Disponível em: <http://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/12949> Acesso em: 17 out. 2024.

KONRADT-MORAES, L. C. **Estudo dos processos de coagulação e floculação**

**seguidos de filtração com membranas para a obtenção de água potável.** 2011. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3645/1/000178868.pdf> Acesso em: 16 out. 2024.

KURNIAWAN, S. B.; ABDULLAH, S. R. S.; IMRONET, M. F.; DISSE, N. S. M.; ISMAIL, N.; HASAN, H. A.; OTHMAN, A. R.; PURWANTI, I. F. Desafios e oportunidades da aplicação de biocoagulantes/biofloculantes para o tratamento de água potável e efluentes e seu potencial para recuperação de lodo. **Revista Internacional de Pesquisa Ambiental e Saúde Pública**, v. 17, n. 24, p. 9312, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17249312>

LANREWAJU, A. A.; ENITANFOLAMI, A. M.; SABIU, S.; SWALAHA, F. M. W.; Disinfection techniques: a review. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 11, n. 6, p. 897-909, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2166/washdev.2021.150>

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3ªed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

MARQUEZI, M. C.; GALLO C, R.; DIAS, C. T dos S.; Comparação entre métodos para a análise de coliformes totais e E. coli em amostras de água. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 3, p. 291-6, 2010. Disponível em: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/ses-sp/2010/ses-18514/ses-18514-2011.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2025.

MEZA-LEONES, M.; GARCÍA, A.; HURTADO, L.; PÉREZ, A. Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Atlántico. **Revista UIS Ingenierías**, v. 17, n. 2, p. 95-103, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>

MS. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano.** Brasília, 2016. Disponível em: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia\\_controle\\_qualidade\\_agua.pdf](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf) Acesso em: 16 out. 2024.

NARGES, S.; GHORBAN, A.; HASSAN, K.; RAZEGHI, R.; FARID, H.; HOSSEIN, A.; HOSSEIN, A. Predição da dosagem ótima de coagulantes em estações de tratamento de água por meio do desenvolvimento de modelos baseados em sistema de inferência fuzzy de rede neural artificial (ANFIS). **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v. 19, p. 1543-1553, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00710-0>.

NÓBREGA, M. T.; BONIFÁCIO, C. M. Parâmetros de qualidade da água no monitoramento ambiental. *In: Recursos hídricos: Gestão, planejamento e técnicas em pesquisa*, v. 15, n. 20, p. 220-232, 2021. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.org/articles/210805810.pdf> Acesso: 23 out. 2024.

REIS, R. A.; SANCHES, M. C.; MALDONADO, A. C. D. Água, fonte da vida/**Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 28297-28296, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-512>

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo: **Edgard Blucher**, p.332, 2002.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais Efeitos da Presença de Alumínio na Água de Consumo Humano**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/6323>. Acesso em: 29 mar. 2025.

ROCHA, P. S. G. **Análise da influência da turbidez em resultados de amostras de água**. 2019. 87 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação “Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais) – Faculdade de Tecnologia, Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2020/11/Paulo-Sergio-Goncalves-Rocha-TCC-T2.pdf> Acesso em: 17 out. 2024.

SANTOS, V. I.N. dos. **Influência da presença de ferro na cor e turbidez e implicações na água de poço para abastecimento público**. 2020. 36 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Bacharelado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/55549>

SANTOS, A. L. A.; ROSA, T. S.; MICHELAN, D. C. de G. S. Eficiência do tratamento de água por meio dos coagulantes inorgânico sulfato de alumínio e orgânico *Abelmoschus esculentus* ou quiabo separadamente e associados. **Gaia Scientia**, v. 16, n. 3, p. 84-108, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2022v16n3.63769>

SANTOS, M. S.; SILVA, M. M.; CHELALA, C. M. S C. F.; VALVERDE, K. C.; BUFALINO, L. Alternativas sustentáveis para o tratamento de água com o uso de coagulantes naturais: uma revisão. *In: Tópicos Atuais de Ciências e Tecnologia das Águas*. Editora científica, p. 20-36. 2024. DOI: <https://www.doi.org/10.37885/240315946>

SANTOS, W, N de A.; ALVES, A. F de L.; SOUSA, D.W. G de.; SILVA, K. R de S.; OLIVEIRA, D de O. Avaliação do uso dos coagulantes sulfato de alumínio e tanino vegetal em parâmetros de tratamento de água para abastecimento humano. **Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 1, n. 14, p. 23-34, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.22411/rede2020.1401.02>

SANTOS, W. N de A.; ALVES, A. F de L.; SOUSA, D. W. G de.; SILVA, K. R. de S.; OLIVEIRA, D. de O. Uso do sulfato de alumínio e do tanino vegetal no tratamento de água. *In: Simpósio de produção científica e tecnológica (SIMPROD)*, p. 334-394, 2018. São Cristóvão/SE. Anais... X Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, 2018. Disponível em: <https://simprod.ufs.br/pagina/17196> Acesso em: 3 abr. 2025.

