



**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO GEL EXTRAÍDO DA SEMENTE DE CHIA (*Salvia hispanica*) COMO COAGULANTE NATURAL NA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA EM COMUNIDADE DO SEMIÁRIDO BAIANO**

**ROGÉRIO RIBEIRO DOS SANTOS**

**Vitória da Conquista - BA  
2024**



**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO GEL EXTRAÍDO DA SEMENTE DE CHIA (*Salvia hispanica*) COMO COAGULANTE NATURAL NA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA EM COMUNIDADE DO SEMIÁRIDO BAIANO**

**ROGÉRIO RIBEIRO DOS SANTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Vitória da Conquista como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Msc. Aline J. Almeida Magalhães

Co-Orientadora: Dra. Roseane Mendonça Figueiredo

**Vitória da Conquista - BA**

**2024**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS  
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

R723a Santos, Rogério Ribeiro

Análise da eficiência do gel extraído da chia (Salvia hispânica) como coagulante natural na clarificação de água em comunidade rural do semiárido baiano: / Rogério Ribeiro Santos; orientadora Aline Jesus Almeida Magalhães; coorientadora Roseane Mendonça de Figueiredo -- Vitória da Conquista : IFBA, 2024.

67 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) -- Instituto Federal da Bahia, 2024.

1. Tratamento de Água. 2. Coagulação. 3. Gel de Chia. I. Jesus Almeida Magalhães, Aline, orient. II. Mendonça de Figueiredo, Roseane, coorient. III. TÍTULO.



## ROGÉRIO RIBEIRO DOS SANTOS

### ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO GEL EXTRAÍDO DA SEMENTE DE CHIA (*Salvia hispanica*) COMO COAGULANTE NATURAL NA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA EM COMUNIDADE DO SEMIÁRIDO BAIANO

A presente Monografia, apresentada em sessão pública realizada em dois de outubro de 2024, foi avaliada como adequada para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental, julgada e aprovada em sua forma final pela Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Vitória da Conquista.

Data da Aprovação: 02 de outubro de 2024

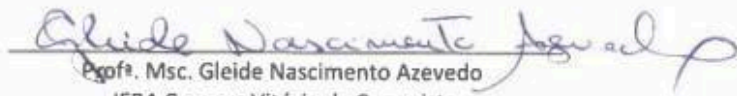
#### BANCA EXAMINADORA



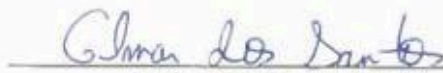
Profª. Msc. Aline Almeida de J. Magalhães  
Orientadora – IFBA Campus Vitória da Conquista



Profª Drª Roseane Mendonça de Figueiredo  
UESB Campus Vitória da Conquista



Profª. Msc. Gleide Nascimento Azevedo  
IFBA Campus Vitória da Conquista



Prof. Msc. Gilmar dos Santos  
IFBA Campus Vitória da Conquista

Vitória da Conquista, 02 de outubro de 2024

## AGRADECIMENTOS

O momento tão esperado chegou, agradeço a Deus por ter me dado força desde do primeiro dia da minha graduação no dia 27 de agosto de 2019 até hoje, dia 02 de outubro de 2024, nunca me desamparou e nenhum dia me deixou sozinho.

Ao meus amados pais, Jailson e Maria, meu irmão Gilmar, que nunca mediram esforços para eu que pudesse chegar até aqui, muitas vezes sem esperança, pessimista e meu pai sempre com uma palavra de incentivo para me oferecer, minha tão querida mãe, quanto sofremos mainha todos as vezes que eu saía de madrugada para vir para Vitória da Conquista, te deixar chorando me cortava o coração.

A comunidade Bastião, que com as orações foram essenciais para me fortalecer, tenho certeza que as Ave Marias que Terezinha, Titia e Ana rezavam por mim fizeram toda a diferença e me fizeram chegar até aqui.

Aos meus queridos amigos Cleiton, Joelma, Keliane e Letícia que Deus me presenteou durante esses 5 anos de graduação. Esses anos ao lado de vocês foram especiais, os nossos sábados ficaram marcados para sempre na minha memória.

Agradeço a Larissa e Fabricia por terem me ajudado na execução da parte experimental deste trabalho, o 7 de setembro de 2024 ficará para história.

Agradeço aos meus amigos Euvaldo, Anderson e Elai pela ajuda com esse trabalho.

Aos meus professores muito obrigado por tudo, principalmente a minha orientadora Aline, a minha co-orientadora Roseane pela orientação, pelo esforço, paciência e pelo todo carinho. Também ao professor Gilmar e à professora Gleide por aceitarem participar da minha banca.

A todos que fizeram parte dessa caminhada que hoje chega ao fim, muito obrigado, que Deus os abençoe.

## RESUMO

Um grande volume de pessoas no Brasil e no mundo sofrem problemas associados à insegurança hídrica e a ausência de saneamento básico. O nordeste do Brasil é onde é mais escancarada essa realidade, já que o polígono da seca que engloba boa parte da região sofre com as irregularidades das chuvas. Diante desse cenário, a qualidade das águas para o consumo humano fica em segundo plano, uma vez que, garantir água potável, principalmente para as áreas rurais, infelizmente não é prioridade. No contexto da logística do tratamento convencional de água, uma das etapas mais relevantes é a coagulação, nesse mesmo íterim os coagulantes mais amplamente utilizados são o sulfato férrico e o sulfato de alumínio, o último com questionamento quanto o residual nas águas tratadas e sua consequência na saúde humana. Diante disso pensa-se nos coagulantes orgânicos como alternativas, já que não oferecem risco à saúde humana e possuem um baixo custo. O presente trabalho objetivou analisar a eficiência do uso do gel extraído da semente da chia (*Salvia hispanica*) como coagulante natural na clarificação da água de um açude, situado na zona rural do semiárido baiano, no município de Malhadas de Pedras-BA. Para isso coletou-se amostras de águas em um açude na comunidade rural de lagoa do Mucambo, realizou a caracterização das amostras, após isso extraiu a solução gelatinosa da chia (*Salvia hispanica*), para 3 (três) concentrações de chia, 2 g/L, 6 g/L e 10 g/L em uma proporção de 1:40 peso/volume e comparou-se a eficiência de remoção de turbidez após a aplicação do sulfato de alumínio e do gel. Os parâmetros analisados foram turbidez, pH, condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos. Os experimentos revelaram que as soluções gelatinosas de chia apresentaram elevadas eficiências de remoção de turbidez da água do açude, tendo a solução com concentração de 2,0 g/L apresentado percentual de remoção de 99,4%, atendendo o valor máximo permitido ( $< 5$  uT) pela Portaria N. 888/2021 do Ministério da Saúde. As soluções de gel de chia de 6 g/L e 10 g/L apresentaram percentual de redução de turbidez acima de 98%. Ao passo que entre os ensaios utilizando sulfato de alumínio a dosagem de 2,82 mL apresentaram maiores percentuais de remoção com cerca de 99,89%, enquanto que a dosagem de 5,52 mL apresentou a menor redução com 99,74 %. Para o pH foi percebido um pequeno aumento, tornando-o mais básico, porém os valores máximo encontrados foram 8,04 para o sulfato de alumínio para uma dosagem de 4,23 mL e 7,93 para 10 g/L de solução de gel da chia. Para os sólidos totais dissolvidos ocorreram reduções significativas, apresentando em todos os ensaios valores inferiores a 125 mg/L, atendendo o valor máximo permitido ( $< 500$  mg/L) pela legislação de potabilidade. Dessa forma, os resultados indicam que a solução de gel de semente da chia é eficiente como coagulante orgânico para tratamento de água, possibilitando o seu uso futuro na potabilização da água, sobretudo de comunidades no semiárido, por meio do seu aperfeiçoamento e da análise de sua viabilidade econômica e logística.

**Palavras-chaves:** Qualidade da água; saneamento básico; saneamento rural.

## ABSTRACT

A large number of people in Brazil and around the world suffer from problems associated with water insecurity and the lack of basic sanitation. The northeast of Brazil is where this reality is most evident, since the drought polygon that encompasses a large part of the region suffers from irregular rainfall. Given this scenario, the quality of water for human consumption takes a back seat, since ensuring drinking water, especially for rural areas, is unfortunately not a priority. In the context of conventional water treatment logistics, one of the most important steps is coagulation. In the meantime, the most widely used coagulants are ferric sulfate and aluminum sulfate. The latter has raised questions regarding the residuals in treated water and its consequences for human health. In view of this, organic coagulants are considered as alternatives, since they do not pose a risk to human health and are low cost. This study aimed to analyze the efficiency of using the gel extracted from chia seeds (*Salvia hispanica*) as a natural coagulant in water clarification in a reservoir located in the rural area of the semi-arid region of Bahia, in the municipality of Malhadas de Pedras-BA. For this purpose, water samples were collected from a reservoir in the rural community of Lagoa do Mucambo, the samples were characterized, and then the gelatinous solution of chia (*Salvia hispanica*) was extracted for 3 (three) concentrations of chia, 2 g/L, 6 g/L and 10 g/L in a ratio of 1:40 weight/volume and the efficiency of turbidity removal after the application of aluminum sulfate and the gel was compared. The parameters analyzed were turbidity, pH, electrical conductivity and total dissolved solids. The experiments revealed that the chia gelatin solutions presented high efficiencies in removing turbidity from the reservoir water, with the solution with a concentration of 2.0 g/L presenting a removal percentage of 99.4%, meeting the maximum value allowed (<5 uT) by Ordinance No. 888/2021 of the Ministry of Health. The 6 g/L and 10 g/L chia gel solutions presented a turbidity reduction percentage above 98%. Meanwhile, among the tests using aluminum sulfate, the dosage of 2.82 mL presented the highest removal percentages with approximately 99.89%, while the dosage of 5.52 mL presented the lowest reduction with 99.74%. A small increase was observed for the pH, making it more basic, but the maximum values found were 8.04 for aluminum sulfate at a dosage of 4.23 mL and 7.93 for 10 g/L of chia gel solution. Significant reductions occurred for total dissolved solids, with values below 125 mg/L in all tests, meeting the maximum value permitted (<500 mg/L) by potability legislation. Thus, the results indicate that the chia seed gel solution is efficient as an organic coagulant for water treatment, enabling its future use in water purification, especially in communities in the semiarid region, through its improvement and analysis of its economic and logistical viability.

**Keywords:** Water quality; basic sanitation; rural sanitation.

## CHUVA DE HONESTIDADE

Quando o ronco feroz do carro pipa  
Cobre a força do aboio do vaqueiro  
Quando o gado berrando no terreiro  
Se despede da vida do peão  
Quando verde eu procuro pelo chão  
Não encontro mais nem mandacaru  
Dá tristeza ter que viver no Sul  
Pra morrer de saudades do sertão

Eu pensei que tivesse resolvida  
Essa forma de vida tão medonha  
Mas ainda me matam de vergonha  
Os currais, coroneis e suas cercas  
Eu pensei nunca mais sofrer da seca  
No Nordeste do século vinte e um  
Onde até o voo troncho de um anum  
Fez progressos e teve evolução

Eu sei que a chuva é pouca e que o chão é  
quente  
Mas tem mão boba enganando a gente  
Secando o verde da irrigação  
Não, eu não quero enchentes de caridade  
Só quero chuva de honestidade  
Molhando as terras do meu sertão

**Letra da música:** chuva de honestidade

**Autor:** Flavio Leandro

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Configuração esquemática da dupla camada elétrica.....	17
Figura 2 – Representação do mecanismo de adsorção-neutralização de carga e por varredura..	18
Figura 3 - Flocculadores hidráulicos do tipo chicanas os mais comuns.....	19
Figura 4 - Representação de um decantador de fluxo horizontal.....	20
Figura 5 - Representação de decantadores do tipo tubular ou vertical.....	21
Figura 6 - Representação esquemática de um filtro rápido.....	22
Figura 7 - Localização do Açude da Lagoa do Mucambo.....	32
Figura 8 - Amostragem da Água do Açude, (A) Açude no período das chuvas; (B) Açude no período de estiagem; (C) Coleta das amostras; (D) Amostras no laboratório.....	33
Figura 9 - Soluções de 10g/L, 6g/L e 2 g/L sendo agitadas.....	36
Figura 10 - Separação das fase Sólida/líquida das sementes do gel com o uso de peneira.....	36
Figura 11 - Volumes das soluções de gel da semente de Chia com concentrações de 2, 6 e 10 g/L da esquerda para a direita, respectivamente.....	37
Figura 12 - Gráficos comparativos entre os coagulantes A) remoção de turbidez, B) alteração do pH após tratamento, C) alteração no Sólidos Totais Dissolvidos após o tratamento, D) alteração da condutividade elétrica após o tratamento.....	52
Figura 13 - Diferença dos tamanhos dos Flocos formados pelo coagulante sintético (Sulfato de Alumínio) e pelo coagulante orgânico (Gel da Chia ).....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Metodologias utilizadas para análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.....	31
Tabela 2 - Metodologia utilizada para realização das análises dos parâmetros dos Sedimentos e do solo do entorno do Açude.....	33
Tabela 3 - Dosagem de Sulfato de Alumínio (mg/L).....	35
Tabela 4 - Análise da conformidade dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos com os padrões da legislação (Resolução CONAMA 357/2005, Portaria MS N. 888/2021 e Diretiva Europeia). Parâmetros em negrito estão fora de conformidade.....	38
Tabela 5 - Análise de Sedimento e do Solo ao entorno do Açude.....	41
Tabela 6 - Volumes de solução gelatinosa de chia para cada concentração utilizada nos ensaios	45
Tabela 7 - Remoção de turbidez (%) em cada ensaio, calculada a partir da equação 4, água bruta com turbidez igual a 114 UNT.....	46
Tabela 8- pH da água decantada em cada ensaio, água bruta com pH igual a 7,16.....	46
Tabela 9 - Condutividade elétrica da água decantada em cada ensaio, água bruta com condutividade igual a 249 $\mu$ S/cm.....	46
Tabela 10 - Sólidos totais dissolvidos da água decantada em cada ensaio, água bruta com STD igual a 124 mg/L.....	47
Tabela 11 - Resultado da análise de variância para turbidez (NTU), potencial hidrogeniônico (pH), condutibilidade elétrica ( $\mu$ S/cm), Sólidos Totais Dissolvidos - STD, (mg/L) 2024.....	49

## LISTA DE SIGLAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

CF - CONSTITUIÇÃO FEDERAL

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE

DAEC - *E. COLI* ADERENTE DIFUSA

EPEC - *E. COLI* ENTEROPATOGÊNICA

ETEC - *E. COLI* ENTEROTOXIGÊNICA

EIEC - *E. COLI* ENTEROINVASORA

EHEC - *E. COLI* ENTEROHEMORRÁGICA

ETA - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS

UNT - UNIDADE NEFELOMÉTRICA DE TURBIDEZ

UN - UNIDADE DE TURBIDEZ

SINGREH - SISTEMA NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

ODS - OBJETIVO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

PNRH - POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

PAC - POLICLORETO DE ALUMÍNIO

VMP - VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS

STEC - *E. COLI* PRODUTORA DA TOXINA DE SHIGA

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Geral.....	13
2.2 Específicos.....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1 Recursos hídricos no Brasil.....	14
3.2 Legislação referente a garantia de água para consumo humano.....	15
3.3 Tratamento de água.....	16
3.3.1 Coagulação.....	16
3.3.2 Floculação.....	18
3.3.3 Decantadores.....	19
3.3.4 Filtração.....	21
3.3.5 Desinfecção.....	22
3.4 Parâmetros Importantes no Tratamento de Água.....	23
3.5 Coagulantes Inorgânicos.....	26
3.6 Coagulantes Naturais.....	27
3.6.1 Taninos.....	27
3.6.2 Moringa (Moringa oleifera).....	28
3.6.3 Mucilagem de Quiabo.....	29
3.6.4 Palma Forrageira (Opuntia ficus).....	30
3.6.5 Chia (Salvia Hispanica).....	30
4. METODOLOGIA.....	32
4.1 Área de Estudo.....	32
4.2 Amostragem.....	32
4.3 Realização das Análises Microbiológicas e Físico-químicas.....	33
4.4 Realização das Análises de de sedimentos e do solo do entorno do açude.....	34
4.5 Preparação da Solução da Chia.....	35
4.6 Ensaios.....	37
4.7 Tratamento dos dados.....	40
4.7.1 Delineamento experimental.....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1 Análise da Qualidade da Água Bruta.....	41
5.2 Avaliação da Eficiência da Solução Gelatinosa de Chia e do Sulfato de Alumínio como coagulantes na clarificação da Água.....	44
6. CONCLUSÃO.....	55
7. REFERÊNCIAS.....	57

## 1. INTRODUÇÃO

No mundo 663 milhões de pessoas ainda não possuem acesso à água potável, enquanto que aproximadamente 2,4 bilhões de pessoas não têm acesso ao esgotamento sanitário adequado (UNICEF, 2020). Ainda mais alarmante é o dado relativo à saúde, mais de 6 mil crianças morrem diariamente em decorrência de doenças transmitidas pela água contaminada, na maior parte dos casos em virtude de complicações relacionadas à diarreia e à cólera (UNICEF, 2020).

