

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**MARIANA FERNANDES ALVES**

***MORINGA OLEIFERA* E SULFATO DE ALUMÍNIO APLICADOS COMO  
COAGULANTES AO ESGOTO SANITÁRIO – ANÁLISE DO EFLUENTE  
TRATADO E DO LODO RESIDUAL**

**LONDRINA**

**2023**

**MARIANA FERNANDES ALVES**

**MORINGA OLEIFERA E SULFATO DE ALUMÍNIO APLICADOS COMO  
COAGULANTES AO ESGOTO SANITÁRIO – ANÁLISE DO EFLUENTE  
TRATADO E DO LODO RESIDUAL**

**MORINGA OLEIFERA AND ALUMINUM SULFATE APPLIED AS COAGULANTS  
TO SANITARY SEWAGE – ANALYSIS OF TREATED EFFLUENT AND RESIDUAL  
SLUDGE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador (a): Edilaine Regina Pereira.

**LONDRINA**

**2023**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**MARIANA FERNANDES ALVES**

***MORINGA OLEIFERA* E SULFATO DE ALUMÍNIO APLICADOS COMO  
COAGULANTES AO ESGOTO SANITÁRIO – ANÁLISE DO EFLUENTE  
TRATADO E DO LODO RESIDUAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Data de aprovação: 05/12/2023

---

Joseane Debora Peruço Theodoro  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Alessandra Furtado da Silva  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Edilaine Regina Pereira  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**LONDRINA**

**2023**

Dedico este trabalho à minha família, e a todos que me auxiliaram durante a realização deste estudo.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Vera Lucia Fernandes e Josué Alves que não cessaram esforços para investirem na minha graduação, abriram os caminhos para que fosse possível finalizar essa etapa, acreditaram no meu potencial quando nem eu acreditei, me apoiaram e não me deixaram desistir nos momentos mais difíceis. Também agradeço ao meu irmão Tiago Fernandes pelas ajudas prestadas durante esses anos. À minha avó Nailza pelas orações que iluminaram meu caminho e aos demais familiares que de alguma maneira me auxiliaram.

A minha orientadora Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Edilaine Regina Pereira pelos anos de trabalho, parceria, pelas conversas construtivas, conselhos e principalmente por confiar e acreditar na minha dedicação.

Aos amigos do início da graduação, Giovanni Pagani, Victória Guimarães e Ana Flavia Moreira, por tornarem mais leves e divertidas as dificuldades daquele momento.

Ao meu colega de iniciação científica, Higor Nunes agradeço pela parceria durante os experimentos laboratoriais, pelo companheirismo nesses semestres finais da graduação e pelas conversas que minimizavam nossos medos e preocupações.

Agradeço ao aluno Rennan Ferreira e a mestranda Vitória Padilha pela ajuda nos ensaios laboratoriais para realização deste trabalho.

Ao meu namorado, Alexandre Komatsu pela ajuda nos ensaios laboratoriais, por acreditar em no meu potencial e por todo o suporte nos momentos difíceis.

Ao técnico do laboratório Thiago Marques Andrade, por me auxiliar durante as semanas em que realizei meu trabalho de conclusão de curso, sanando as dúvidas que surgiam e pelo suporte na realização de algumas metodologias.

Gostaria de agradecer também ao Laboratório Multiusuário de Apoio à Pesquisa da UTFPR Campus Apucarana (LAMAP), pela disponibilidade na realização das análises necessárias.

Além disso, agradeço a todos os professores, profissionais e demais colegas que passaram pela minha trajetória nesses anos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pessoas que dedicaram tempo e compartilharam conhecimento.

Essa conquista não seria possível sem o auxílio de cada um de vocês, deixo registrado o meu muito obrigada!

## RESUMO

O esgoto sanitário é formado pelas águas do esgoto doméstico, industrial e das redes fluviais. Possui em sua composição menos de 1% de sólidos, que influenciam nos aspectos físicos, químicos e biológicos do efluente, refletindo conseqüentemente na composição do lodo residual do processo, composto de matéria orgânica à metais pesados. Os coagulantes utilizados durante o tratamento também influenciam na composição do lodo de esgoto. Ao utilizar coagulantes inorgânicos o lodo tende a apresentar metais remanescentes, dificultando a reutilização, enquanto, coagulantes orgânicos produzem um volume maior de matéria orgânica, potencializando os processos de biodegradabilidade. Visando comparar a aplicação do coagulante orgânico *Moringa oleifera* e o coagulante inorgânico Sulfato de Alumínio ao efluente de esgoto sanitário, realizou-se o tratamento por meio do teste de jarros, onde foram simulados os processos de coagulação, floculação e sedimentação. Para as amostras do efluente tratado foram avaliados os parâmetros: pH, condutividade elétrica, turbidez, cor aparente e demanda química de oxigênio (DQO). O pH apresentou pouca variação quando comparado com o valor bruto. A condutividade elétrica foi influenciada pelo uso do coagulante *Moringa oleifera*. Para a remoção de turbidez o melhor resultado foi obtido com o coagulante orgânico, o qual obteve taxa superior a 70%, enquanto o tratamento com Sulfato de Alumínio finalizou o tratamento com 44,75%. Da mesma maneira o tratamento com *Moringa oleifera* atingiu a melhor remoção para a cor aparente, tendo ao final do ensaio taxa de remoção próxima a 91%, já o tratamento com Sulfato de Alumínio obteve remoção próxima a 70%. Já para a remoção de DQO os dois tratamentos apresentavam valores próximos a 90%. Os resultados obtidos foram comparados com as legislações pertinentes e submetidos à análise estatística ANOVA. O lodo gerado durante o teste de jarros, foi seco em estufa, submetido a digestão ácida e em seguida analisado por meio da espectrometria de absorção atômica com atomização em chama, para determinação dos metais pesados Cádmio, Cromo, Chumbo, Zinco e Níquel. Em comparação com o lodo bruto, tem-se que a concentração de cromo foi a única que apresentou redução tanto para o tratamento com coagulante orgânico, quanto com o inorgânico. Desta maneira, o coagulante orgânico demonstrou-se viável ao tratamento do efluente de esgoto sanitário, já em relação a presença de metais pesados no lodo, não foi possível analisar a eficiência na redução da concentração.