SENEIDA, R. M.; GARCIA, A. G.; REIS, A. G. Cinética da floculação: um estudo comparativo no uso do cloreto de polialumínio com alta e baixa basicidade e o sulfato de alumínio. **Sanitary and Environmental Engineering**. v. 26, n. 2, p. 283-290, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190297>

SILVA, A. B. S.; BRITO, J. M.; SILVA, R. A.; BRAZ, A. S.; FILHO, E. D. S. Parâmetros físicos-químicos da água utilizada para consumo em poços artesianos da cidade de Remígio- PB. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 2, p. 109-118, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i2.28807>

SILVA, A. L. O.; RAMOS, M. S.; LUIZ, M. R.; SOUZA, N. C.; NASCIMENTO, A. P. S.; SILVA, J. E. O. A.; RAMOS, E. F.; AMORIM, F. V.. Possíveis efeitos do alumínio presente na água tratada. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 1413-1420, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-098>

SILVA, M. S. R de S.; MIRANDA, S. A. F.; SANTANA, G. P.. Bacia hidrográfica do Rio Amazonas: condições de suas águas versus Resolução nº. 357/CONAMA/2005. **Scientia Amazonia**, v. 6, n. 3, p. 83-90, 2016. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/20616> Acesso em: 18 de setembro de 2024.

SILVA, B. M.R. da.; CAPOBIANGO, G. V.; BASTOS, R. K. X. Diagrama de coagulação e determinação do potencial zeta como ferramentas complementares para otimização da coagulação – estudo com água com turbidez elevada e coagulação com sulfato de alumínio. *In: 29º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2017, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ABES, 2017. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/otimizacao-coagulacao> Acesso em: 29 mar. 2025.

SILVA, F. N. **Sistemas de abastecimento e tratamento de água para técnicos**. Campinas, SP: UICLAP; 2021.

SOUZA, C. D. R. de; FERREIRA, I. B. P. Avaliação da eficiência de diferentes coagulantes utilizados em uma Estação de Tratamento de Águas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, 1-16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21127>

SOUZA, C. D. R. ; FERREIRA, I. B. P.; SILVA, O. C.; VERONOZE, G.M. Análise comparativa do cloreto férrico e sulfato de alumínio utilizado no processo de tratamento da água do Rio Solimões. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2, p. 13056-13070, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n2-305>

SOUZA-SILVA, G.; SOUZA, C. R.; PEREIRA, V. V.; AZEVEDO, F. C. R.; SOARES, I. V.; ALCANTARA, M. D.; LUZ, G. J.; SILVEIRA, M. R. Contaminação por compostos nitrogenados e coliformes em águas subterrâneas da região metropolitana de Belo Horizonte, Brasil. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 11, n. 3, p. 106-124, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10429658>

TAHRAOUI, H.; TOUMI, S.; BOUDOUKHANI, M.; TOUZOUT, N.; SID, A. N. El.; AMRANE, A.; BELHADJ, Abd-E.; HADJADJ, M.; LAICHI, Y.; ABOUMUSTAPHA, M.; KEBIR, M.; BOUGUETTOUCHA, A.; CHEBLI, D.; ASSADI, A. A.; ZHANG, J.

Evaluating the effectiveness of coagulation–flocculation treatment using aluminum sulfate on a polluted surface water source: a year-long study. **Water**, v. 16, n. 3, p. 400, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16030400>

VALVERDE, K. C.; COLDEBELLA, P. F.; SILVA, M. F.; NISHI, L. BONGIOVANNI, M.; BERGAMASCO, R. Moringa oleifera Lam and its potential association with aluminium sulphate in the process of coagulation/flocculation and sedimentation of surface water. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 2018, n. 1, p. 1-6. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/4342938>

VALONES, G.; BARBOSA, I. M. B. R.; VALONES, A., TAVARES, R. G., & DE ARRUDA, V. C. M. Remoção de ferro em sistemas e subsistemas de distribuição de água potável em um estado do Nordeste, Brasil. **Revista Geama**, v.4, n.4, p.14-19, 2018. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/2250> Acesso em: 10 mar. 2025.

VASCONCELOS, M. A.; DE OLIVEIRA, I. B.;Especiação química do sulfato em águas subterrâneas do domínio hidrogeológico sedimentar do estado da Bahia - Brasil, utilizando o método Tableau. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p. 256-266, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v32i2.29119>

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 2005.