No Brasil, dados divulgados pela Organização das Nações Unidas (ONU) estimam que 15 mil brasileiros morrem e 350 mil são internados por ano em decorrência a doenças relacionadas à precariedade dos serviços de saneamento básico (ONU, 2021). Nesse mesmo contexto, um número expressivo da população brasileira não possui o direito aos serviços de saneamento básico assegurados por meio de políticas públicas. De acordo com dados consolidados pelo Instituto Trata Brasil adquiridos do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) aproximadamente 33 milhões de brasileiros ainda não têm acesso à rede de abastecimento de água e 100 milhões não têm acesso à coleta dos esgotos.

Os dados de saneamento são ainda mais preocupantes na zona rural, especialmente em áreas com baixo adensamento populacional e elevada concentração de pobreza (BRASIL, 2020). De acordo com Brasil (2020) quase 60% da população rural sofre com déficit ou falta de atendimento em relação ao abastecimento de água e quase 80% carecem de soluções adequadas de esgotamento sanitário. Assim, tem-se mais de 20 milhões da população rural que precisam recorrer a fontes de água, como barreiros, cisternas, açudes, poços ou água comercializada por caminhões pipa, na maior parte das vezes inadequados para consumo humano, aumentando o risco de contaminação por doenças transmitidas pela água, como parasitoses intestinais e diarreias (BRASIL, 2015; MENDONÇA *et al.*, 2017; COELHO *et al.*, 2017; BRITO, 2019; SOUZA e SOUSA, 2020). Esse é um problema vivido em municípios do semiárido e em comunidades rurais da região nordeste

Aliado ao déficit do saneamento básico, a poluição das águas é um dos mais severos problemas ambientais enfrentados nos mananciais brasileiros e de todo mundo nas últimas décadas devido ao uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas de forma desordenada, não respeitando aos parâmetros ambientais definidos nos diversos instrumentos legais (MAGALHÃES, 2018).

Os contaminantes presentes nas águas, além de causar danos a saúde humana e ambiental, também pode gerar dificuldades no tratamento de água para abastecimento

público, uma vez que as Estações de Tratamento de Água (ETA's) do tipo convencional não foram projetadas e construídas para tratar águas com elevada densidade de cianobactérias, matéria-orgânica coloidal, nutrientes, além de compostos dissolvidos como pesticidas, elementos-traço, fármacos, disruptores endócrinos, cianotoxinas e subprodutos do metabolismo de cianobactérias (MAGALHÃES, 2018). Isso leva as ETA's a enfrentar um grande desafio para adequar essa água bruta aos padrões de potabilidade definidos em leis, protegendo assim a saúde pública.

Sob essa nova perspectiva, os sistemas convencionais de tratamento de água vêm demonstrando necessidade de se adequar a uma nova visão multi-objetivo (MELO *et al.*, 2017), o que reflete diretamente em maior consumo de produtos químicos, aplicação de agentes oxidantes para remover matéria-orgânica, uso de carvão ativado para adsorção dos compostos dissolvidos, o que, por sua vez, implica no aumento dos custos de tratamento para garantir que a água esteja segura para consumo humano.

Os coagulantes inorgânicos a base de alumínio e ferro são amplamente utilizados no tratamento de água. No entanto, as águas provenientes das lavagens dos filtros e decantadores apresentam elevada carga metálica, contribuindo para o passivo ambiental (BONTON *et al.*, 2012). Outra preocupação é o residual destes coagulantes na água tratada, em especial o alumínio (ABREU e JÚNIOR, 2018). Vários estudos apontam que a exposição prolongada ao alumínio pode estar associada a doenças neurodegenerativas como Parkinson e Doença de Alzheimer, além de encefalopatias, demência e distúrbios neurológicos (ROSALINO, 2011).

Além disso, os resíduos gerados no tratamento são também ricos em hidróxidos metálicos não biodegradáveis (ABREU E JÚNIOR, 2018), apresentando potencial ecotoxicológico, concentrando diversos componentes orgânicos e inorgânicos, e necessitando assim de tratamento e disposição ambiental correto (OLADOJA *et al.*, 2017).

Diante disso, esforços consideráveis têm sido direcionados para o desenvolvimento de coagulantes naturais, baseados em matérias-primas naturais biodegradáveis abundantes na natureza, que apresentem baixa corrosividade sobre o sistema de distribuição, redução do volume de lodo gerado no processo e dos custos no tratamento da água, além de não apresentar riscos à saúde humana e animal (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Neste contexto, o desenvolvimento de novos coagulantes naturais têm ganhado cada vez mais espaço em todo o mundo, principalmente em países com dificuldades estruturais de assegurar o acesso universal à água potável. Desse modo, faz-se importante o desenvolvimento de novos coagulantes naturais com o objetivo de tornar a sua aplicação acessível, principalmente para pequenas comunidades rurais do semiárido baiano que em sua

grande maioria não tem o acesso à água potável assegurado por meio de políticas públicas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Analisar a eficiência do uso do gel extraído da semente da chia (*Salvia hispanica*) como coagulante natural alternativo na clarificação da água coletada em um açude situado na zona rural do semiárido baiano, no município de Malhadas de Pedras.

### **2.2 Específicos**

1. Caracterizar a qualidade da água do açude considerando os parâmetros físico-químicos e microbiológicos.
2. Preparar a solução gelatinosa da semente da chia a ser testada como coagulante orgânico.
3. Avaliar a eficiência da solução gelatinosa extraída da semente de chia em comparação com o sulfato de alumínio na clarificação da água do açude.

## **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.1 Recursos hídricos no Brasil**

O Brasil conta com cerca de 12% dos 0,007% do total da água doce disponível no planeta destinada ao abastecimento humano, agricultura e indústria (ANA, 2002). Nesse

sentido aproximadamente 60% dos recursos hídricos brasileiros estão na região Norte, onde se situa a bacia amazônica e vivem 7% da população; a região Sudeste por outro lado que possui o maior contingente populacional (42,63% do total brasileiro), dispõe de 6% dos recursos hídricos, e a região Nordeste, que conta com cerca de 28,91% da população dispõe de 3,3%. Dessa forma, embora o Brasil possua vasta oferta de água em proporções globais, existe uma distribuição irregular dos recursos hídricos. Destaca-se a grande disponibilidade hídrica na Amazônia, e a escassez de água na região Nordeste do Brasil. Dados da ANA elucidam que a precipitação média do Brasil é de 1765 mm/ano variando de 3000 mm/ano na região amazônica a 500mm/ano no nordeste brasileiro (TUNDISI, 2014).

No Brasil ocorre que com o êxodo rural intensificado a partir da década 80, foram surgindo os grandes centros urbanos com elevada densidade populacional, desse fenômeno populacional cultural e econômico emerge também uma alta demanda por recursos hídricos. Essa mudança abrupta acarretou impactos progressivos nos mananciais, atingidos pela poluição, dessa forma tornando a potabilização da água para o consumo humano um desafio. (ANA, 2021)

Frente a esse desafio de garantir água de qualidade para as pessoas a Organização das Nações Unidas (ONU) pensou para o período de 2018 a 2028 – na ação “Água para o desenvolvimento sustentável”, voltando os esforços na construção de um ambiente político para se chegar às metas do ODS 6 (Objetivos de desenvolvimento sustentável) que relaciona a água. Essa ação global evidencia a urgência de criar-se novas tecnologias direcionadas ao tratamento da água, tendo em vista que a dificuldade de universalizar os serviços básicos relacionados à água, além do risco da falta de planejamento para períodos de escassez como a enfrentada em boa parte do polígono da seca (ONU, 2021).

### **3.2 Legislação referente a garantia de água para consumo humano**

De acordo com Irigaray e Pes (2021), a água potável constitui-se como um fator indispensável para a vida, que deve primar como um direito humano fundamental social para assegurar a dignidade das pessoas, ultrapassando a lógica do mercado do capital, em salvaguardar o básico para se existir. Destarte emerge a necessidade de uma nova visão ao direito de acesso à água de qualidade e potável no Brasil, além de uma transformação de paradigma, no qual a água se associa com a vida em um contexto sociocultural.

Em consonância com as principais legislações voltadas a problemática da gestão dos recursos hídricos no Brasil, Fiorillo (2018), disserta que na Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) instituída na lei n. 9433, de janeiro de 1997, no seu primeiro artigo é disposto que a água é do ponto de vista do direito um bem comum de domínio público, que possui valor econômico, nessa perspectiva ainda é considerado um bem natural além de ser limitada, em que sua gestão deve observar seu uso diverso e, em caso de escassez, assegurar o consumo humano e a dessedentação de animais.

A legislação de maior hierarquia no ordenamento jurídico brasileiro, Constituição federal de 1988, descreve que todas as águas são públicas, visto que enquanto recursos naturais são bens públicos de uso comum do povo, sem exclusão das águas subterrâneas, excluído a tese até então imperante de águas comuns ou particulares. Dessa maneira, os antigos proprietários de poços, lagos ou qualquer outro tipo corpo de água passaram a ser apenas detentores dos direitos de uso dos recursos hídricos, se porventura adquirirem outorga prevista em lei. A Constituição Federal ainda dividiu a gestão dos recursos hídricos e domínio das águas entre a União, os Estados e o Distrito Federal, resguardando a prerrogativa de legislar sob a tutela exclusiva da União. A CF 1988 dispôs no artigo 21, XIX a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SINGREH. Em meados dos anos de 1991 o SINGREH sofre o processo de regulamentação com o despacho ao Congresso Nacional no formato de projeto de lei dispendo sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH (ANA, 2021).

Ainda no que tange o âmbito normativo a resolução CONAMA 20/1986, revogada pela 357 de 17 de março de 2005; esta última disserta acerca da classificação das águas de acordo com seu e padrões de qualidade. A Resolução CONAMA 357/2005 classifica as águas em: doces, salobras e salinas em todo território nacional, delimitando os padrões de qualidade da água de cada uma das classes, de acordo com os seus usos preponderantes. O enquadramento dos corpos de água nessas classes é feito nos níveis de qualidade que deveriam ter para garantir os usos a que se pretende destiná-los, o que exige um controle de metas visando a atingir, de modo gradual, os objetivos do enquadramento. Os usos definidos nessa Resolução não abrangem todos os usos possíveis das águas, mas apenas os específicos, que exigem água de determinada qualidade (BRASIL, Resolução 357/05 CONAMA). Nesse contexto, no que concerne à qualidade da água voltada especificamente para o consumo humano, a legislação norteadora é a portaria N. 888 de 2021 do Ministério da Saúde, no documento estão estabelecidos padrões físico-químicos e microbiológicos os quais a água

potável deve atender. Por muito tempo, a Resolução 20/1986 foi o instrumento legal utilizado para nortear a dinâmica de utilização das águas, até a promulgação da Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos.

### **3.3 Tratamento de água**

Nesse contexto, a qualidade da água comumente segue um conjunto de parâmetros que podem ser químicos, físicos e biológicos. As análises de caráter físico-químicos da água são precisas no sentido de indicar algumas características da amostra de água, dessa maneira torna-se importante para se avaliar sua qualidade e sua potabilidade (Cruz *et al.*, 2007).

O processo convencional para o tratamento de água envolve basicamente as operações de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (Ferreira Filho e Seckler, 2017). Dentre as operações citadas, a coagulação é a etapa mais importante sendo o processo no qual um agente químico é adicionado com intuito de diminuir as forças que mantêm separadas as superfícies em suspensão, desestabilizando as partículas coloidais e finamente divididas. Esta desestabilização, devido á ação do coagulante, promove a aglomeração das partículas para facilitar a remoção por meio da sedimentação (Cardoso, 2003).

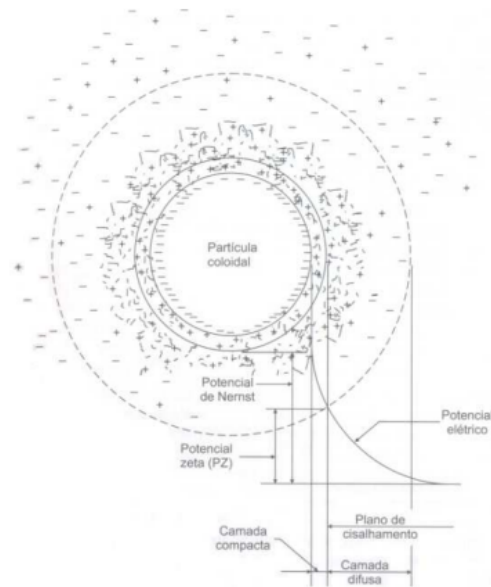
#### **3.3.1 Coagulação**

Esse processo inicial acontece na unidade de mistura rápida, que de acordo com a definição da NBR 12216/1992, “Operação destinada a dispersar produtos químicos na água a ser tratada, em particular no processo de coagulação”. Nessas unidades tem-se o uso de dispositivos hidráulicos como vertedores retangulares e calhas Parshall, que empregam a energia dissipada em forma de perda de carga no fluxo da água, ou aparatos mecânicos tais como os agitadores mecânicos do tipo turbina, para promover a rápida e homogênea dispersão do agente coagulante na água. Haja visto que as reações produzidas pela neutralização de cargas e desestabilização dos colóides dispersos na água aconteçam de forma instantânea (Richter, 2009). De acordo com Duan e Gregory, (2001) os coagulante mais amplamente utilizados são os sais metálicos hidrolisados, notoriamente os sulfatos de alumínio e ferro.

No processo coagulação é possível definir quatro mecanismos que atuam em faixas específicas de pH na solução, posterior a inserção de cátions positivas como ferro e alumínio definidas por Libânio, 2008.

- **Compressão da camada difusa:** os íons a passam de uma camada compacta, diminuindo a força do potencial e a espessura da dupla camada figura 1 , permitindo a aproximação das partículas.

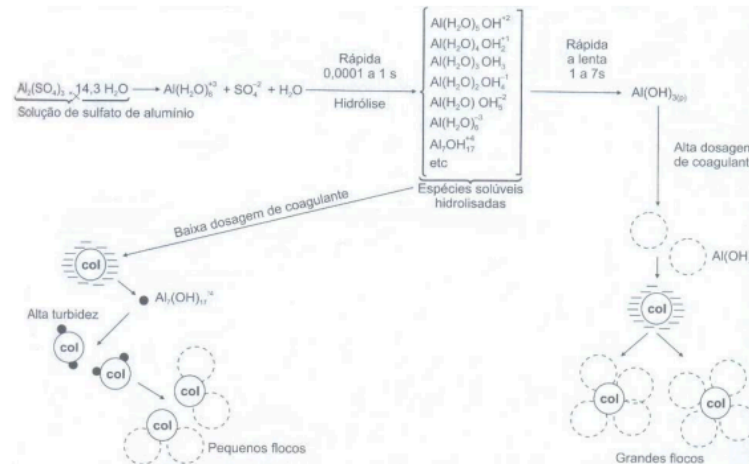
**Figura 1** – Configuração esquemática da dupla camada elétrica



**Fonte:** Di Bernardo, (2005).

- **Adsorção-desestabilização:** Acontece após a mistura dispersão do coagulante na água formando espécies hidrolisadas de carga positiva que podem ser adsorvidas na superfície das partículas.
- **Varredura:** é o mecanismo mais comumente visto nas estações de tratamento de água (ETAS). Esse tipo de mecanismo acontece à medida que se aumenta a dosagem do coagulante, graças as dosagens de coagulantes e pH as partículas coloidais são adsorvidas e as suspensas englobadas pelo precipitado de hidróxido de alumínio ou ferro.