Palavras-chave: efluente, lodo de esgoto; metais pesados; *Moringa oleifera*; Sulfato de Alumínio.

## ABSTRACT

Sanitary sewage is formed by water from domestic and industrial sewage and river networks. Its composition contains less than 1% solids, which influences the physical, chemical, and biological aspects of the effluent, consequently reflecting on the composition of the process's residual sludge, composed of organic matter and heavy metals. The coagulants used during treatment also influence the composition of the sewage sludge. When using inorganic coagulants or sludge, it tends to have remaining metals, making reuse difficult, while organic coagulants produce a greater volume of organic matter, enhancing biodegradability processes. Aiming to compare the application of the organic coagulant *Moringa oleifera* and the inorganic coagulant Aluminum Sulfate to sanitary sewage effluent, the treatment was carried out using the jar test, where the coagulation, flocculation, and sedimentation processes were simulated. The treated effluent samples, the following parameters were evaluated: pH, electrical conductivity, turbidity, apparent color, and chemical oxygen demand (COD). The pH showed little variation when compared to the raw value. Electrical conductivity was influenced by the use of *Moringa oleifera* coagulant. For the removal of turbidity, the best result was obtained with the organic coagulant, which obtained rates above 70%, while the treatment with Aluminum Sulfate ended the treatment with 44.75%. Likewise, the treatment with *Moringa oleifera* achieved the best removal for apparent color, with a removal rate close to 91% at the end of the test, while the treatment with Aluminum Sulfate achieved removal close to 70%. As for COD removal, both treatments presented values close to 90%. The results obtained were compared with the relevant legislation and examined using ANOVA statistical analysis. The sludge generated during the jar test was dried in an oven, subjected to acid digestion, and then analyzed using atomic absorption spectrometry with flame atomization, to determine the heavy metals Cadmium, Chromium, Lead, Zinc, and Nickel. Compared to raw sludge, the chromium concentration was the only one that showed a reduction both for treatment with organic and inorganic coagulants. Therefore, the declared organic coagulant is viable for the treatment of sanitary sewage effluent, whereas, about the presence of heavy metals in the sludge, it was not possible to analyze the efficiency in reducing the concentration.

Keywords: effluent, sewage sludge; heavy metals; *Moringa oleifera*; Aluminum sulfate.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Árvore <i>Moringa oleifera</i> .....	21
Figura 2 - Figura 2 – <i>Moringa oleifera</i> : (a) vagem e (b) semente com casca.....	22
Figura 3 - Mecanismo de extração da proteína da <i>Moringa oleifera</i> .....	23
Figura 4 - Fluxograma metodológico das etapas envolvidas no experimento ..	28
Figura 5 - Soluções coagulantes (a) Sulfato de Alumínio e (b) <i>Moringa oleifera</i> .....	29
Figura 6 - Equipamento Jar test.....	30
Figura 7 - Ensaio Cone Imhoff.....	31
Figura 8- Secagem: (a) pré secagem, (b) pós secagem, (c) maceração da amostra e (d) amostra triturada .....	32
Figura 9 - Digestão ácida amostra de lodo. ....	33
Figura 10 – Produtos das digestões: primeira digestão (esquerda) e segunda digestão (direita) .....	34
Figura 11 – Espectrômetro ICE 3000 .....	35
Figura 12 – Variação do pH .....	36
Figura 13 – Comportamento da condutividade elétrica .....	38
Figura 14 – Porcentagem de eficiência de remoção de turbidez .....	39
Figura 15 – Taxa de eficiência de remoção de cor aparente .....	41
Figura 16 – Porcentagem de eficiência de remoção de DQO .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições e padrões de lançamento de efluente oriundo de sistemas de tratamento de esgoto sanitário.....	18
Tabela 2 – Limites máximos de concentração para lodos de esgoto e produtos derivados .....	27
Tabela 3 - Parâmetros analisados para o esgoto tratado .....	31
Tabela 4 - Caracterização do efluente de esgoto sanitário bruto .....	36
Tabela 5 - Resultados estatísticos apresentados para o parâmetro turbidez após análise ANOVA.....	40
Tabela 6 – Comparação das médias de remoção de turbidez.....	41
Tabela 7 - Resultados estatísticos apresentados para o parâmetro cor aparente após análise ANOVA.....	42
Tabela 8 - Comparação das médias de cor aparente para cada coagulante.....	43
Tabela 9 Comparação das médias de cor aparente em relação aos tempos.....	43
Tabela 10 - Resultados estatísticos apresentados para o parâmetro DQO após análise ANOVA .....	45
Tabela 11 - Concentração dos metais nas amostras de lodo de esgoto.....	45
Tabela 12 - Concentração médias dos metais nas amostras de lodo de esgoto .....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ITE	Indicador de Coleta Total de Esgoto
IUT	Indicador de Coleta Urbana de Esgoto
LES	Lodo de Esgoto Sanitário
pH	Potencial Hidrogeniônico
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## LISTA DE SÍMBOLOS

Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de cálcio
Cd	Cádmio
Cr	Cromo
KCl	Cloreto de potássio
NaCl	Cloreto de sódio
Ni	Níquel
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
mg/Kg	Miligrama de metal por quilograma de massa seca de lodo
mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup>	Miligrama de oxigênio por litro
mgPtCo.L <sup>-1</sup>	Miligrama de platino-cobalto por litro
mS.cm <sup>-1</sup>	MiliSiemens por centímetro
t	Tempo de sedimentação
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Saneamento no Brasil</b> .....	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Esgoto sanitário</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>Tratamento esgoto sanitário</b> .....	<b>17</b>
3.3.1	Tratamento físico/ químico .....	18
<u>3.3.1.1</u>	<u>Coagulação</u> .....	<u>18</u>
<u>3.3.1.2</u>	<u>Floculação</u> .....	<u>19</u>
<u>3.3.1.3</u>	<u>Sedimentação</u> .....	<u>20</u>
<b>3.4</b>	<b>Coagulantes utilizados no tratamento físico/químico</b> .....	<b>20</b>
3.4.1	Coagulante orgânico .....	21
<u>3.4.1.1</u>	<u><i>Moringa oleifera</i></u> .....	<u>21</u>
3.4.2	Coagulante inorgânico .....	24
<u>3.4.1.2</u>	<u>Sulfato de alumínio</u> .....	<u>24</u>
<b>3.5</b>	<b>Lodo de esgoto</b> .....	<b>25</b>
3.5.1	Metais pesados .....	26
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Local da coleta e do ensaio experimental</b> .....	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>Soluções coagulantes</b> .....	<b>30</b>
<b>4.3</b>	<b>Pré ensaio</b> .....	<b>30</b>
<b>4.4</b>	<b>Ensaio Laboratorial - Jar test</b> .....	<b>31</b>
<b>4.5</b>	<b>Parâmetros e análise estatística</b> .....	<b>32</b>
<b>4.6</b>	<b>Preparação e digestão das amostras de lodo e análise de metais</b> ..	<b>33</b>
<b>4.7</b>	<b>Espectrometria de Absorção Atômica com chama (FAAS)</b> .....	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>37</b>
<b>5.1</b>	<b>pH</b> .....	<b>37</b>
<b>5.2</b>	<b>Condutividade elétrica</b> .....	<b>38</b>
<b>5.3</b>	<b>Turbidez</b> .....	<b>40</b>
<b>5.4</b>	<b>Cor aparente</b> .....	<b>42</b>
<b>5.5</b>	<b>DQO</b> .....	<b>44</b>

<b>5.6</b>	<b>Concentração de metais no lodo gerado no tratamento físico/químico .....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no ano de 2021 no Brasil, cerca de 16% dos brasileiros não possuíam acesso ao sistema de abastecimento de água, enquanto 44% da população nacional não tinha acesso à serviços de esgotamento sanitário (BRASIL, 2022). Diante disso, os danos causados ao meio ambiente devido a defasagem no saneamento básico instigaram a necessidade de estabelecer cuidados em relação ao tratamento e a destinação de esgoto.

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) tem como principal objetivo a diminuição dos impactos ambientais nos corpos hídricos receptores e a melhoria da saúde pública. Porém observa-se que a operação da ETE pode gerar impactos ambientais negativos, quando operada inadequadamente, como a poluição do solo, eutrofização pelos lançamentos de efluentes fora do padrão vigente, além da geração do lodo, resíduos e rejeitos sólidos (FAJARDO, 2019).

Os lodos residuais das ETEs no Brasil possuem o aterro sanitário como destinação final na maioria das situações, considerado uma solução segura ao meio ambiente, porém, não descarta o risco de contaminações do solo e da água, além do elevado custo. Portanto, outras alternativas vêm sendo estudadas e aplicadas ao lodo de esgoto, uma vez que, devido as suas características possui algumas restrições, não sendo possível utilizar em pastagens e cultivo de tubérculos e raízes. Todavia podem ser utilizados como fertilizantes em agriculturas florestais, já que esse material possui uma elevada carga de matéria orgânica após os processos de tratamento do efluente de esgoto sanitário (AFÁZ, et al., 2017).

Mesmo a aplicação de lodo de esgoto apresentando viabilidade, Andreoli (1999) destaca que para o cenário agrícola há riscos na sua utilização, já que em sua composição estão presentes metais pesados, como o Cádmio, Cobre, Zinco e Níquel, além de micropoluentes orgânicos, agentes patogênicos, fungos e bactérias que afetam diretamente os aspectos sanitários.

Os coagulantes aplicados no processo do tratamento físico-químico do efluente doméstico, pelas etapas de coagulação, floculação e sedimentação, influenciam diretamente na caracterização do lodo. A utilização do coagulante inorgânico Sulfato de Alumínio apresenta alumínio remanescente, tanto no efluente, quanto no lodo o

que dificulta o descarte, devido as possíveis contaminações e acúmulo de dado metal (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI; 2009).

Como alternativa ao tratamento convencional, tem-se estudado o uso de coagulantes orgânicos no processo de tratamento físico/químico das ETEs, já que proporcionam um melhor aproveitamento e recuperação do lodo primário, pois a utilização desses coagulantes gera um volume maior de matéria orgânica, possibilitando e facilitando o processo de biodegradabilidade (RENAULT et al., 2009). Entre os coagulantes orgânicos, a *Moringa oleifera* é aplicada ao tratamento de águas residuais devido ao potencial coagulante presente na proteína de suas sementes (OLIVEIRA, 2014).

Diante disso, este trabalho tem como objetivo analisar e comparar os coagulantes Sulfato de Alumínio e *Moringa oleifera* quando aplicados ao efluente de esgoto doméstico durante o tratamento físico/químico, por meio dos processos de coagulação, floculação e sedimentação, além de avaliar a presença dos metais pesados Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Níquel (Ni) no lodo gerado a partir destes tratamentos.