**Figura 2** – Representação do mecanismo de adsorção-neutralização de carga e por varredura



Fonte: Di Bernardo, (2005).

**Formação de pontes químicas:** Nesse mecanismo o objetivo é diminuir dosagens de coagulante e elevar a densidade dos flocos. Para tal propósito são usados polímeros orgânicos naturais ou sintéticos, os auxiliares de floculação, com o uso dos polímeros, a coagulação acontece por meio da formação de pontes químicas.

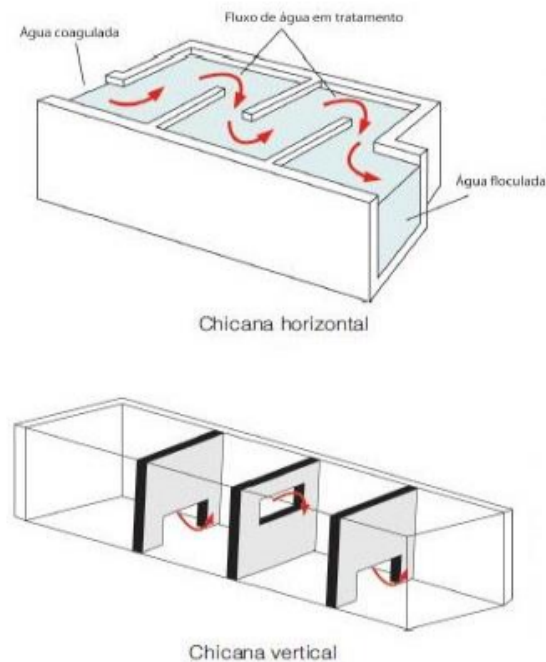
### 3.3.2 Floculação

Afloculação é processo de aglutinar as partículas coaguladas ou desestabilizadas na etapa de coagulação, que tem por objetivo estruturar flocos, isso tudo relaciona-se com o processo seguinte. No processo convencional a próxima etapa é conhecida como decantação, é aconselhado que no processo de floculação sejam criados flocos de tamanho maior e de maior peso, para que dessa forma ocorra uma maior velocidade de sedimentação do material na decantação ou que ainda que possam ter tamanho suficiente para ser confinado na etapa de filtração. Se porventura a etapa de separação posterior seja pelo processo de flotação, a floculação deve conferir flocos que tenham densidades reduzidas, para que aconteça a flutuação até a superfície da água.

Richter (2009) descreve que energia aplicada para que a água entre movimentação no tanque de floculação, pode ser, comportando se como uma mistura rápida, por meio de dispositivos hidráulicos, mecânicos e/ou pneumáticos, a distinção acontece pela intensidade, na mistura rápida é maior quando comparado com a floculação. Em acréscimo Richter (2009), escreve que os floculadores hidráulicos mais comuns são os que possuem chicanas (Figura 3), obstáculos ao fluxo da água, existindo a possibilidade de o fluxo ser na direção horizontal, a

água muda o sentido várias vezes sucessivamente entre as chicanas do tanque, ou vertical, na qual água percorre uma trajetória de variância ora subindo ora descendo entre as aberturas intercaladas nas chicanas do tanque.

**Figura 3** - Floculadores hidráulicos do tipo chicanas os mais comuns

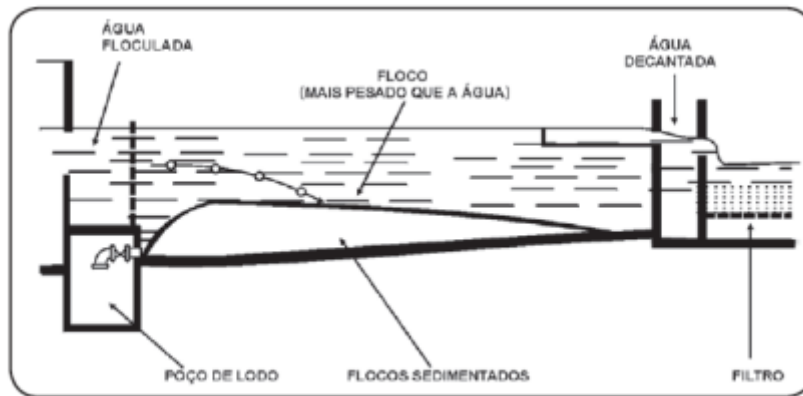


**Fonte:** REVISTA TAE (2013).

### 3.3.3 Decantação

A decantação utiliza-se do processo de sedimentação para realizar parte da clarificação da água, é o processo mais comumente utilizado em estações de tratamento. Para tal, são utilizados basicamente dois tipos de decantadores, o de fluxo horizontal (figura 4) e o tubular ou de alta taxa (Richter, 2009). Conforme com Richter (2009), os decantadores de fluxo horizontal (Figura 2), foram criados em meados do século XIX, tornando-se assim os primeiros a serem desenvolvidos. Esses decantadores são conhecidos por terem uma eficiência considerável, além de ter sua operação relativamente simplificada, esse modelo ainda conta com uma sensibilidade reduzida em relação a sobrecarga. Entretanto a velocidade do escoamento desses decantadores é restrita a um valor específico para que dessa forma seja evitado a ressuspensão dos flocos e o arraste dos flocos depositados, essa limitação é associada por uma profundidade mínima, que em decantadores convencionais esse valor pode se encontrar de 3,5 e 4,5 metros.

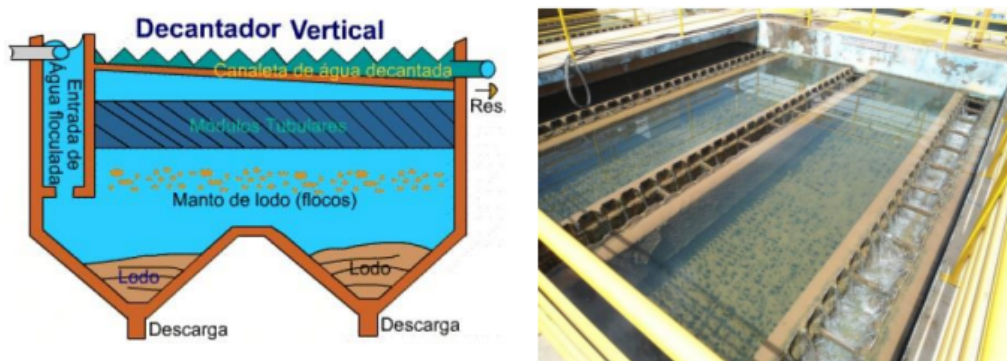
**Figura 4** - Representação de um decantador de fluxo horizontal



**Fonte:** FUNASA, (2007).

Os decantadores tubulares ou de alta taxa ( Figura 5) foram desenvolvidos por Allen Hazen (1904), a partir de pesquisas com decantadores de fundo múltiplo. Desse modo, foram sendo desenvolvidos módulos de elementos tubulares com canais inclinados, com objetivo de trazer praticidade na limpeza, executada por meio da de água de lavagem em fluxo contrário à descarga. Destarte, a água chegada dos tanques de floculação entra pela extremidade de fundo dos decantadores tubulares, percorrem os canais acumulando neles por sedimentação as partículas e flocos aglutinados, obedecem uma direção de fluxo ascendente, posteriormente, a água decantada é armazenada na superfície do decantador. Todavia, o custo elevado desses módulos fez com que os pesquisadores como alternativa desenvolvessem dispositivos de placas planas paralelas. As placas desses dispositivos podem ser feitas de diferentes materiais como, cimento, madeira e amianto, o último é o menos recomendado em função das implicações já comprovadas na saúde humana e animal. Além disso, mais recentemente tem se visto o uso de lâminas flexíveis de material plástico como alternativa eficiente e de menor custo (Richter, 2009).

**Figura 5** - Representação de decantadores do tipo tubular ou vertical



**Fonte:** ROSCHILD (2016), [www.saep-piras.com.br](http://www.saep-piras.com.br)

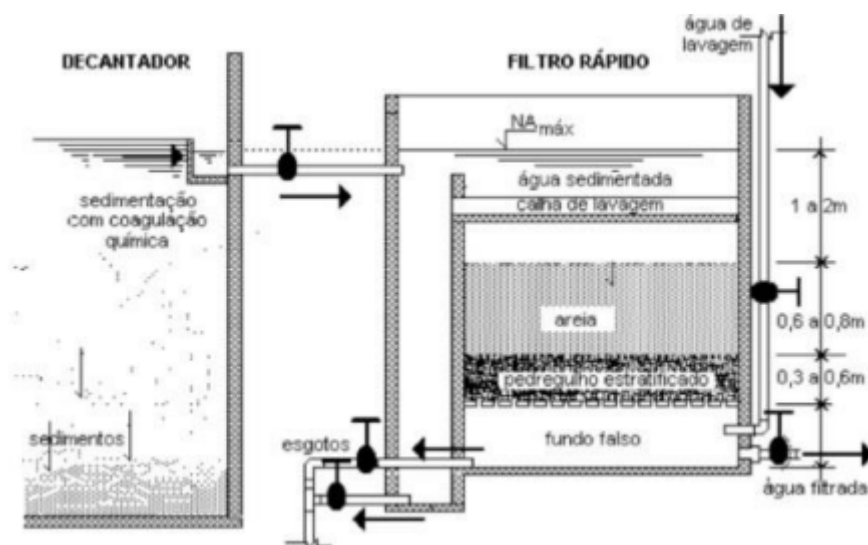
### 3.3.4 Filtração

A fase de filtração no tratamento de água responsável por reter as partículas na água, que não foram retidas nas fases anteriores de tratamento, por intermédio de tanques contendo material poroso que atuam como barreiras sucessivas que retêm as partículas ou outros materiais ainda presentes na água

Na etapa de filtração (figura 6), ocorre um processo físico-químico ou biológico (filtros lentos) dependendo da situação, de separação de impurezas em suspensão na água, por sua passagem por um meio poroso. Diferentes materiais podem ser empregados como meio poroso. A areia é o mais frequentemente usado, procedido pelo do antracito, areia granulada, carvão ativado granular *etc.* (Richter, 2009)

Em se tratando dos mecanismos de ação da filtração em meio granular é possível destacar três: transporte, aderência e desprendimento. O mecanismo de transporte desempenha a função de deslocar as partículas na água até as proximidades dos grãos do meio filtrante (coletores), à medida que as partículas avizinha-se dos coletores atuam se as forças de ação superficial, dessa forma acontece a adesão aos grãos ou outras partículas que já foram aderidas. Ao longo desse processo acontece um acúmulo de material aderido, reduzindo os espaços percorridos pela água, o que desencadeia a elevação da velocidade de escoamento e das forças de cisalhamento que operam nas partículas aderidas. (Heller e Pádua, 2010)

Figura 6 - Representação esquemática de um filtro rápido



Fonte: PANORAMA PRÉ-FILTROS

### 3.3.5 Desinfecção

No processo de desinfecção acontece a eliminação parcial da presença de microrganismos patogênicos na água. De acordo com Richter (2009), essa parte do processo de tratamento da água é importante, uma vez que não é possível garantir a remoção total destes agentes patogênicos nas etapas anteriores do tratamento de água. O mecanismo de desinfecção está associado à natureza do produto empregado, além do tipo de organismo que se pretende inativar ou destruir.

Os compostos químicos usados na desinfecção podem agir provocando a inativação de enzimas primordiais para os processos específicos nesse microrganismos. Alguns microrganismos como vírus da hepatite e da poliomielite não são completamente destruídos por métodos comuns de desinfecção. Na maior parte das situações, os agentes virais são mais resistentes em relação às bactérias (Richter, 2009). Na desinfecção o procedimento mais comumente empregado é a cloração, nesse processo o cloro é disponível em estado sólido, líquido e gasoso, tendo como seus representantes o cloro elementar (Cl<sub>2</sub>), Hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio, respectivamente (Richter, 2009).

### 3.4 Parâmetros Importantes no Tratamento de Água

No processo de tratamento da água a avaliação dos parâmetros é fundamental, seja no início do processo de tratamento, durante e no final do processo, entre os parâmetros que comumente são analisados, estão parâmetros físico-químicos e microbiológicos, tais como: turbidez, cloreto, dureza, metais, e coliformes por exemplo.

- **Turbidez**

A turbidez é uma propriedade da óptica que faz com que a luz seja dissipada e seja absorvida e dessa forma não seja transmitida em linha reta através do meio. Na água é desencadeada pela existência de conteúdo suspenso, como: argila, silte, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, compostos orgânicos solúveis coloridos, plâncton e outros organismos microscópicos. Desse modo, a turbidez é um dos principais parâmetros na avaliação da qualidade das águas para abastecimento público (CETESB, 2016; PARRON *et al.*, 2011). A origem da turbidez está condicionada a situações naturais ou antrópicas (CASALI, 2008). Em condições naturais, a contribuição principal advém do carreamento dos solos, essencialmente o conteúdo inorgânicos existentes em maior quantidade nesses solos.

- **Cor**

Segundo Brand et al. (2015) a cor na água é consequência dos compostos dissolvidos, Chapam (1996) acrescenta que existem dois tipos de cor, a cor verdadeira e a cor parente, para o autor a cor verdadeira está associada com a presença de matéria orgânica e compostos inorgânicos como minerais. Já a cor aparente está relacionado com o nível de diminuição de luz ao atravessar do ar para a amostra de água, isso ocorre em função da presença de sólidos dissolvido, principalmente das partículas coloidais que podem ser matéria orgânica, bactérias, algas, compostos inorgânicos e metais como ferro e manganês (BRAND *et al.*, 2015). Dessa forma, a cor é um importante parâmetro para avaliar a qualidade da água para o consumo humano, uma vez que ela aponta essencialmente o nível de ação fotossintética e as condições de desenvolvimento de organismo (CHAPMAN, 1996).

- **pH**

Osibanjo et al. (2011) descrevem que o pH é um dos mais relevantes parâmetros na avaliação da potabilidade da água, uma vez que os organismos para a eficiência de suas funções vitais é essencial a atuação em faixas específicas. Nesse sentido, grandes variações de pH desencadeiam graves problemas para esse organismo.

- **Cloreto**

Em relação aos cloretos, comumente são encontrados em águas brutas e tratadas em distintas concentrações. Os cloretos mais comuns são cloretos de sódio, cálcio e magnésio, nesse sentido o cloro usado no processo de desinfecção pode também ser o responsável pela presença deste elemento na água (BRASIL, 2013; SOUZA *et al.*, 2016). Águas que possuem concentrações igual ou superior a 250 mg Cl-/L normalmente conferem um sabor salino detectável, se porventura o cátion que propicia o equilíbrio iônico da solução for o sódio (Na<sup>+</sup>). Quando o cátion principal é o cálcio ou magnésio, o sabor salino provavelmente apenas será perceptível quando o valor da concentração de cloreto for igual ou superior a 1000 mg Cl-/L. Pelo fato do cloreto de sódio ser um ingrediente frequentemente na alimentação, a presença de concentrações acentuadas de cloreto de sódio e outros, pode apontar para poluição por efluentes domésticos ou industriais (POHLING, 2009).

- **Dureza**

A dureza e a concentração de íons divalentes que encontram-se na água. Corroboram majoritariamente para os valores de dureza da água, os íons: cálcio, magnésio, estrôncio,

ferro e manganês. A dureza pode ser expressa como: total (mede a totalidade dos íons bivalentes), cálcica (mede o teor em cálcio) e magnésiana (mede o teor em magnésio). Este parâmetro é facilmente observável no uso doméstico, haja vista que as águas duras não fazem espuma com a adição de detergentes. Todavia, esses parâmetros isolados não oferecem riscos no que concerne à saúde pública, porém normalmente um grande valor de dureza está acompanhado de outros parâmetros importantes na qualidade da água (APHA, 1999).

- **Condutividade Elétrica**

A condutividade Elétrica, embora não conste nas normas brasileiras de potabilidade da água, o seu monitoramento é relevante, já que esse parâmetro está relacionado com a quantidade de íons (cátions e ânions) dissociados na água, o que favorece a transmissão de corrente elétrica. Dessa maneira essa variável está intrinsecamente associada à salinidade, sendo um parâmetro indireto que relaciona-se também com a dureza e o cloreto, o último encontra-se disposto na portaria N. 888/ 2021 do Ministério da Saúde.

- **Sólidos Totais Dissolvidos**

Na qualidade água para o abastecimento humano, é essencial o monitoramento dos sólidos dissolvidos totais, já que esse parâmetro relaciona-se como quantidade de materiais dissolvidos na água, entre esses materiais podem constar a presença de carbonatos, sulfato, fosfatos, cálcio, magnésio além de outros íons. Entre as principais características negativas de altas concentrações de STD na água potável está a palatabilidade, já que esse parâmetro pode afetar o sabor, odor e cor das águas.

- **Metais**

Vários são os elementos químicos que podem estar presentes nas água que dependendo da sua concentração podem representar um risco para a saúde pessoas, nesse sentido as normas descrevem os Valores Máximos Permitidos (VPMs) para esses elementos, entre esses elementos estão: Alumínio (Al), Arsênio (As), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Fósforo (Ph), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Sódio (Na) e Zinco (Zn).

A presença de Al na água podem ocorrer a liberação do solo para a água, isto é o Al podem ser um dos elementos que compõem as rochas que formam o solo, e também podem estar relacionado com fontes de contaminação ambiental ligada a empreendimentos indústrias, mineradoras de fundição da bauxita, indústrias de utensílios e aparelhos

domésticos, embalagens de alumínio (ACHARY; PANDA, 2009). As elevadas concentrações de Alumínio dissolvido nos mananciais podem ainda estar relacionados com resíduos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). Autores com Rosalino (2011) Kuma e Gill (2014) alegam que estudos apontam que consideráveis concentrações de alumínio na água usado para o consumo humano aumentam o risco do acometimento de doenças neurodegenerativa como, encefalopatia dialítica, doença de Alzheimer e doença de Parkinson.

O Ferro dissolvido é um elemento relativamente comum em água, contudo, em concentrações elevadas em água de consumo humano tem o potencial de desencadear problemas ao sistema gastrointestinal, uma vez que pode provocar intoxicação, é sabido também que alto dosagens de ferro pode afetar órgãos como coração, rins e o fígado, além disso elemento ainda pode provocar alterações e danos às moléculas de DNA (CHAU *et al.*, 1993, LIMA *et al.*, 2011). O manganês também é um elemento que em consideráveis concentrações pode desencadear problemas na ativação enzimática, principalmente nas enzimas relacionadas com replicação do RNA ( LIMA *et al.*, 2011). Arsênio é um outro parâmetro de potabilidade que de acordo com os autores Jomova et al. (2011), Orloff et al. (2009), além de possuir, em grandes concentrações nas águas para consumo humano, alto potencial carcinogênico ainda pode desencadear risco de doenças neurológicas, cardiovasculares e nefrológicas.

- **Coliformes Totais e Termotolerantes**

As bactérias do grupo coliforme habitam normalmente o trato intestinal dos animais de sangue quente, servindo, portanto, como indicadoras da contaminação de uma amostra de água por fezes, além de existirem naturalmente no solo e na vegetação. A maioria das doenças associadas à água – denominadas de transmissão ou veiculação hídrica – é transmitida por via fecal, ou seja, os organismos patogênicos eliminados pelas fezes atingem o ambiente aquático. Desta forma, pode ocorrer a contaminação das pessoas que se abastecem ou, em contexto mais amplo, que tenham contato com esta água (Libânio, 2010; Silva-Filho *et al.*, 2019).

Existem seis categorias patogênicas de *E. coli* que causam infecção intestinal em homens e animais, denominadas de *E. coli* diarreio gênicas (Martinez; Trabulsi, 2008) que são diferenciadas pela presença de fatores de virulência como adesinas fimbriais e afimbriais, toxinas e invasinas, e classificadas em: *E. coli* enteropatogênica (EPEC), *E. coli* enterotoxigênica (ETEC), *E. coli* enteroinvasora (EIEC), *E. coli* enterohemorrágica (EHEC) ou *E. coli* produtora da toxina de Shiga (STEC), *E. coli* enteroagregativa (EAEC) e *E. coli* aderente difusa (DAEC) (Nguyen *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2016).

### **3.5 Coagulantes Inorgânicos**

Sais inorgânicos, como sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ), cloreto férrico ( $FeCl_3$ ), sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) e policloreto de alumínio ( $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ , na qual a relação  $m/3n$  representa a basicidade do composto), são utilizados frequentemente como coagulantes para tratamento de águas para o abastecimento humano. As principais espécies químicas coagulantes em solução, resultam de sucessivas reações de hidrólise e formação de aquocomplexos mono e polinucleares, com centros metálicos trivalentes de alumínio e ferro (VAZ *et al.*, 2010). Estas são, rotineiramente, gelatinosas (quando utilizadas em quantidades acima da concentração de saturação) e podem neutralizar as partículas coloidais por diferentes mecanismos (LIMA JUNIOR E ABREU, 2018).

Rosalino (2011), discute em seu trabalho que não é sabido ao certo quais as consequências do Alumínio residual nas águas, submetidas ao processo de tratamento para o abastecimento. Embora diversas pesquisas apontam que existe a possibilidade da presença desse alumínio na água ser um agente de problemas de saúde associado, principalmente, a doenças no cérebro, estudos relacionam o acúmulo de elevadas concentrações de alumínio a doenças neurodegenerativas nesse órgão. Como os estudos voltados a esse tema não são categóricos no sentido de se criar um consenso, mostra-se urgente no Brasil discussões profundas em torno desse tema.

### **3.6 Coagulantes Naturais**

Diante do desafio de levar água potável para as pessoas em consonância com a conservação ambiental, além da manutenção da saúde da fauna e flora, pensa-se na engenharia verde como marco inicial. Partindo dessa premissa no que tange o tratamento de água, os coagulantes biológicos como escrever Figueiredo et al. (2022), são uma alternativa viável em detrimento aos coagulantes químicos utilizados no tratamento de água. Esses compostos se tornaram foco de vários estudos, visto que eles são uma das possibilidades postas de baratear o custo do tratamento de água, além de somar no sentido de minimizar os impactos seja na saúde humana e no meio ambiente com o todo. (LAPOINTE; BARBEAU, 2020).

### 3.6.1 Taninos

Os taninos são compostos presentes em vegetais, desempenham função de defesa contra predadores, frequentemente insetos que atuam como parasitas. São encontrados em vegetais de diferentes espécies. A madeira dos troncos das árvores é constituída de dois grupos: um dos grupos é formado pela estrutura celular vegetal enquanto o outro grupo é formado de substâncias extraíveis, que são os polifenóis que constituem o subgrupo mais importante e numeroso. Esses polifenóis compreendem os taninos, ligninas e polifenóis simples (LOPES, 2014).

Diversos estudos a nível laboratorial estão aplicando os taninos vegetais, e expondo interessantes propriedades coagulantes dessas substâncias. Ademais, estes compostos têm se destacado por não apresentarem toxicidade aos seres humanos, fauna e flora (VIVE, 2013). Os principais tipos de taninos comercializados são os classificados como hidrolisáveis, os galotaninos, e elagitaninos, oligoméricos complexos e taninos condensados (MARTINEZ, 1996).

Nessa perspectiva é importante destacar que o funcionamento dos taninos que conferem a propriedade coagulante se deve pela atuação da substância na forma quelante, além de sua reatividade ser conferida pela presença de ferro na composição do polieletrólito que atua como transportador de elétrons, criando as pontes necessárias para oxidação de outros metais. Um exemplo disso foi o emprego do tanino para inibir a corrosão em caldeiras por depósito de metais em meio alcalino (MOREIRA, 2020).

Os taninos condensados são os mais utilizados como floculantes por ostentar uma maior viscosidade que os hidrolisáveis (LOPES, 2014). Entretanto, para os taninos usados no tratamento de águas voltadas ao abastecimento é necessário considerar a concentração, além do que, uma dosagem superior à calculada não implicará necessariamente a uma floculação que resultará em um processo ideal. Outro fato considerável é que os taninos condensados se comportam como antimicrobianos (fungicidas, algicidas e antibacterianos). (MARTINEZ, 1996).

Rodrigues (2016), em seu trabalho aplicou o composto tanino para o realizar o tratamento de efluentes gerados por um frigorífico. A remoção de compostos de fósforo usando esse tipo de coagulante não demonstrou tanta eficácia quando comparado com os coagulantes sintéticos, para esse trabalho o sulfato de alumínio e o PAC (Policloreto de Alumínio). A concentração de fósforo após o tratamento do efluente dobraram em relação ao permitido pelo CONSEMA n° 128/2006, que é de cerca de 3,0 mg/L do efluente.

Entretanto Lopes (2014), em seu estudo usando o mesmo composto tanino para remover nessa situação a turbidez das águas de uma estação de tratamento de águas (ETA), foi possível observar que os valores de turbidez alcançados com o coagulante natural e sintético foram semelhantes, aproximadamente de 0,02 NTU após o tratamento. Somado a isso Miguel et al. (2017), desenvolveu um trabalho com efluentes da indústria têxtil em escala de laboratório, nesse experimento foram encontrados resultados promissores, visto que aconteceu uma redução da turbidez usando os taninos. Os resultados obtidos evidenciaram que uma baixa concentração do coagulante obteve-se uma maior eficiência, chegando a um valor de turbidez final de 2,17 NTU. Cabe pontuar que para os efluentes os resultados da turbidez vão depender da sua origem .

### **3.6.2 Moringa (*Moringa oleifera*)**

As sementes de Moringa oleifera nos últimos anos vem sendo objeto de vários estudos para comprovar a eficiência no auxílio do clareamento das águas, agindo como coagulante natural ou biológico. A composição química da semente da Moringa é composta por lipídios, carboidratos e proteínas, a última encontra-se em maior quantidade proporcionalmente, com cerca de 40%. O mecanismo de coagulação desta semente está na constituição das proteínas da Moringa oleifera, que é uma proteína solúvel que atua como um polieletrólito catiônico natural, durante a etapa de coagulação da água (NDABIGENGESERE et al., 1995). Outro fato importante a ser destacado nas sementes é que quando estão em solução salina, elevam sua eficiência (OKUDA et al., 1999).

Ntibrey; Kuranchie e Gyasi (2020) testaram a eficiência do pó de semente da moringa, usado conjuntamente com filtros de areia no tratamento de águas cinzas, oriundas de instituições de ensino em Gana no leste africano. Nesses ensaios os pesquisadores puderam observar que o uso da moringa associada ao filtro mostrou-se promissor não só na remoção da turbidez alcançando 98%, mas também como antimicrobianos alcançando uma taxa de remoção de organismos de 99,99% .

### **3.6.3 Mucilagem de Quiabo**

Outro composto que apresenta características coagulantes e floculantes é a mucilagem do quiabo, adquirida por meio das sementes do vegetal é um polissacarídeo aniônico, um polímero natural, que se comporta como floculante e coagulante biodegradável. O quiabo em

pó é um polímero aniônico, que possui características iônicas negativas, em função da sua cadeia longa, dessa forma acontece o favorecimento do ganho de massa e volume, além da agregação dos flocos essencial no processo de sedimentação (LIMA, 2007).

A mucilagem do quiabo por ser classificada como um polissacarídeo aniônico, ele pode ser empregada como floculante, além disso ainda possuem sítios ionizáveis ao longo da cadeia, o que favorece a possibilidade de usá-lo também como coagulante (NOGUEIRA, 2012; BATHISTA *et al.* 2001).

Lima (2007) percebeu em seus estudos que com uso da mucilagem de quiabo como auxiliar no processo de floculação e coagulação foi possível diminuir a dosagem de sais metálicos sem que se perca na sua eficiência ou seja mostrou-se que a mucilagem é uma alternativa promissora. Nessa mesma perspectiva, Morais et al. (2012) em seu estudo percebeu que com o quiabo em pó ou mucilagem com uma dosagem de 3 mg/L e 18 mg/L de sulfato de alumínio ocorreu uma redução de 96% turbidez, resultados que convergem com os encontrados por Lima (2007).

Mais recentemente Quesada et al. (2019) estudou a influência entre o tempo de sedimentação e a utilização do quiabo como auxiliar na etapa de coagulação. Foi usado como agente principal policloreto de Alumínio (PAC). O autor realizou o ensaio somente com o agente químico variando de 0 a 10 ppm e comparou com amostras feitas com PAC e o quiabo, essa variando de 0,5 a 5 ppm. Para as amostras com PAC foi encontrado um concentração considerado ideal de 6 ppm com uma remoção de 89,82% da cor e 94,24% na turbidez, Já para PAC/Quiabo foi encontrado um contração ideal de 0,5 ppm do quiabo, para essa concentração conferiu um remoção de 82,51 na cor e 87,82 na turbidez.

#### **3.6.4 Palma Forrageira (*Opuntia ficus*)**

Ainda nessa direção estudos apontam algumas espécies de palma como considerável potencial no tratamento de águas, especialmente na clarificação de água para o abastecimento humano. Uma vez que um polímero extraído das folhas dessas plantas apresentam características coagulantes. Os vegetais do gênero *Opuntia ficus* foram estudados por vários autores como Ferreira (2015), o autor encontrou resultados animadores nos testes feitos com diferentes dosagem do extrato extraídos dos vegetais, principalmente, quando as amostras testadas apresentaram turbidez inicial acentuada. No estudo foi notado que para amostras com turbidez de 200 uT, além de uma faixa de pH entre 8 á 10 obteve-se uma eficiência de 69% de remoção, resultados semelhantes aos encontrados por Andrade (2018). Andrade (2018) realizou ensaios com três espécies de palmas, Orelhas, Baiana e a Miúda, observando

resultados interessantes para as três espécies com uma remoção de turbidez que varia de 65,95% a 69,91%. O autor ainda observou que não foi constatada nenhuma correlação entre o tempo de observação, o peso de massa verde, variedades de palmas e a remoção de turbidez. A variedade do tipo Orelha de Elefante Mexicana mostrou um poder de redução da turbidez superior proporcional ao tempo de observação e o peso de massa verde, além de uma menor capacidade de acidificação do meio.

### **3.6.5 Chia (*Salvia Hispanica*)**

Mais recentemente a Chia, alimento de origem mexicana e guatemalteca ganhou destaque não só no mundo das dietas fitness, mas também surgiu como uma alternativa de baixo custo para o processo de clarificação da água Bushway et al. (1981), observaram em seus estudos com a semente e de sua mucilagem que com a adição de água formava-se um composto com alta viscosidade semelhante a um gel ao redor da semente da *Salvia Hispanica*.