## 2 OBJETIVOS

A pesquisa teve como objetivo avaliar o tratamento de efluente sanitário pelo processo de coagulação/floculação/sedimentação a partir da aplicação dos coagulantes *Moringa oleifera* e Sulfato de Alumínio e inorgânico e analisar a concentração dos metais Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Níquel (Ni) presentes no lodo gerado.

### 2.1 Objetivo específico

- Avaliar no efluente tratado os parâmetros pH, condutividade elétrica, turbidez, cor aparente e demanda química de oxigênio (DQO);
- Determinar a concentração dos metais Cd, Cr, Pb, Zn e Ni no lodo por meio do Espectrofotômetro de Absorção Atômico com atomização em chama.

### **3 REFERÊNCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Saneamento no Brasil**

O desenvolvimento do saneamento básico ocorreu de maneira lenta e gradual durante a evolução das sociedades. Até 2015 menos da metade da população possuía rede de esgoto no Brasil. Porém, entende-se que o saneamento básico está vinculado ao desenvolvimento de um país, por isso as pesquisas brasileiras estão se desenvolvendo nesta área cada vez mais e colocando o assunto em pauta nas discussões (HELLER et al, 2018; BRASIL, 2016)

Em 2022, 69,5% dos domicílios brasileiros possuíam esgotamento sanitário em rede geral/rede pluvial ou fossa séptica ligada a rede, os demais municípios eram atendidos por meio de fossa séptica não ligada a rede, fossa rudimentar, lançamentos diretos em rio, lago, córrego ou mar ou ainda outras formas de destinações. A região norte possuía o menor percentual de atendimento em rede geral ou fossa séptica ligada a rede, com uma taxa de 31,1%, em contrapartida a região sudeste liderava com 89,1%. Ao comparar os domicílios urbanos aos rurais, a situação era discrepante, a diferença entre o esgotamento adequado com as demais formas de destinações ultrapassava 65% (IBGE, 2023).

Neste mesmo cenário, o Instituto Trata Brasil em parceria com a GO Associados publicou em 2023 o 15º Ranking de Saneamento, trazendo dados do SNIS referente ao ano de 2021. O estudo analisou 100 cidades brasileiras por meio do Indicador de Coleta Total de Esgoto (ITE) e o Indicador de Coleta Urbana de Esgoto (IUE). O ITE em 2021 apresentou uma taxa de 75,69% não apresentando grandes avanços quando comparado com o ano anterior, já o IUE no mesmo ano obteve um índice de 77,80%, o qual apresentou um lento avanço quando contraposto a taxa observada em 2020, dentre os municípios analisados (TRATA BRASIL, 2023). Desta maneira, nota-se que a coleta de esgoto nas regiões urbanas (IUE) apresenta taxa de coleta ligeiramente superior quando comparado a coleta total (ITE).

#### **3.2 Esgoto sanitário**

Entende-se por esgoto sanitário a combinação dos despejos advindos dos esgotos doméstico e industrial, a contribuição das redes pluviais e a água de infiltração (TONETTI et al., 2018).

O esgoto sanitário é constituído por 99,9% de água e 0,01% de sólidos, caracterizados pela presença de matéria orgânica, resíduos e nutrientes (BRASIL, 2022). Dessas substâncias presentes na composição, tem-se como origem vertentes físicas, químicas e biológicas. Em relação às características físicas, destaca-se o teor de matéria sólida, a temperatura, o odor resultante dos processos de decomposição, a cor e a turbidez. Já o aspecto químico é dividido em matéria orgânica, composta por proteínas, carboidratos, gorduras, surfactantes, fenóis e por substâncias inorgânicas, representadas pelos compostos minerais, sólidos em suspensão e partículas dissolvidas. Além disso, tem-se a presença de nitrogênio e fósforo, que quando lançados em excesso nos corpos hídricos podem ocasionar o processo de eutrofização. As bactérias, protozoários, fungos, vírus e algas compõe o aspecto biológico presente no esgoto sanitário (FUNASA, 2019).

O lançamento do esgoto sanitário em mananciais sem prévio tratamento, pode acarretar graves danos ambientais, devido a sua composição química, física e biológica, vinculado a vazão tanto do lançamento de esgoto, quanto dos corpos receptores, afetando o aspecto visual e a sobrevivência da biota aquática (NOVULARI, 2011).

Desta maneira, faz-se necessário o tratamento do esgoto sanitário, de maneira que atenda os parâmetros legais de lançamento de efluente, de acordo com o enquadramento e a classificação dos corpos d'água.

### **3.3 Tratamento de esgoto sanitário**

Um dos arranjos tecnológicos do sistema de esgotamento sanitário pode receber águas residuais domésticas e industriais, água de infiltração e águas fluviais. Esse sistema é influenciado diretamente por questões climáticas, grau de industrialização da região e hábitos cotidianos da população (TONETTI et al., 2018).

A Resolução do CONAMA n°430 publicada no dia 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011) dispõe nacionalmente sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando a Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), a qual refere-se ao enquadramento de corpos hídricos. A Resolução CONAMA n° 430/2011 entre outras coisas, define limites para os parâmetros físico-químicos pH, temperatura, DQO, sólidos grosseiros flutuantes e sólidos totais em suspensão, conforme apresenta a Tabela 1.

**Tabela 1 - Condições e padrões de lançamento de efluente oriundo de sistemas de tratamento de esgoto sanitário.**

Parâmetro	Legislação
pH	entre 5 e 9
Temperatura	inferior a 40°C
DBO	remoção mínima de 60%
Materiais flutuantes	ausência
Materiais sedimentares	1 mg/L
Óleos e graxas	100 mg/L

Fonte: BRASIL, 2011.

Além disso, a Resolução do CONAMA n°430/11 sugere testes de ecotoxicidade em efluente proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário, devido às características potencialmente tóxicas, com o objetivo de auxiliar na gestão da bacia a ser influenciada pelo respectivo lançamento.

Dentre as vertentes tem-se o tratamento físico-químico, caracterizado pelos processos de coagulação, floculação e sedimentação, que segundo Bittencourt e Paula (2014) tem como principal objetivo a precipitação de substâncias, apresentando resultado históricos satisfatórios.

As unidades de uma estação de tratamento de esgoto são em geral construídas em tanques cobertos ou não, que operam de maneira integrada, onde ocorrem os processos físico-químicos. Conforme o esgoto atravessa os tanques ocorre a separação ou conservação dos constituintes, até que se atinja os padrões de qualidade (ZATO et al., 2014)

### 3.3.1 Tratamento físico/ químico

#### 3.3.1.1 Coagulação

A coagulação consiste em um processo de desestabilização de partículas a serem retiradas nos processos subsequentes, ocasionado a partir da adição de coagulantes alinhado à mistura rápida (SECKLER, 2017).

O desempenho da coagulação influencia diretamente os demais processos da estação de tratamento. No contexto sanitário, onde remove partículas de dimensões microbiológicas como os organismos patogênicos do gênero *Salmonella* e coliformes totais. Além disso, influência na vertente econômica, pois com o processo de coagulação o tempo de sedimentação nos tanques é representativamente menor, viabilizando o dimensionamento e os investimentos dos tanques de deposição de sedimentos (LIBÂNIO, 2010; FERREIRA, 2017).

De acordo com Libânio (2010), existem quatro mecanismos de coagulação que podem ocorrer simultaneamente ou não. O primeiro é a compressão da camada difusa que consiste na adição de íons, elevando a força iônica, ocasionando a travessia de íons de carga positiva até a camada de carga contrária. O Segundo mecanismo é a adsorção-neutralização, ocorre a partir da adição de coagulantes, que ao reagirem com o oxigênio formam hidrólises de cargas positivas que adsorvem com os coloides de carga negativa. Esse processo é afetado diretamente pelo pH e pela dosagem de coagulante. Já a coagulação por varredura apresenta valores elevados para pH e concentrações de coagulante e recebe esse nome devido ao fato das partículas adsorvidas arrastarem as suspensas. Por fim o quarto mecanismo, a coagulação por formação de pontes químicas, que acontece a partir da adição de coagulantes orgânicos, ocasionando a formação de pontes químicas e diminui a quantidade de coagulantes utilizados.

A coagulação pode ser afetada por fatores como pH, alcalinidade, tipos de coagulante, características dos coloides suspensos, a maneira como o coagulante é aplicado e ainda o gradiente de velocidade e o tempo de agitação, embora destaque-se que não há uma hierarquia entre os fatores, ou seja não ocorre um nivelamento dos parâmetros que interferem na coagulação (LIBÂNIO, 2010).

### 3.3.1.2 Floculação

Entende-se por floculação o processo físico em que ocorre a colisão de partículas desestabilizadas, com o objetivo de proporcionar o seu aumento de tamanho, a fim de serem removidas nos processos de separação sólido-líquido como a sedimentação ou ainda na filtração (SECKLER, 2017).

Segundo Libânio (2010), para o processo de floculação é essencial a movimentação das partículas desestabilizadas, essa movimentação está diretamente relacionada com o tamanho das partículas, podendo ocorrer de três maneiras:

- Floculação pericínética (movimento browniano): ocorre a formação de pequenos flocos a partir da colisão das partículas com dimensão inferior a 1µm;
- Floculação ortocínética: ocorre a partir da introdução de energia externa, com gradientes de velocidade em escoamentos laminares ou turbulentos estimulando a aglutinação das partículas e dos pequenos flocos;
- Sedimentação diferencial: acontece devido as diferentes dimensões dos flocos decorrendo em velocidades de sedimentação diferentes.

A floculação ainda pode ser caracterizada como mecânica ou hidráulica. Para que esse processo alcance seu melhor resultado, é indicado que a água passe por espaços onde as velocidades sejam diferentes, de maneira que, quanto menor o tempo de detenção hidráulica, maior será o gradiente de velocidade (TCHOBANOGLIOUS et al., 2016).

### 3.3.1.3 Sedimentação

O processo de sedimentação, também chamado de decantação, ocorre após a floculação das partículas. A água floculada deve possuir uma velocidade uniforme ao adentrar nos tanques de decantação, garantindo que não ocorra a quebra dos flocos já formados. O processo ocorre com a água em repouso e por processos físicos as partículas são removidas da fase líquida por meio da sedimentação gravitacional (FERREIRA, 2017; TCHOBANOGLIOUS et al., 2016).

Esse processo pode ocorrer de quatro maneiras: (I) Sedimentação de partículas discretas, acontece de maneira tranquila, com velocidade constante, não ocorrendo a floculação e geralmente ocorre na pré-sedimentação. (II) Sedimentação floculante, as partículas floculam durante esse processo, ocorre quando sulfato de alumínio ou ferro são utilizados como coagulante, em sedimentações primárias ou ainda em sedimentação na filtração por gotejamento, (III) Sedimentação em zona e (IV) Sedimentação por compressão, esses dois últimos modelos são usados quando há uma grande concentração de particulado (FERREIRA, 2017; DAVIS, 2017).

## **3.4 Coagulantes utilizados no tratamento físico/químico**

Os coagulantes interferem diretamente nos processos de coagulação e floculação por diversos fatores, portanto devem ser escolhidos de acordo com as características de cada água residuária e principalmente dos aspectos econômicos (VAZ, 2009).