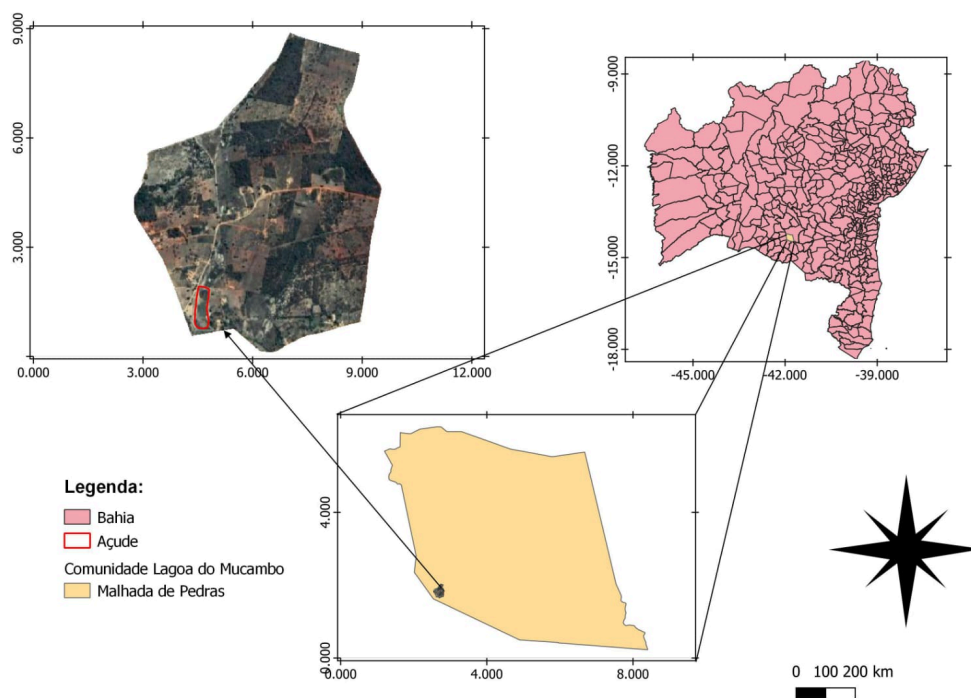
Diante desse potencial Botelho (2020), estudou a eficiência do uso da mucilagem de chia como coagulante natural no processo de clarificação da água de um manancial na cidade de Londrina no Paraná. Para o experimento a autora seguiu dois tipos de metodologias para a extração da mucilagem da chia. A primeira metodologia foi a proposta por Lopes (2017) e a segunda por Tawakkoly et al. (2019), a fim de que se pudessem chegar em melhores resultados. No experimento foram realizados ensaios com apenas a solução e uma camada filtrante, e também ensaios com adição de solução salinas a chia, os resultados foram promissores. Em todas as amostras houve uma remoção superior a 70% de turbidez, com valor de turbidez inicial de 126 uT indo para 13,3 uT no ensaio das amostras com concentração 30g.L-1 e 40 g.L-1 e com a camada filtrante. Botelho ainda percebeu que em boa parte das amostras a remoção da turbidez da água do manancial alcançou 82% de remoção, embora ainda não esteja de acordo com a legislação vigente é um valor expressivo. Uma vez que para as amostras submetidas a concentrações de 40g.L-1 obteve-se remoção de mais de 86% da turbidez.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1 Área de Estudo**

A Comunidade Lagoa do Mucambo situa-se no município de Malhada de Pedras-BA (Figura 8), tem uma população de aproximadamente 500 habitantes, o vilarejo faz divisa com dois municípios: Guajeru-BA e Rio do Antônio-BA. A região tem um clima de acordo com o IBGE (2022) semiárido caracterizado por uma baixa pluviosidade de 500 mm/ano. Em consonância com a classificação da Embrapa (Santos *et al.*, 2018), os solos do município possuem uma predominância de latossolos vermelho-amarelo. A vegetação é de domínio da caatinga e a temperatura média é cerca de 28 °C. As principais atividades desenvolvidas no município são a agricultura e a pecuária de subsistência. A comunidade está inserida na bacia do Rio de Contas e na sub-bacia do Rio do Antônio.

**Figura 7 - Localização do Açude da Lagoa do Mucambo**



**Fonte:** Próprio Autor.

## 4.2 Amostragem

As amostras foram coletadas em um açude situado na comunidade Lagoa do Mucambo no município de Malhada de Pedras no dia 05 de março de 2024 às 10 horas da manhã (Figura 7). Os procedimentos de coleta foram executados de acordo com o recomendado pelo Guia Nacional de Coleta (CETESB/ANA, 2011).

**Figura 8** - Amostragem da Água do Açude, (A) Açude no período das chuvas; (B) Açude no período de estiagem; (C) Coleta das amostras; (D) Amostras no laboratório



Fonte: Próprio Autor..

### 4.3 Realização das Análises Microbiológicas e Físico-químicas

As análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos (Tabela 1) foram realizadas no Laboratório de Águas e Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), campus Vitória da Conquista-BA, de acordo com a metodologia da Tabela 1.

**Tabela 1** - Metodologias utilizadas para análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos

Parâmetro	Equipamento	Metodologia
Turbidez	Turbidímetro	turbidimetria
pH	phmetro	Potenciômetro
Cloretos		Titulometria
Dureza total	-	Titulometria
Cloro Residual Livre	Fotocolorímetro	Colorimetria

Alumínio	Fotocolorímetro	Colorimetria
Potássio	Fotocolorímetro	Colorimetria
Condutibilidade	condutivímetro	Condutibilidade
Coliformes totais	-	SMEWW 9221
Coliformes Termotolerantes	-	SMEWW 9221
Cálcio	Espectrofotômetro	EAMP
Mercúrio	Espectrofotômetro	EAMP
Arsênio	Espectrofotômetro	EAMP
Cadmo	Espectrofotômetro	EAMP
Cromo	Espectrofotômetro	EAMP
SDT	Sonda	-
Sulfatos	Fotocolorímetro	Colorimetria
Ferro	Fotocolorímetro	Colorimetria
Zinco	Espectrofotômetro	EAMP
Manganês	Espectrofotômetro	EAMP
Magnésio	Espectrofotômetro	EAMP
Sódio	Fotocolorímetro	Colorímetro

**Fonte:** Próprio Autor.

#### **4.4 Realização das Análises de sedimentos e do solo do entorno do açude**

Para as análises dos sedimentos do fundo do açude e do solo no entorno foi realizado o estudo dos seguintes parâmetros: potássio (K), alumínio (Al), sódio (Na), magnésio (Mg), pH, fósforo (P) e nitrogênio (N). Essa análise foi feita para investigar a concentração elevada do alumínio na água do açude.

As análises foram realizadas seguindo as seguintes metodologias descritas na tabela 2.

**Tabela 2** - Metodologia utilizada para realização das análises dos parâmetros dos Sedimentos e do solo do entorno do Açude

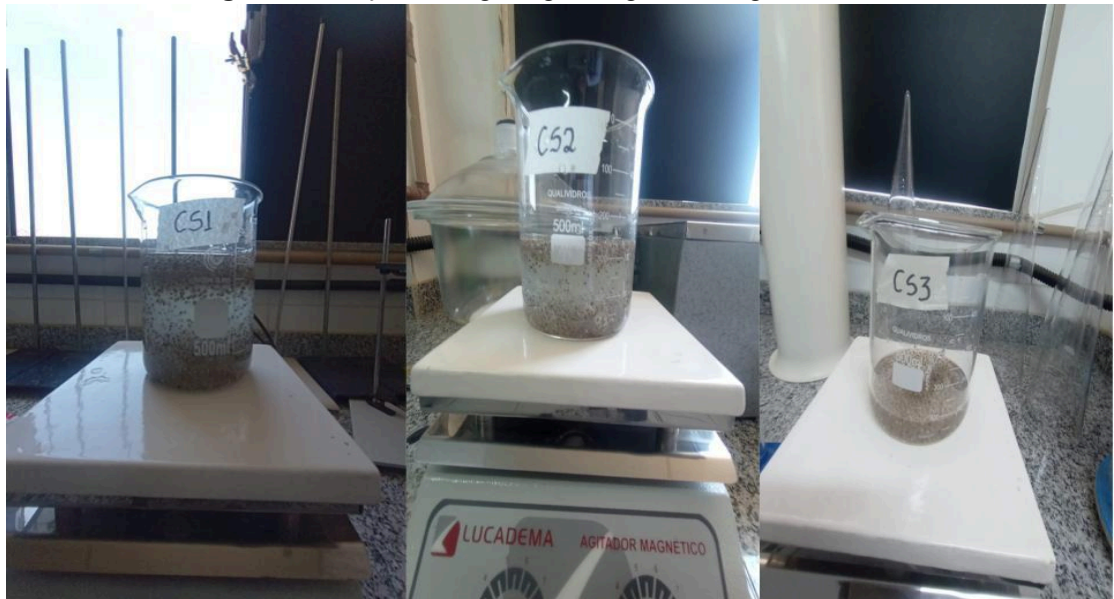
Parâmetro	Metodologia de Análise
Alumínio	Método Volumétrico
Potássio	Método Direto pelo Fotômetro de Chama
Magnésio	espectrometria de Emissão atômico
Sódio	Método Direto pelo Fotômetro de Chama
Hidrogênio	Diferença entre a acidez e o Alumínio
Fósforo	Método de Mehlich 1
pH	Método dos Eletrodos Combinado
Cálcio	Método Complexométrico

**Fonte:** Próprio Autor.

#### **4.5 Preparação da Solução da Chia**

Para a extração do gel da semente de chia, foi adaptado a metodologia de Lopes (2017). Para preparação da solução a semente de chia foi adicionada em água destilada utilizando a proporção de 1:40 (peso:volume), colocadas em agitação por 90 minutos (figura 9) por meio de agitadores magnéticos da marca LUCADEMA na potência máxima, e realizando a homogeneização manual das soluções a cada 20 min. . Foram utilizadas três concentrações distintas, 2,0 g/L, 6,0 g/L e 10,0 g/L

**Figura 9** - Soluções de 10g/L, 6g/L e 2 g/L sendo agitadas



Fonte: Próprio Autor.

Em seguida, houve a separação da fase sólido/líquido, utilizando peneira doméstica e filtro de tecido, respectivamente. A mistura passou pela peneira 2 (duas) vezes a fim de separar o máximo possível as sementes do gel transparente (Figura 10), em seguida, a solução gelatinosa foi filtrada utilizando filtro feito a partir de duas camadas de tecidos com o objetivo de tornar a solução ainda mais transparente. Após isso, a solução gelatinosa foi separada em beakers (figura 11), para serem utilizadas como coagulante nos ensaios de *Jar Test*.

**Figura 10** - Separação das fase Sólida/líquida das sementes do gel com o uso de peneira



Fonte: Próprio Autor.

**Figura 11** - Volumes das soluções de gel da semente de Chia com concentrações de 2, 6 e 10 g/L da esquerda para a direita, respectivamente.



Fonte: Próprio Autor.

#### 4.6 Ensaio

Os experimentos foram realizados no equipamento Jar Test de modelo Floc Control da marca PoliControl, que simula as etapas da coagulação, floculação e sedimentação. Possui 6 (seis) jarros de acrílico com capacidade de 2 litros cada e funciona com controle de agitação.

Antes de iniciar os ensaios, foram medidos os seguintes parâmetros da água bruta: alcalinidade, turbidez, pH, condutividade e STD. Em seguida, adicionou-se o volume de 1,5 litro de água bruta em cada jarro.

Os coagulantes testados foram a solução gelatinosa extraída da semente de chia e o sulfato de alumínio. Para o ensaio com a solução gelatinosa da chia foram usados três concentrações diferentes: 2 g/L, 6g/L e 10g/L. Como coagulante sintético, foi escolhido o sulfato de alumínio anidro (CAS 10043-01-3) da marca BAUMINAS, por ser amplamente utilizado nas ETA's. E para o ensaio utilizando o sulfato de alumínio verificou-se na literatura as concentrações máximas, médias e mínimas recomendadas de coagulante baseados nos valores de turbidez da água bruta conforme Tabela 3.

**Tabela 3** - Dosagem de Sulfato de Alumínio (mg/L)

Turbidez (UNT)	Mínima	Média	Máxima
10	5	10	17
15	8	14	20
20	11	17	22

40	13		25
60	14	21	28
80	15	22	30
100	16	24	32
150	18	27	37
200	19	30	42
300	21	36	51
400	22	39	62
500	23	42	70

Fonte: Adaptado de FUNASA (2014).

Já que a tabela 3 não dispõe o valor exato da turbidez desejada, foi necessário realizar a interpolação. Para isso foi usada a equação 1:

$$\frac{ya-y1}{y2-y1} = \frac{xa-x1}{x2-x1} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde;

ya= valor de concentração que se deseja encontrar;

y1= valor mínimo da concentração que será interpolado;

y2= valor máximo da concentração que será interpolado;

xa= valor da turbidez da amostra;

x1= valor mínimo de turbidez que será interpolado para cada condição;

x2= valor máximo da turbidez que será interpolado.

Os ensaios foram repetidos 5 (cinco) vezes para melhor comprovação dos resultados. Como o equipamento possui 6 jarros, nos 3 (três) primeiros jarros foram pipetados os volumes do sulfato de alumínio nas concentrações mínima, média e máxima, respectivamente, e nos 3 (três) últimos foram pipetados os volumes de coagulante natural (solução gelatinosa de chia) nas concentrações mínima, média e máxima.

Mas antes como o sulfato de alumínio utilizado como coagulante sintético não é 100% puro, apresentando teor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 15%, foi necessário corrigir as dosagens com base no produto comercial, para isso foi usado a equação 3

$$dpc = \frac{dpa \times 100}{5,824 \times \% Al_2O_3} \quad (\text{Equação 3})$$

onde;

dpc = dosagem em produto comercial do sulfato de alumínio;

dpa = dosagem em produto ativo do sulfato de alumínio;

O volume de sulfato de alumínio pipetado foi calculado pela equação de diluição:

$$Ca \times Va = Cb \times Vb \quad (\text{Equação 2})$$

Onde;

Ca = Concentração do coagulante concentrado;

Va = Volume de Coagulante a ser adicionado no dosador;

Cb = Concentração desejada (tabela 2);

Vb = Volume de água bruta.

Os coagulantes foram despejados nos jarros do Jar Test simultaneamente em regime de mistura rápida (coagulação). A metodologia adotada foi de 2 minutos de mistura rápida a um gradiente de velocidade de 1000 s<sup>-1</sup>, seguido de 20 minutos de mistura lenta (floculação) a um gradiente de velocidade de 50 s<sup>-1</sup>, por fim o aparelho foi desligado e dado o tempo de 20 minutos de sedimentação .

Para os ensaios no Jar test, inicialmente é realizada a correção da alcalinidade da água, caso a alcalinidade seja inferior à mínima requerida pelo coagulante como a alcalinidade da água bruta foi igual a 68 mg/L CaCO<sub>3</sub>, não foi necessário realizar a correção uma vez que esse valor é superior a alcalinidade mínima requerida para o sulfato de alumínio.

Na sequência após a realização de cada ensaio, os parâmetros físico-químicos da água, pH, turbidez, Condutividade e STD foram novamente medidos no Laboratório de Água e Efluente do IFBA-*campus* Vitória da Conquista para analisar a eficiência da aplicação do coagulante natural em comparação com o sulfato de alumínio.

Para determinação da porcentagem de remoção da turbidez foi usada a Equação 4;

$$E = \left( \frac{V_1 - V_2}{V_1} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo;

E = Eficiência de remoção;

V1 = Valor da amostra bruta (NTU);

V2 = Valor após o ensaio (NTU).

#### **4.7 Tratamento dos dados**

Os resultados foram submetidos à análise de variâncias para diagnóstico de efeitos significativos pelo teste de Tukey a  $p < 0,05$  para comparação das médias. As análises foram realizadas no programa computacional ASSISTAT versão 7.7 beta (SILVA e AZEVEDO, 2016) e os gráficos elaborados no EXCEL versão 16. Por fim, foi feita a comparação entre os resultados encontrados com o sulfato de alumínio e a solução gelatinosa de chia, além de comparar os resultados encontrados com os valores máximos permitidos (VMP) pela Portaria N. 888 de 2021 do Ministério da Saúde.

##### **4.7.1 Delineamento experimental**

O experimento foi organizado em fatorial 2 x 3, sendo 2 extratores (sulfato de alumínio e chia) e 3 volumes/concentrações desses extratores (sulfato de alumínio: 2,82 ml; 4,58 ml e 5,52 ml e chia: 2 g/L; 6 g/L e 10 g/L), com 5 repetições, num total de 30 unidades experimentais.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise da Qualidade da Água Bruta

A qualidade da água de um manancial é o resultado das características de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, além de clima, hidrologia, geologia, pedologia, morfologia que de forma conjunta determina uma melhor ou pior qualidade da água tomando como base o atendimentos de parâmetros físico-químicos e microbiológicos aos padrões estabelecidos pela legislação.

Buscando conhecer a qualidade da água do açude utilizado para consumo pela comunidade rural Lagoa do Mucambo situada no município de Malhada de Pedras-Ba, os parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram analisados tomando como referência o atendimento aos valores máximos permitidos (VMP) pela Resolução CONAMA 357/2005 e Portaria MS N. 888/2021, conforme pode ser visualizado na Tabela 4.

**Tabela 4** - Análise da conformidade dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos com os padrões da legislação (Resolução CONAMA 357/2005, Portaria MS N. 888/2021 e Diretiva Europeia). Parâmetros em negrito estão fora de conformidade

Parâmetros	Resultado	VMP/Directiva EU/2024	VMP/CONAMA 357/2005 <sup>1</sup>	VMP/Port. MS 888/2021	Análise de Conformidade
pH	7,16	6,5 - 9,5	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	Atende
Condutibilidade (µS/	248	250	-	-	-
SDT (mg/L)	124	-	500	500	Atende
Sulfatos (mg/L)	21,44	250	250	250	Atende
Alcalinidade (mg/L)	63,58	-	-	-	-
Dureza (mg/L)	31,16	-	-	300	Atende
Cloreto (mg/L)	20,05	250	250	250	Atende
<b>Ferro (mg/L)</b>	<b>0,41</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>Não Atende</b>
<b>Alumínio (mg/L)</b>	<b>0,36</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>Não Atende</b>
Magnésio (mg/L)	0,42	-	-	-	-
<b>Manganês (mg/L)</b>	<b>0,11</b>	<b>0,05</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>Não Atende</b>
Cálcio (mg/L)	13,26	-	-	-	-
Zinco (mg/L)	0,00	-	5	5	Atende
Cádmio (mg/L)	0,00	0,005	0,001	0,003	Atende
Cromo (mg/L)	0,00	0,025	0,05	0,05	Atende
Chumbo (mg/L)	0,00	0,005	0,01	0,01	Atende
<b>Arsênio (mg/L)</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>Não Atende</b>

<b>Turbidez (UNT)</b>	<b>115,00</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>Não Atende</b>
Sódio (mg/L)	8,60	200	-	200	Atende
Potássio (mg/L)	0,00	-	-	-	-
Mercúrio (mg/L)	0,00	0,001	0,002	0,001	Atende
<b>Coliformes Totais (NMP/1000)</b>	<b>8,0</b>	-	-	<b>Ausência</b>	<b>Não Atende</b>
Coliformes Termotolerante (NMP/1000)	Ausência	Ausência	1000	Ausência	Atende

Nota: 1 Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces/Classe 2

Fonte:Próprio Autor.

Pode-se observar que os parâmetros turbidez, alumínio, ferro, manganês e arsênio apresentaram valores acima dos VMP's pela Portaria MS n. 888/2021. Enquanto que os mesmos parâmetros, exceto a turbidez, apresentaram valores acima dos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces/classe 2.

Ao comparar as concentrações das amostras com os VMP's da diretiva Europeia esses parâmetros também estão em desacordo, contudo, é importante destacar que para os parâmetros turbidez e manganês, a norma Europeia é mais restritiva, em relação a norma brasileira (Portaria). Assim, os VPM's de turbidez e manganês, por exemplo, é 5 NTU e 0,1 mg/L na legislação Brasileira enquanto na Europa é 1 NTU e 0,05 mg/L, respectivamente. cautela do documento europeu em relação ao manganês vai ao encontro com o que escreveu Lima et al. (2011) em que o autor afirma que concentrações elevadas de manganês podem comprometer o funcionamento das enzimas no organismo.

Embora sejam relativamente poucos os parâmetros que não atenderam a Portaria, eles não podem ser desconsiderados, haja vista que são importantes no estudo da qualidade da água, principalmente para o consumo humano.

Os demais parâmetros apresentaram seus valores abaixo dos padrões de qualidade da água estabelecidos pela legislação.

De acordo com Sperling (2005), a turbidez pode ser entendida, a grosso modo, como a medida da transparência da água. Dessa forma, esse parâmetro está associado com a existência e quantidade de material particulado em suspensão na água. As águas que apresentam elevados valores de turbidez, geralmente possuem uma grande quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos em suspensão, o que comumente está ligado à baixa eficiência de tratamentos químicos ou físicos da água, já que esse material presente funciona como “abrigo” para microrganismos.

Apesar de a turbidez não atender ao VMP pela Portaria, nem da Normativa Europeia essa condição pode estar relacionada a época de coleta da água, a qual foi realizada no período chuvoso, o que segundo a Cetesb (2011), o aumento da turbidez em período chuvoso geralmente acontece devido à movimentação do sedimento em locais rasos, erosão das margens por falta de vegetação ripária, folhagens e galhos de árvores que são levados para o corpo hídrico por ação dos ventos e do escoamento superficial.

No que diz respeito ao alumínio presente nas amostras acima do recomendado, essa condição pode estar relacionada a sua ocorrência natural no solo e na água. Segundo Santos et al. (2018) o transporte do alumínio no solo é condicionado por alguns aspectos, como o fluxo hidrológico, as relações solo-água ou por características geológicas locais. Grande parte dos compostos que contêm alumínio apresentam uma considerável solubilidade em água.

É cabível destacar que no Brasil as concentrações máximas de alumínio permitidas em águas usadas para o abastecimento humano após o tratamento é 0,2 mg/L, estranhamente esse valor é duas vezes superior ao VMP disposto na Resolução 357/2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais sobre seu enquadramento. De encontro ao entendimento da Resolução CONAMA 357/2005 vários países como Canadá e Singapura já estipulam concentrações inferiores para o alumínio em face de que concentrações superiores a 0,1 mg/L já oferecem risco aos seres humanos (ALBERTI et al., 2005). O que comunga com o estudo desenvolvido por Rosalino (2011), em que a autora expõe que pode haver uma correlação entre a exposição do alumínio residual na água tratada e a ocorrência de doenças degenerativas cerebrais.

O ferro e o manganês são elementos muito comuns em águas, contudo, segundo Custódio e Llamas (1983), quando encontrados em concentrações superiores a 0,5 mg/L no caso do ferro, conferem à água, cor, odor e sabor. Esses elementos na sua forma solúvel ou iônica quando em contato com oxigênio, gera como produto um precipitado que tem como principal aspecto a alteração de algumas características da água como a cor. É observado nas amostras de água do açude um teor de ferro igual a 0,41 mg/L, o que, por sua vez, está bem próximo do limite descrito por Custódio e Llamas de 0,5 mg/L e acima dos valores recomendados pela Portaria de 0,3 mg/L. Ao passo que o manganês, considerado o padrão da Normativa Europeia, apresentou concentração duas vezes superior ao valor máximo, todavia, em relação a Portaria 888 a sua concentração foi bem próxima do VMP.

Dessa maneira o consumo de águas com teores tão elevados de ferro, de acordo com Chau et al. (1993) e Lima et al. (2011), tem alto potencial de causar riscos, principalmente de doenças no trato gastrointestinal. Somado a isso podem ocasionar problemas com relação a

aceitação da população, uma vez que o esses compostos dissolvidos causam manchas em pisos e roupas, além do mais o presença do ferro e manganês pode ainda desencadear a precipitação desse compostos nos pré-filtros (quando é o caso) e filtros reduzindo sua eficiência, ademais outro problema da precipitação é quando esse fenômeno ocorre no sistema de distribuição.

A Tabela 5 apresenta a análise dos parâmetros pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, sódio e hidrogênio no sedimento e solo ao entorno do açude.

**Tabela 5** - Análise de Sedimento e do Solo ao entorno do Açude

Parâmetros	Unidade	Açude	Entorno
pH	-	5,50	6,40
Fósforo	mg/L	6,00	1,00
Potássio	mg/L	222,87	129,03
Cálcio	mg/L	1442,88	500
Magnésio	mg/L	279,59	97,25
Alumínio	mg/L	18,00	0,00
Sódio	mg/L	20,70	0,00
Hidrogênio	mg/L	2,40	1,30

**Fonte:** Próprio Autor.

Como os valores de alumínio estão em concentrações superiores ao indicado pela Portaria N. 888/2021 foram feitas análises dos sedimentos do fundo do açude e do solo do seu entorno. A fim de tentar entender os valores elevados de alumínio, já que na localidade do açude não possui nenhuma fonte de poluição pontual que explicasse a concentração anormal do metal. Observou-se que embora o solos do entorno não constem a presença de alumínio (tabela 5) e que nos sedimentos foi percebido um pequena quantidade do metal, é possível que no fundo do açude haja um acúmulo do metal, uma vez que uma porção dos sedimentos é formada pelo solos que chegam juntamente com a enxurrada e a concentração pode acontecer em função da troca de alumínio do solo para a água.

## **5.2 Avaliação da Eficiência da Solução Gelatinosa de Chia e do Sulfato de Alumínio como coagulantes na clarificação da Água**

- **Preparação das dosagens de sulfato de alumínio**

Para os ensaios no Jar test, inicialmente verificou-se na literatura qual a faixa de concentração de coagulante para uma turbidez de 110 NTU utilizando a Tabela 3. Como a

Tabela 3 não dispõe o valor exato da turbidez desejada, foi necessário realizar a interpolação para encontrar as dosagens mínima, média e máxima de sulfato de alumínio como produto ativo.

Para obter a mínima concentração de sulfato de alumínio:

$$\frac{ya-16}{18-16} = \frac{110-100}{150-100} \rightarrow ya = 16,4 \text{ mg/L} \quad (\text{Equação 1})$$

onde;

$$xa = 110 \text{ NTU};$$

$$x1 = 100 \text{ NTU};$$

$$x2 = 150 \text{ NTU};$$

$$y1 = 16 \text{ mg/L};$$

$$y2 = 18 \text{ mg/L}.$$

ya = Concentração (mg/L) mínima específica para a turbidez de 110 NTU

Para obter a concentração média de sulfato de alumínio:

$$\frac{ya-24}{27-24} = \frac{110-100}{150-100} \rightarrow ya = 24,6 \text{ mg/L} \quad (\text{Equação 1})$$

onde;

$$xa = 110 \text{ NTU};$$

$$x1 = 100 \text{ NTU};$$

$$x2 = 150 \text{ NTU};$$

$$y1 = 24 \text{ mg/L};$$

$$y2 = 27 \text{ mg/L};$$

ya = Concentração (mg/L) média específica para a turbidez de 110 NTU.

Para obter a concentração máxima de sulfato de alumínio;

$$\frac{ya-32}{37-32} = \frac{110-100}{150-100} \rightarrow ya = 33 \text{ mg/L} \quad (\text{Equação 1})$$

onde;

$$xa = 110 \text{ NTU};$$

$$x1 = 100 \text{ NTU};$$

$$x2 = 150 \text{ NTU};$$

$$y1 = 32 \text{ mg/L};$$

$$y2 = 37 \text{ mg/L};$$

ya = Concentração (mg/L) máxima específica para a turbidez de 110 NTU.

Após realizar os cálculos da interpolação, foram encontradas as dosagens mínima,

média e máximas iguais a 16,4 mg/L, 24,6 mg/L e 33 mg/L de sulfato de alumínio como produto ativo, respectivamente, para uma turbidez de 110 NTU.

Como todos os valores de concentração encontrados são baseados no produto ativo  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ , então foi necessário corrigir as dosagens com base no produto comercial, usando a Equação 3 e o teor de  $Al_2O_3$  igual a 15% .

Para o Jarro 1, cuja a concentração em produto ativo é de 16,4 mg/L, a dose do produto comercial foi:

$$dpc = \frac{16,4 \times 100}{5,824 \times 15} \rightarrow dpc = 18,8 \text{ mg/L} \quad (\text{Equação 2})$$

onde:

dpc = dosagem em produto comercial do sulfato de alumínio;

dpa = 16,4 mg/L;

Para o Jarro 2, com concentração igual a 24,6 mg/L como produto ativo, a dosagem como produto comercial foi:

$$dpc = \frac{24,6 \times 100}{5,824 \times 15} \rightarrow dpc = 28,2 \text{ mg/L} \quad (\text{Equação 2})$$

onde:

dpc = dosagem em produto comercial do sulfato de alumínio;

dpa = 24,6 mg/L.

E para o Jarro 3, com concentração igual a 33 mg/L como produto ativo, a dosagem como produto comercial foi:

$$dpc = \frac{33 \times 100}{5,824 \times 15} \rightarrow dpc = 37,8 \text{ mg/L} \quad (\text{Equação 2})$$

dpc = dosagem em produto comercial do sulfato de alumínio;

dpa = 33 mg/L.

Assim, as dosagens mínima, média e máxima do produto comercial foram 18,8 mg/L, 28,2 mg/L e 37,8 mg/L, respectivamente.

A partir dos cálculos das concentrações comerciais para cada jarro, realizou-se os cálculos de diluição para definir o volume de coagulante a ser colocado em cada jarro através da Equação 3.

Para obter o volume ( $V_a$ ) para a mínima concentração de sulfato de alumínio:

$$V_a = \frac{18,8 \times 1,5}{10000} \rightarrow 2,82 \text{ mL} \quad (\text{Equação 3})$$

onde:

Ca = 10.000 mg/L;

Va = Volume (ml) de Coagulante a ser adicionado no dosador;

Cb = 18,8 mg/L;

Vb = 1,5 L.

Para obter o volume (Va) para a média concentração de sulfato de alumínio:

$$V_a = \frac{28,2 \times 1,5}{10000} \rightarrow 4,23 \text{ mL} \quad (\text{Equação 3})$$

onde:

Ca = 10.000 mg/L ;

Va = Volume (ml) de Coagulante a ser adicionado no dosador;

Cb = 28,2 mg/L;

Vb = 1,5 L.

Para obter o volume (Va) para a máxima concentração de sulfato de alumínio:

$$V_a = \frac{37,2 \times 1,5}{10000} \rightarrow 5,52 \text{ mL} \quad (\text{Equação 3})$$

onde:

Ca = 10.000 mg/L;

Va = Volume (ml) de Coagulante a ser adicionado no dosador;

Cb = 37,2 mg/L;

Vb = 1,5 L.

Assim, o volume encontrado da solução de sulfato de alumínio a ser adicionada nos Jarros 1, 2 e 3 foi igual a 2,82 mL, 4,23 mL e 5,52 mL, respectivamente.

- **Medição da Alcalinidade e pH**

Em seguida, foi realizada a medição da alcalinidade da água bruta para verificar se o valor da alcalinidade das amostras estava acima do valor mínimo requerido pelo sulfato de alumínio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ , caso contrário seria necessário realizar a correção desse parâmetro. A estequiometria de consumo de alcalinidade para o sulfato de alumínio é de

aproximadamente 1,0 mg/L do produto para 0,5 mg/L de alcalinidade em CaCO<sub>3</sub>. Como a máxima dosagem de sulfato de alumínio foi 37,8 mg/L, logo a alcalinidade mínima requerida pelo coagulante é igual a 18,9 mg/L em CaCO<sub>3</sub>. Desse modo, como o valor da alcalinidade da água bruta foi igual a 68 mg/L em CaCO<sub>3</sub> (Tabela 4), valor bastante superior a 18,9 mg/L em CaCO<sub>3</sub>, não foi necessário realizar a correção do referido parâmetro.

Em relação ao pH (Tabela 4), o valor medido na água bruta foi de 7,16, valor que está acima do permitido, embora próximo do intervalo de atuação do sulfato de alumínio, que compreende a faixa de 5 a 7 dessa forma, dispensando o processo de correção.

Em seguida, foi realizado o preparo da solução gelatinosa de chia conforme descrito no item 4.5 Preparação da solução de chia. Nos Jarros 4, 5 e 6 foram adicionadas as concentrações de solução de chia iguais a 2 g/L, 6 g/L e 10 g/L, respectivamente. Os volumes de solução obtidos para cada concentração encontram-se na Tabela 6.

**Tabela 6** - Volumes de solução gelatinosa de chia para cada concentração utilizada nos ensaios

Ensaio	Jarro 1 (2g/L)	Jarro 2 (6g/L)	Jarro 3(10 g/L)
Ensaio 1	15 mL	45 mL	60 mL
Ensaio 2	15 mL	45 mL	60 mL
Ensaio 3	15 mL	45 mL	60 mL
Ensaio 4	5 mL	15 mL	25 mL
Ensaio 5	2,5 mL	7,5 mL	12 mL

Fonte: Próprio Autor.

- **Análise dos parâmetros turbidez, pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, após a decantação.**

Finalmente, após adicionar as soluções de sulfato de alumínio e de gel de chia nos respectivos jarros, realizou-se a agitação dos mesmos simulando as etapas de coagulação, floculação e decantação, conforme descrito no item 4.6 Ensaio. Em seguida, foi coletada uma alíquota da água decantada em cada jarro e realizada a leitura da turbidez, pH, condutividade elétrica e STD. Os resultados encontrados estão nas Tabelas 6, 7, 8 e 9.

A Tabela 7 apresenta o percentual de remoção de turbidez em cada ensaio utilizando o sulfato de alumínio e a solução de gel de chia.