### 3.4.1 Coagulantes orgânicos

A utilização de coagulantes inorgânicos possui como consequência a elevada geração de lodo com a presença de sais de alumínio e ferro residuais, desta maneira, tem-se a necessidade de desenvolver técnicas que minimizem tais impactos, como a

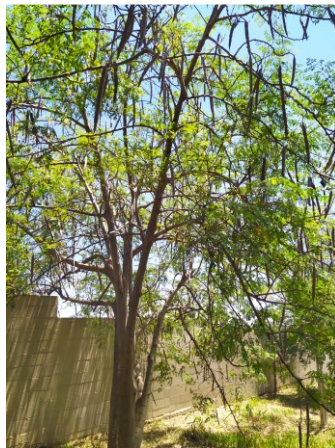
utilização de coagulantes orgânicos para a clarificação de águas (PEREIRA et al, 2020). Os coagulantes orgânicos podem ser extraídos ou produzidos a partir de animais, plantas ou microorganismos (TAWAKKOLY; ALIZADEHDAKHEL; DOROSTI, 2019). Estudos apontam o potencial coagulante das espécies vegetais *Acacia mearnsii*, *Cassia fistula*, *Cactus opuntia*, *Zea mays*, *Azadirachta indica* e *Moringa oleifera* (SOARES et al., 2021).

#### 3.4.1.1 *Moringa oleifera*

Diversos estudos têm sido desenvolvidos a partir da utilização de coagulantes orgânicos no tratamento de águas residuais sem apresentar passivos ambientais. Dentre elas destaca-se a extração da proteína da semente da *Moringa oleifera*, a qual apresenta resultados positivos quando comparada aos coagulantes inorgânicos, além de possuir potencial econômico e ecologicamente sustentável (NASCIMENTO et al., 2016; CAMACHO et al., 2017).

A *Moringa oleifera* Lam pertence à família Moringaceae e é formada por um gênero e quatorze espécies. É uma árvore de origem indiana (Figura 1), de pequeno porte, rápido crescimento e fácil adaptação em uma ampla faixa de solo e clima (CARDOSO, 2009). Por esse motivo, se adequou a região Nordeste do Brasil, principalmente a região do semiárido.

**Figura 1 – Árvore *Moringa oleifera***

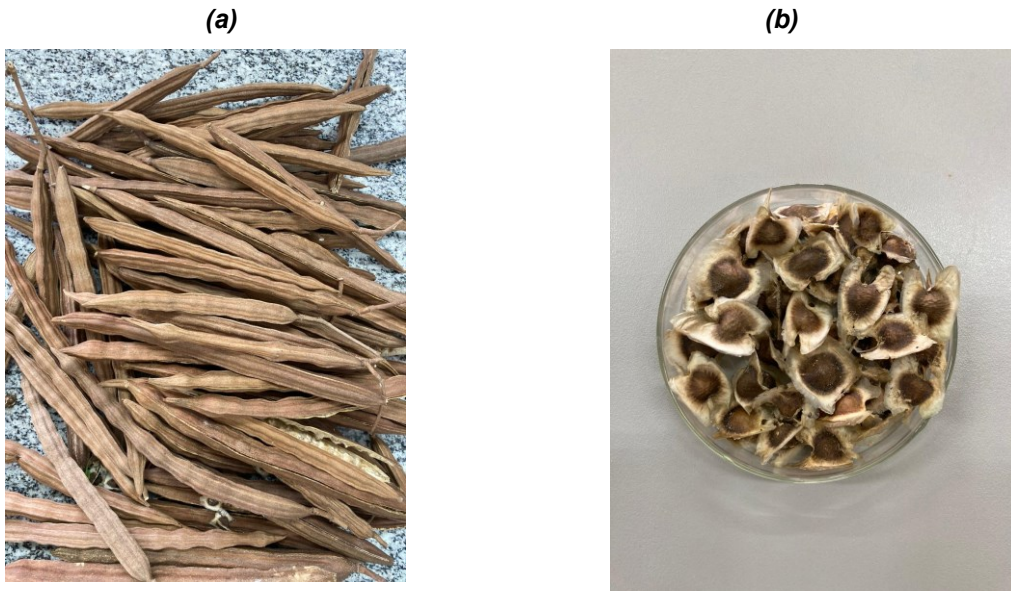


**Fonte: Nunes (2022)**

De acordo com Nascimento et. al. (2016) a propagação da *Moringa oleifera* é caracterizada como de fácil execução, podendo ocorrer por meio das sementes ou estaca, não sendo necessário tratamentos prévios ou muitos cuidados durante o

cultivo. A vagem, assim como a semente da *Moringa oleifera* são apresentados na Figura 2.