**Tabela 7** - Remoção de turbidez (%) em cada ensaio, calculada a partir da equação 4, água bruta com turbidez igual a 114 UNT

Ensaio	Sulfato de Alumínio			Gel de Chia		
	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3
Ensaio 1	99,92	99,89	99,79	99,89	99,75	99,82
Ensaio 2	99,91	99,82	99,72	97,46	95,09	95,65
Ensaio 3	99,91	99,85	99,90	99,87	99,68	99,89
Ensaio 4	99,87	99,81	99,61	99,89	99,87	99,79
Ensaio 5	99,84	99,76	99,69	99,89	99,89	99,82
Média	99,89	99,83	99,74	99,41	98,85	98,89

**Fonte:** Próprio Autor

Verificou-se em todos os 5 (cinco) ensaios remoção de turbidez superior a 98% para os jarros em que foram adicionados o gel da chia (Tabela 7). Além disso, foi percebido ainda que entre as diferentes concentrações de chia a concentração de 2,0 g/L (Jarro 1) obteve maior eficiência de remoção, atingindo o percentual médio de 99,41%. No ensaio 3 por exemplo ocorreu uma redução da turbidez de 114 NTU para 0,12 NTU quando se utilizou a concentração de 2 g/L de chia, enquanto que a turbidez reduziu para 0,13 NTU e 0,15 NTU nas concentrações de 6 g/L (Jarro 2) e 10 g/L (Jarro 3) de solução gelatinosa de gel, respectivamente.

Com relação ao sulfato de alumínio, a dosagem mínima de 18,8 mg/L (Jarro 1) foi a que apresentou melhor resultado de remoção de turbidez, alcançando o percentual de 99,89%. Pode-se afirmar que em todos os ensaios os valores de turbidez da água decantada foram inferiores a 0,5 NTU e, portanto, atenderam ao VMP para esse parâmetro estabelecido pela Portaria MS N . 888/2021 (< 5 NTU). Esse trabalho apresentou melhores resultados de remoção de turbidez quando comparado com os resultados encontrados por Botelho (2020), no qual, o maior índice de remoção que a autora conseguiu foi de 86,39% para uma água bruta com um valor de turbidez de 126 NTU.

Uma informação ainda mais promissora é que no ensaio 5, quando se testou um volume menor de solução gelatinosa de chia, a solução de chia contendo apenas 2,5 mL do gel (Tabela 6) alcançou um percentual de remoção de 99,89% de turbidez, inferindo que para promover a coagulação de 1,5 L de água bruta com turbidez de 114 NTU um volume de 2,5 mL de gel com concentração de 2 g/L seria suficiente. Nota-se nesse mesmo ensaio que o sulfato de alumínio foi um pouco menos eficiente com uma remoção de 99,84%.

O pH da água bruta coletada no açude apresentou valor igual a 7,16 (Tabela 8). Na Tabela 8 nota-se que em todos os ensaios houve um pequeno aumento no pH da água decantada seja para a solução de gel de chia ou para o sulfato de alumínio. Desse modo, nota-se que o acréscimo foi pouco significativo, uma vez que o maior valor de pH alcançado foi 8,22 (Ensaio 2; Jarro 1; sulfato de alumínio), atendendo assim em todos os ensaios o intervalo estabelecido pela Portaria MS N. 888/ 2021 correspondente a faixa entre 6,0 e 9,0.

**Tabela 8-** pH da água decantada em cada ensaio, água bruta com pH igual a 7,16

Ensaio	Sulfato de Alumínio			Gel de Chia		
	Jarro 1	jarro 2	jarro 3	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3
Ensaio 1	7,99	8,11	7,91	7,89	7,88	8,13
Ensaio 2	8,22	8,05	7,93	7,6	7,69	7,75
Ensaio 3	8,03	7,98	7,99	7,73	7,67	7,77
Ensaio 4	7,9	8	8,11	7,82	7,85	7,9
Ensaio 5	7,88	8,07	7,79	7,95	8,07	8,1
Média	8,00	8,04	7,95	7,76	7,83	7,93

Fonte: Próprio Autor

Em relação à condutividade elétrica (ver Tabela 9), nota-se que em todos os jarros ocorreu uma redução da condutividade elétrica após o uso do coagulante, tanto para os que foram utilizados o sulfato de alumínio quanto para os de gel da chia. Para os jarros com sulfato de alumínio, a condutividade variou de 242  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para 229  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , enquanto que para os jarros com solução gelatinosa de chia, esse parâmetro variou entre 226  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 244  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Tabela 9 -** Condutividade elétrica da água decantada em cada ensaio, água bruta com condutividade igual a 249  $\mu\text{S}/\text{cm}$

Ensaio	Sulfato de Alumínio			Gel de Chia		
	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 1	jarro 2	jarro 3
Ensaio 1	242	241	237	226	232	234
Ensaio 2	238	240	240	231	233	230
Ensaio 3	230	239	241	239	239	234
Ensaio 4	234	237	229	241	236	240
Ensaio 5	233	239	240	244	239	240
Média	235,4	239,2	237,4	236,2	235,8	235,6

Fonte: Próprio Autor.

Para os sólidos totais dissolvidos ocorreram reduções pouco significativas, já que a água bruta já estava dentro do limite aceitável significativas (Tabela 10), apresentando em todos os ensaios seja para gel de chia ou sulfato de alumínio valores inferiores a 125 mg/L, atendendo o valor máximo permitido (< 500 mg/L) pela legislação de potabilidade.

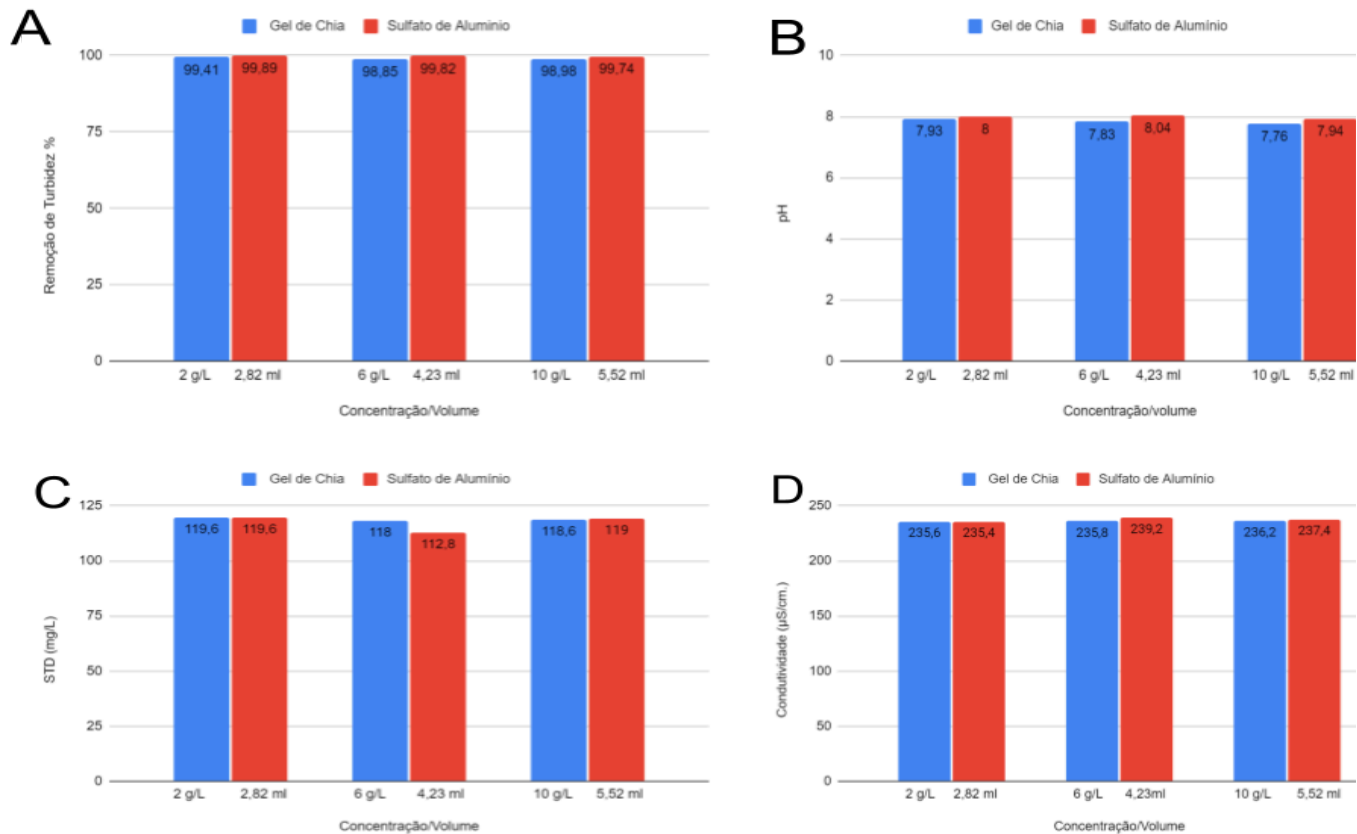
**Tabela 10** - Sólidos totais dissolvidos da água decantada em cada ensaio, água bruta com STD igual a 124 mg/L.

Ensaio	Sulfato de Alumínio			Gel de Chia		
	Jarro 1	jarro 2	jarro 3	Jarro 1	jarro 2	jarro 3
Ensaio 1	121	121	119	117	116	113
Ensaio 2	120	124	118	116	119	120
Ensaio 3	117	127	113	121	119	119
Ensaio 4	116	119	123	121	120	122
Ensaio 5	124	123	122	118	116	124
Média	119,6	122,8	119	118,6	118	119,6

**Fonte:** Próprio Autor.

A Figura 12 apresenta graficamente os resultados apresentados nas tabelas para os parâmetros remoção de turbidez, pH, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica para a água decantada após os ensaios com a solução de gel da chia e sulfato de alumínio.

**Figura 12** - Gráficos comparativos entre os coagulantes A) remoção de turbidez, B) alteração do pH após tratamento, C) alteração no Sólidos Totais Dissolvidos após o tratamento, D) alteração da condutividade elétrica após o tratamento.



Fonte: Próprio Autor.

No gráfico da Figura 12A é possível notar que a solução gelatinosa de chia apresentou eficiência de remoção de turbidez superior a 98,85% em todas as concentrações analisadas, sendo que a concentração de 2 g/L alcançou maior percentual de remoção (aproximadamente 99,41%). Com relação ao sulfato de alumínio, esse coagulante apresentou percentual de remoção de turbidez superior a 99,74% em todas as dosagens analisadas, evidenciando que a concentração mínima de 18,8 mg/L ( $V = 2,82$  mL) alcançou 99,89% de remoção de turbidez. Na Figura 12B percebe-se que houve um ligeiro aumento do pH da água bruta de 7,16 para 7,93, 7,83 e 7,76 nas soluções de gel de chia de 2 g/L, 6 g/L e 10 g/L, respectivamente. Ao passo que nos ensaios com sulfato de alumínio também ocorreu esse aumento do pH para valores próximos a 8. Os valores médios de sólidos totais dissolvidos após o tratamento para a solução gelatinosa de gel variou de 118 a 119,6 mg/L, enquanto para o sulfato de alumínio variou de 112,8 a 119,6 mg/L (Figura 12C). Com relação a condutividade elétrica, nota-se na

Figura 12D que houve uma pequena redução deste parâmetro nos ensaios, variando de 249  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para aproximadamente 235  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Os dados apresentados (tabela 11) evidenciam que do ponto de vista estatístico não ocorreu diferença significativa entre os ensaios utilizando o coagulante sulfato de alumínio e o gel da chia (TESTE TUKEY;  $p > 0,05$ ), podendo inferir que os coagulantes analisados apresentaram eficiências similares. Dessa forma, isso pode indicar que não houve mudança significativa nos valores das variáveis, turbidez, pH, condutibilidade elétrica e STD, nos jarros submetidos aos dois diferentes coagulantes.

**Tabela 11** - Resultado da análise de variância para turbidez (NTU), potencial hidrogeniônico (pH), condutibilidade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Sólidos Totais Dissolvidos - STD, (mg/L) 2024.

Fonte de variação	Turbidez	pH	Condutibilidade Elétrica	STD
Extrator	1,63 ns	8,31 **	0,01 ns	2,79 ns
Sulfato de alumínio	0,66 a	7,99 b	237,40 a	66,78 a
Chia	0,79 a	7,85 a	237,60 a	65,50 a
Vol/Conc	0,40 ns	1,26 ns	0,14 ns	0,62 ns
1	0,67 a	7,96 a	237,00 a	66,07 a
2	0,73 a	7,93 a	237,50 a	66,70 a
3	0,78 a	7,87 a	238,00 a	65,65 a
Extr x V/C	0,02 *	0,61 ns	1,63 ns	2,16 ns
CV	36,72	1,73	1,74	3,18

Fonte: Próprio Autor . CV (%) - coeficiente de variação; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; não significativo; letras iguais não diferem entre si.

**Fonte:** Próprio Autor .

Uma das características observadas que diferem o comportamento do sulfato de alumínio em relação ao gel da chia é o tamanho dos flocos formados após aplicação. Foi percebido que os jarros que foram aplicados o sulfatos de alumínio formaram-se flocos bem menores do que os jarros em que foram aplicados o gel da chia (Figura 13). Dessa forma, os flocos com as dimensões maiores sedimentam com maior velocidade uma vez que tem maior massa.

**Figura 13** - Diferença dos tamanhos dos Flocos formados pelo coagulante sintético (Sulfato de Alumínio) e pelo coagulante orgânico (Gel da Chia )



**Fonte:** Próprio Autor.

## 6. CONCLUSÃO

Ao final do estudo conclui-se que o gel da chia (*Salvia hispanica*) é uma alternativa com um alto potencial no processo de clarificação das águas do açude da comunidade de Lagoa do Mucambo, município de Malhada de Pedras, Bahia.

Com a caracterização da água do açude, observam concentrações superiores aos VMP pela Portaria N. 888/2021 do MS. Os parâmetros físico-químicos como, alumínio, ferro, arsênio, e turbidez (0,36 mg/L; 0,41mg/L ; 0,2 mg/L, 114 UNT) respectivamente e para o parâmetros microbiológico coliformes totais já que o indicado é a ausência, todavia notou-se uma concentração 8 (NMP/1000) , coincidente os mesmo parâmetros físico-químico descritos anteriormente possuem VPMs superiores ao disposta na CONAMA 357/2005 e Diretiva Europeia, a última possui um VPM menor para o parâmetro manganês, dessa forma esse parâmetros está em desacordo com o que estabelece no documento.

Buscou-se entender as concentrações elevados de alumínio na água do açude, investigou os sedimentos e o solo do entorno, todavia não foi possível obter resultados conclusivos, já que o sedimentos possuíam uma pequena quantidade do metal e o solo do entorno não possuir quantidades significativas, fica como sugestão para trabalhos futuros a investigação da origem do metal no solo, além da troca de cátions do metal do solo para a águas. Fica ainda como sugestão investigar as concentrações consideráveis de elemento arsênio nas águas do açude, uma vez que na região não possui pontos de poluição pontual que explique a dosagem.

A aplicação da solução gelatinosa de semente da chia como coagulante natural revelou um resultado promissor, com destaque para a concentração de 2,0 g/L que apesar de ser a menor concentração testada foi a que alcançou maior percentual de remoção de turbidez (99,4 %). Ressalta-se que o valor da turbidez da água bruta era de 114 UNT e após o processo de clarificação esse valor foi inferior a 0,5 UNT em todos os ensaios utilizando solução de chia e sulfato de alumínio, atendendo de forma satisfatória o VMP pela portaria de potabilidade. Destaca-se ainda que no ensaio 5 com um volume de apenas 2,5 mL da solução gelatinosa de chia com concentração de 2 g/L obteve-se um percentual de remoção igual a 99,89%, valor esse que foi maior que o alcançado pelo sulfato de alumínio para esse mesmo ensaio. Assim, em todos os ensaios utilizando a solução gelatinosa de chia o percentual médio de remoção de turbidez foi superior a 98%. Do ponto de vista estatístico, não houve diferença estatisticamente significativa entre os resultados apresentados pelo sulfato de alumínio e pela

solução gelatinosa de chia ( $p > 0,05$ ), indicando que ambos os coagulantes apresentam eficiências parecidas.

O pH da água do açude, após ser submetido ao processo de clarificação, apresentou um aumento. O maior aumento foi nas amostras submetidas ao sulfato de alumínio, a dosagem de 4,23 mL , elevou-se o pH de 7,16 (água bruta) para 8,04. Entre o jarros submetidos à solução gelatinosa da chia o maior aumento foi 7,93 isso para a concentração de 10 g/L

A condutividade elétrica após a clarificação foi reduzida para ambos os coagulantes , porém com o gel da chia foi maiores reduções foram alcançadas, a concentração de 6,00 g/L da chia foi a que observou maior redução na condutividade, também para os Sólidos dissolvidos totais obteve-se diminuições, para ambos o coagulantes os valores das diminuições foram semelhantes, exceto para o volume de 4,58 de sulfato de alumínio em que ocorreu uma redução no SDT de 124,00 mg/L na água bruta para 112.

## 7. REFERÊNCIAS

ACHARY, V. M. M.; PANDA, B. B. Aluminum-induced DNA damage and adaptive response to genotoxic stress in plant cells are mediated through reactive oxygen intermediates. **Mutagenesis**, v. 25, n. 2, p. gep 063–209, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil** Brasília: ANA, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Usos da Água: Abastecimento**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua/abastecimento>. Acesso em: 14 mar. 2024.

ALBERTI, G. *et al.* Aluminium speciation in natural water by sorption on a complexing resin. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v. 99, n. 9, p. 1779-1787, 2005. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2005.06.017

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20. ed. Washington: **American Public Health Association**; AWWA; WPCF, 1999. 1569 p.

ANDRADE, N. A. S. **Coagulantes de palma forrageira e os seus efeitos na turbidez e no potencial hidrogeniônico em tratamento de águas**. 2018. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2018.

BATHISTA, A. L. B. S. *et al.* Aplicações do polímero natural no tratamento de águas: baba do quiabo. Universidade Federal de Mato Grosso, 2001.

BEZERRA, A. M. E. *et al.* Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 295-299, 2004.

BOCCATO, V. R. C. Metodologia da pesquisa bibliográfica na área odontológica e o artigo científico como forma de comunicação. **Rev. Odontol.** Univ. Cidade de São Paulo, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 265-274, 2006.

BONTON, A.; BOUCHARD, C.; BARBEAU, B.; JEDRZEJAK, S. **Comparative life cycle assessment of water treatment plants**. Desalination 2012.

BOTELHO, I. C. **Análise da Eficiência da Mucilagem de Chia como Coagulante Orgânico no Tratamento de Água para o Abastecimento**. 2020. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, PR, 2020.

BRANDT, C.R. et al. Caracterização físico-química da água potável de diferentes prédios do Centro Universitário UNIVATES. **Revista Destaques Acadêmicos**. v.7, n. 4, p. 141-149, 2015.

BRASIL, Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Acesso em: 26 de agosto. de 2024

BRASIL. **Constituição da República Federativa**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília, DF: ANA, 2011. 326p. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1rmrPCvX7XdCYA0sjrSDGIeUJu1Vm3ges/view?usp=sharing>. Acesso em: 09 abr. 2024.

BRASIL. Lei nº 9.433, Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos . **Diário Oficial da União** . seção 1, Brasília, DF, p. 1-14, 9 jan. 1997. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm). Acesso em: 27 ago. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 888, de 7 de abril de 2021**. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Saúde Brasil 2014: Uma análise da situação de saúde e das causas externas**. Brasília: Ministério da Saúde, 2015.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. Brasília, DF, 2020e. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos>. Acesso em: 27 jan. 2021

BRITO, K.P. **Qualidade da água de poços artesianos das comunidades rurais Aroeiras e Pau Ferro em São José de Piranhas-PB**. Cajazeiras, 2019. Monografia (Licenciatura em Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2019.

BUSHWAY, A. A. *et al* . Chia Seed as a Source of Oil, Polysaccharide, and Protein. **Journal of Food Science**. v. 46, n. 5, p. 1349–1350, 1981.

CARDOSO, M. **Efeito do tipo de coagulante na produção de lodo de estação de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.

CASALI, C. A. **Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

CETESB. Amostragem e monitoramento de águas subterrâneas: norma CETESB, 1988. In: LOPES, A. G. et al. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. 2.ed. São Paulo, 2001. Parte 6410. Projeto CETESB-GTZ. Apresenta texto na íntegra da Norma Técnica CETESB O6.010/abr.1988, revogada pela Decisão de Diretoria nº 281/2016/P, de 20 dez. 2016.

CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB, 2011.

CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB, 2011.

CHAPMAN, D. **Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring** - Second Edition. 2nd ed. London: E&FN Spon - Chapman & Hall, 1996.

CHAU, N.; BENAMGHAR, L.; PHAM, Q. T.; et al. Mortality of iron miners in Lorraine (France): relations between lung function and respiratory symptoms and subsequent mortality. **British journal of industrial medicine**, v. 50, n. 11, p. 1017–1031, 1993.

COELHO, S.C. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. **Rev. Ambient. Água** [online]. 2017, vol.12, n.1, p.156-167.

CRUZ, P. *et al.* Estudo comparativo da qualidade físico-química da água no período chuvoso e seco na confluência dos rios Poti e Parnaíba em Teresina/PI. In: Congresso de pesquisa e inovação da rede norte nordeste de educação tecnológica, 2., 2007, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa, PB: CONNEPI, 2007

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. Ediciones Omega (I e II): Barcelona, 1983.

Diretiva - 2020/2184 - EN - EUR-Lex. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32020L2184>>.

DUAN, J.; GREGORY, J. Coagulation by hydrolysing metal salts. **ScienceDirect**, Adelaide, v. 102, n. 4, p. 475- 502, 28 fev. 2003 DOI: [https://doi.org/10.1016/S0001-8686\(02\)00067-2](https://doi.org/10.1016/S0001-8686(02)00067-2). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001868602000672?via%3Dihub>. Acesso em: 27 ago. 2024.

FERREIRA FILHO, SIDNEY SECKLER. **Tratamento de Água Conceção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento**. Rio de Janeiro : Elsevier, 2017. *E-book* (23p.) color. ISBN: 978-85-352-8810-0. Disponível em: <https://www.ppgec.poli.usp.br/wp-content/uploads/sites/277/2017/09/Tratamento-de-%C3%81gua-E-sample-5-1.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.

FERREIRA, T. G. **Avaliação do Desempenho de Cactos da Espécie Opuntia Ficus-indica como Coagulante no Tratamento de Água**. 2015. Monografia ( Graduação em Tecnologia em Processos Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2015.

FIGUEIREDO, M. T. S. *et al.* Tratamento de Água Utilizando Extrato de Sementes de Moringa Oleifera: **Revisão Integrativa**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, 2022.

FIORILLO, C. A. P. **Curso de direito ambiental brasileiro**. 18. ed. São Paulo : Saraiva, 2018. Disponível em: <https://livrariapublica.com.br/livros/curso-de-direito-ambiental-brasileiro-21-a-edicao-2021-calso-antonio-pacheco-fiorillo/>. Acesso em: 20 ago. 2024.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 2 v. 457 p. Disponível

em:[https://www.academia.edu/40298749/Abastecimento\\_de\\_agua\\_para\\_consumo\\_humano\\_volumen](https://www.academia.edu/40298749/Abastecimento_de_agua_para_consumo_humano_volumen). Acesso em: 02 dez. 2023.

IBGE. **Cidades e estados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/malhada-de-pedras.html> Acesso em: 19 mai. 2024.

IRIGARAY, M. C.; PES, H. F. O Desafio da Universalização do Direito de Acesso À Água: A Necessária Tutela Administrativa Efetiva De Um Direito Fundamental Social. *In: VIII Jornada da Rede Interamericana de Direitos Fundamentais e Democracia.*, 1., 2021, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba, PR: Disponível em: [https://www.fundarfenix.com.br/\\_files/ugd/9b34d5\\_4f29e5d729ff4b56b1e01b127bc9934a.pdf](https://www.fundarfenix.com.br/_files/ugd/9b34d5_4f29e5d729ff4b56b1e01b127bc9934a.pdf)

JOMOVA, K.; JENISOVA, Z.; FESZTEROVA, M.; et al. Arsenic: toxicity, oxidative stress and human disease. **Journal of Applied Toxicology**, v. 31, p. 95-107, 2011.

KATAYOUN, S. *et al.* Effects of storage conditions of Moringa oleifera seeds on its performance in coagulation. **Bioresource Technology**, v. 97, p.1455-1460, 2006.

KUMAR, V.; GILL, K. D. Oxidative stress and mitochondrial dysfunction in aluminum neurotoxicity and its amelioration: A review. **NeuroToxicology**, v. 41, p.154-166, 2014.

LAPOINTE, M.; BARBEAU, B. Understanding the roles and characterizing the intrinsic properties of synthetic vs . natural polymers to improve clarification through interparticle Bridging : A review. **Separation and Purification Technology**, v. 231, p. 885-893, 2020.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2ª Edição. Campinas. Editora Átomo. 2008.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

LIMA JUNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. 2018. Rev. **Virtual Quim**, v. 10, p. 709-735, 2018.

LIMA, P. et al. Genotoxic effects of aluminum, iron and manganese in human cells and experimental systems: A review of the literature. **Human & Experimental Toxicology**, v. 30, n. 10, p. 1435–1444, 2011.

LIMA, G. J. A. **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

LOPES, A. C. **Mucilagem de chia e sua utilização no processamento de biscoito salgado isento de glúten**. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina/PR, 2017.

LOPES, B. V. **Eficiência de coagulantes na remoção de diferentes concentrações de ferro e manganês para ETA Terras Baixas**. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitarista) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014

MADRONA, G. S. **Extração/purificação do composto ativo da semente da Moringa oleifera Lam e sua utilização no tratamento de água para consumo humano**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR, 2010.

MAGALHÃES, A. J. A. **Análise dos Fatores Ambientais Indutores e Predição da Ocorrência de Florações de Cianobactérias em Mananciais Para Abastecimento Humano: Um Estudo no Rio Joanes-Ba**. 2018. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento) - Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA, 2018.

MARTINEZ, F. L. **Taninos vegetais e suas aplicações**. Havana: Universidade de Havana, Cuba, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 1996.

MARTINEZ, M. B.; TRABULSI, L. R. Enterobacteriaceae. In: TRABULSI, L. R.; ALTERTHUM, F. editores. **Microbiologia**. São Paulo: Atheneu, 2008. p. 271-279

MELO, L. D. V. *et al.* Adequabilidade do tratamento convencional de água considerando a turbidez e a cor das águas naturais em ETAs de pequeno porte utilizando Análise de Cluster (AC). In: Congresso Internacional RESAG, 3, 2017, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: RESAG, 2017.

MENDONÇA, M.H.M. e col. Bacteriological analysis of drinking water sold by water tank trucks. **Rev. Ambient. Água** [online]. 2017, vol.12, n.3, p.468-475.

MIGUEL, F. C. *et al.* Sementes de Moringa oleifera: coagulante natural utilizado no tratamento de efluente de lavanderia têxtil, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE, 5., 2017. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: CONGESTAS, 2017.

MORAIS, D.D. **Eficiência da redução de turbidez de águas superficiais com o uso de polieletrólitos naturais como auxiliares de floculação.** 2012. Monografia, (Graduação em Engenharia Ambiental ) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso. Cuiabá/MT, 2012.

MOREIRA, R. G. **Utilização de Taninos Vegetais como Inibidores de Corrosão em Aço Carbono.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2020.

NDACIGENGESERE, A. *et al.* Active agents and mechanism of coagulation of turbid water using Moringa oleifera. **Water Res.** v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995.

NOGUEIRA, F. C. B. **Sementes de Moringa e pó do quiabo no tratamento de efluente sanitário.** 2012. Dissertação ( Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade José do Rosário Vellano. Alfenas/MG, 2012.

NTIBREY, R. A. K. *et al.* Antimicrobial and coagulation potential of Moringa oleifera seed powder coupled with sand filtration for treatment of bath wastewater from public senior high schools in Ghana. **Jour. List**, v. 6, n. 8, e. 04627, 2020.

OKUDA, T.*et al.* Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seed. **Water Res**, v. 33, n. 15, p. 3373-3378. 1999.

OLADOJA, N. A. Headway on natural polymeric coagulants in water and wastewater treatment operations. **Journal of Water Process Engineering**, Nigeria, v. 6, p. 174- 192, 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS . **Relatório Anual das Nações Unidas no Brasil 2021.** Disponível em:

<<https://brasil.un.org/pt-br/177803-relat%C3%B3rio-anual-das-na%C3%A7%C3%B5es-unidas-no-brasil-2021>>. Acesso em: 22 ago. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **46% da população global vive sem acesso a saneamento básico.** Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2023/03/1811712#:~:text=Em%20um%20planeta%20com%208%20bilh%C3%B5es%20de%20habitantes%2C>>. Acesso em: 22 ago. 2024.

ORLOFF, K.; MISTRY, K.; METCALF, S. Biomonitoring for Environmental Exposures to Arsenic. **Journal of Toxicology and Environmental Health-Part B-Critical Reviews**, v. 12, n. 7, p. 509–524, 2009.

OSIBANJO, O.; DASO, A. P.; GBADEBO, A. M. The impact of industries on surface water quality of River Ona and River Alaro in Oluyole Industrial Estate, Ibadan, Nigeria. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 696–702, 2011.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água.** Colombo, PR: Embrapa Florestas, ago. 2011. 69p. (Documentos, 232). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57612/1/Doc232ultima-versao.pdf>. Acesso em: 18 Mai. 2024.

PEREIRA, T. I. O. *et al.* Uso da Mucilagem do Quiabo como Agente Floculante no Tratamento da Água do Rio Amazonas. **XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, Belo Horizonte-MG, 2019.

POHLING, R. **Reações Químicas na Análise de Água.** Fortaleza, CE: Arte Visual Gráfica e Editora Ltda., 2009.

QUESADA, H. B. *et al.* Influência da Concentração e do Tempo de Sedimentação no Uso de *Abelmoschus Esculentus* (L.) Moench (quiabo) como Auxiliar Floculação. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer– Goiânia, v.16, n. 29, p.2373-2382, 2019.

RICHTER, C. **Água: métodos e tecnologia de tratamento.** 1ed, São Paulo: Blucher, 2009.

RODRIGUES, M. F. **Avaliação da eficiência de coagulantes e floculantes na remoção de fósforo em efluentes de frigorífico de suínos**. 2016. Monografia (Graduação em Engenheiro Ambiental e Sanitarista) – Universidade Federal de Pelotas. Pelotas/RS, 2016.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente ) - Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa, 2011.

SANTOS, H. G. dos. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018. 256p.

SILVA FILHO, E. D. DA. *et al.* A. Estudo da qualidade físico-química e microbiológica da água de poço tubular situado no sítio alegre no município de Lagoa Seca-PB. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 1, p. 1-8, 2019.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SORIANI, M. **Eficiência da Moringa oleífera como coagulante natural em solução salina para água de abastecimento**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

SOUZA, S. R.; SOUSA, E. O. Potabilidade da água de cacimbas: estudo de caso em um distrito da cidade de Barro, Ceará. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering** v. 14(4) 321- 328, 2020.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2005. 452 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.1).

SYSTAT SOFTWARE Inc. SigmaPlot for windows, version 12. 2011.

TAWAKKOLY, B. *et al.* Evaluation of COD and turbidity removal from compost leachate wastewater using *Salvia hispanica* as a natural coagulant. **Industrial Crops And Products**, v. 137, p.323-331, 2019.

TEIXEIRA, M. R. *et al.* Green technologies for cyanobacteria and natural organic matter water treatment using natural based products. **Journal of Cleaner Production**, p.162-484, 2017.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos no Brasil, problemas, desafios e estratégias para o futuro. **Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, p.5-38, 2014.

UNICEF. Progress on drinking water, sanitation and hygiene 2000–2017. Disponível em: <https://www.unicef.org/media/55276/file/Progress%20on%20drinking%20water,%20sanitation%20and%20hygiene%202019%20.pdf>. Acesso em: 29 de agosto. 2024.

VAZ, L. G. L. *et al.* Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, p. 45–54, 2010.

VIVE, V. A. *et al.* Aplicação do coagulante tanino no tratamento da vinhaça em ph neutro. **Revista Eletrônica Fórum Ambiental da Alta Paulista**, São Paulo, v. 9, n. 11, p. 569-574, 2013.