**Figura 2 - Figura 2 – *Moringa oleifera*: (a) vagem e (b) semente com casca**



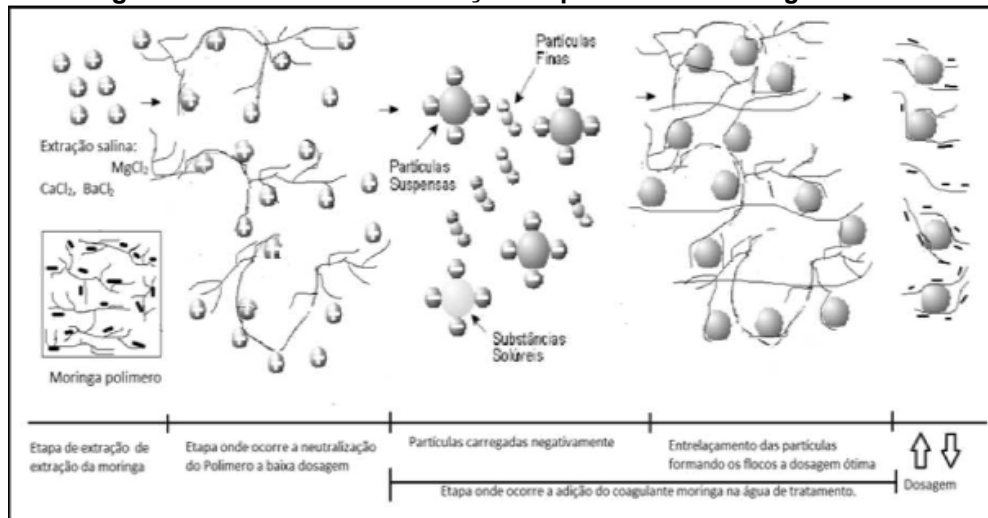
**Fonte: Autoria própria (2023)**

A semente da *Moringa oleifera* possui em sua composição uma elevada quantidade de proteínas e lipídios, sendo constituída por cerca de 40% de proteínas (GALLÃO, 2006). Baptista et al. (2017) ao analisar o fracionamento proteico da semente da *Moringa oleifera* concluíram que a composição principal de proteínas é representada por 44% de albuminas e 53% de globulinas. Ao avaliar separadamente a semente da *Moringa oleifera* na íntegra e de seus constituintes fracionados, dadas proteínas se destacaram com alto potencial de coagulação.

Dentre as metodologias existentes para potencializar a ação coagulante da semente da *Moringa oleifera*, Theodoro et al. (2015) explicam o mecanismo a partir da extração das proteínas em solução salina em um mecanismo de coagulação por adsorção, assim como é apresentado a partir da Figura 3.



**Figura 3– Mecanismo de extração da proteína da *Moringa oleifera***



**Fonte: Theodoro (2015)**

Por meio da Figura 4 a autora explica que o processo de coagulação utilizando o coagulante orgânico *Moringa oleifera* ocorre em quatro etapas. Na primeira a extração ocorre em solução salina de NaCl e KCl, na segunda obtém-se a neutralização do polímero catiônico a uma baixa dosagem, já na terceira etapa inicia-se a formação dos flocos em uma dosagem ideal e por fim, a quarta etapa acontece quando há uma dosagem inadequada do coagulante da *Moringa oleifera* tanto em relação a falta, quanto ao excesso, inibindo assim o entrelaçamento e a formação dos flocos.

Monaco et al. (2014) ao utilizar o extrato semente da *Moringa oleifera* obtido a partir do  $Ca(OH)_2$  no tratamento de esgoto sanitário obtiveram taxa de remoção para a turbidez igual a 73,6%, já para a sequência de sólidos as taxas variam entre 30% e 96%.

A aplicação do coagulante da *Moringa oleifera* também pode ocorrer após algum processo de filtração, assim como desenvolvido por Matos et al. (2014) os autores usaram o efluente de esgoto sanitário, o qual foi conduzido ao meio filtrante e em seguida aplicadas concentrações distintas do coagulante orgânico. Porém, após o tratamento observaram que os sólidos dissolvidos solubilizados da serragem de madeira proporcionaram inibição do poder coagulante do extrato de sementes de *Moringa oleifera*, sendo assim não apresentou remoção de turbidez.

Além disso, a *Moringa oleifera* possui importante aspecto econômico devido ao múltiplo uso da planta, sendo utilizado na culinária, indústria farmacêutica e cosméticos.

### 3.4.2 Coagulantes inorgânicos

#### 3.4.2.1 Sulfato de alumínio

O Sulfato de Alumínio é um coagulante inorgânico amplamente utilizado no Brasil, apresentando desempenho eficaz, pois, possui elevada remoção de sólidos em suspensão, fácil transporte, além do baixo custo. Porém, os flocos formados durante o tratamento, possuem uma natureza inorgânica, resultando em um lodo volumoso e não biodegradável, além do risco de toxicidade às plantas advindo do alumínio (LO MONACO et al., 2014).

De acordo com Vaz (2009) a faixa ideal de pH para a ação coagulante do Sulfato de Alumínio está entre 5,0 e 8,0, isso porque, nos demais valores o alumínio se torna solúvel em água, perdendo assim seu potencial coagulante.

Devido ao baixo custo os coagulantes com base de sais de ferro e alumínio são comumente utilizados para tratamento de águas para consumo e águas residuais. Porém dada prática apresenta danos significativos ao meio ambiente e à saúde pública justificados, pelos resíduos de sais presentes na água tratada, a elevada geração de lodo, além da necessidade de custos adicionais para corrigir o pH da água (VAZ, 2009).

Ao analisar o tratamento de esgoto doméstico para diferentes tipos de coagulantes, tanto para o efluente bruto quanto para o efluente final da ETE, Soroka et al. (2020), notaram que o sulfato de alumínio apresentou resultado positivo para a remoção de turbidez, apresentando uma relação direta entre remoção e dosagem do coagulante, já para a remoção de DQO o sulfato de alumínio assim como os outros coagulantes só demonstrou eficiência para o efluente proveniente da ETE.

Já Teixeira (2021), aplicou o Sulfato de Alumínio ao esgoto doméstico tratado afim de observar a recuperação de biomassa de microalga cultivada nessa água residual e com isso ao fim do estudo, notou que como uso desse coagulante atingiu taxas de remoção superiores a 90% para os parâmetros cor e turbidez, com a dosagem de 75 mg.L<sup>-1</sup>.

Ragio et al. (2019) ao aplicar o Sulfato de Alumínio em pós-tratamento do efluente de esgoto de um reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), também observou resultados positivos. Para a turbidez as remoções ficaram entre 26% e 69%, já para a cor os valores ficaram 15% e 96%. Essa variação é justificada pelas dosagens do coagulante utilizadas, quanto maior a concentração, maior a remoção.

### 3.5 Lodo de esgoto

As estações de tratamento de esgoto sanitário têm como objetivo separar as fases líquidas e sólidas e realizar o tratamento específico para cada uma delas (ANDREOLI, 1999; VON SPERLING, 2014).

A fase sólida é caracterizada como o lodo de esgoto sanitário (LES) o qual é um resíduo resultante do tratamento da fase líquidas, ou seja, o esgoto doméstico, industrial e as água pluviais. O lodo é caracterizado como um resíduo sólido por convecção, pois possui em sua caracterização 95% de água (VON SPERLING, 2014).

O volume de lodo gerado, os mecanismos e a frequência de retirada variam de acordo com os fluxogramas das operações e processos unitários do sistema aplicado na ETE, o que permite diversos processamentos, os quais podem alterar as características físicas e químicas do lodo (VON SPERLING, 2014, ANDREOLI, 2006).

Os principais processos para o tratamento do lodo podem ser caracterizados inicialmente pelo adensamento, onde ocorre a remoção da umidade, tendo assim a redução do seu volume, seguido pela estabilização, para a remoção da matéria orgânica, dos organismos patogênicos e dos sólidos voláteis com o objetivo de evitar ou eliminar o potencial de putrefação do lodo, inibindo assim, os possíveis odores.

A terceira etapa é o condicionamento onde ocorre a preparação para a etapa seguinte, a desidratação, a qual consiste em uma operação unitária onde novamente tem-se a remoção da umidade para a redução de volume do lodo, viabilizando o transporte e reduzindo custos para a destinação final, sendo ela aterro ou incineração. Para a segunda opção a desidratação é um ponto importante pois, ao diminuir a umidade ocorre a elevação do poder calorífico do material (VON SPERLING, 2014; GONÇALVES et al., 2021; FERNANDES; SOUZA, 2001).

Atualmente, no Brasil, as principais formas de destinação do lodo de esgoto são o descarte em aterros sanitários ou incineração, as quais são técnicas ambientalmente corretas, mas que desperdiçam o potencial do lodo de esgoto. Dentre outras opções viáveis para a destinação final do lodo de esgoto tem-se a reciclagem agrícola, a recuperação de áreas degradadas, landfarming, fabricação de lajota e tijolos, além da degradação térmica para produção de biocombustível (ANDREOLI et al., 2014; PEDROZA et al., 2017).

A aplicabilidade do lodo como insumo na área da engenharia civil já é uma realidade, a viabilidade do uso de lodo de esgoto para produção de tijolos ecológicos

foi avaliada por Lins, Ferreira e Lins (2019), que concluíram a partir do estudo que essa é uma opção que minimiza os impactos ambientais, reduz os despejos em aterros sanitários além de reduzir a bioacumulação em plantas e animais.

Já a disposição para usos agrícolas do lodo de esgoto requer cuidados como tratamento e a estabilização adequados, é viável já que o material possui elevada carga orgânica e a presença de nutrientes, promovendo melhorias físicas e químicas no solo e proporcionando redução de custos (GODOY, 2013; JUNIOR et al., 2020).

Porém, Rorat et al. (2019) destaca que mesmo com o potencial de fertilização presente no lodo de esgoto, observa-se que devido aos poluentes tóxicos presentes em sua composição, a aplicação indevida pode aumentar problemas ambientais já existentes e ocasionar contaminações ou ainda envenenamentos quando não aplicados corretamente.

### 3.5.1 Metais pesados

No parâmetro ambiental os metais pesados são aqueles compostos que em determinada concentração e em dado tempo de exposição, representam risco sanitário, comprometendo direta ou indiretamente as atividades biológicas (PEDROZA, 2017).

De acordo com Silva et al. (2014) na composição do lodo de esgoto sanitário, os metais pesados estão relacionados principalmente, com a quantidade de despejos industriais presentes nele, tendo maior influência as indústrias químicas, metálicas e de galvanoplastia. Os principais metais encontrados no lodo de esgoto, são:

- Cádmio: é encontrado na natureza junto ao chumbo e ao zinco, sendo altamente tóxico aos animais, já que pode se acumular na cadeia alimentar e às plantas, não sendo um elemento essencial para o seu desenvolvimento, além de apresentar toxicidade em baixas concentrações.

- Cobre: pode ser tóxico às plantas aquáticas e aos animais quando presente na forma iônica, já quando está presente em sua forma orgânica na água apresenta uma toxicidade bem menor. Quando disposto no solo o aspecto tóxico é influenciado tanto pelo pH, quanto pela quantidade de matéria orgânica

- Zinco: metal essencial para organismos humanos, animais e plantas, porém em elevadas concentrações pode representar um risco tanto para a saúde humana, como para o desenvolvimento de algumas culturas agrícolas.

- Níquel: metal comumente utilizado nas indústrias, entre tanto, exposições agudas a esse elemento podem acarretar graves danos à saúde humana, desde náuseas e dores de cabeça, até edemas e hemorragias cerebrais.

- Mercúrio: utilizado durante séculos, porém atualmente destaca-se devido aos impactos ambientais causados, já que os níveis do metal se elevaram na água, solo e ar, isso devido a utilização de combustíveis fósseis contendo uma quantidade considerável de mercúrio, além da utilização em indústria e agricultura.

- Cromo: apresenta graves riscos à saúde humana por meio de exposição aguda e crônica, afetando órgãos como fígado, rim trato gastrointestinal e sistema circulatório, tendo sido registrado desenvolvido de câncer de pulmão.

A Resolução CONAMA n°375 de 09 de agosto de 2006 (BRASIL, 2006) define os parâmetros para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, assim como apresenta a Tabela 2.

**Tabela 2 – Limites máximos de concentração para lodos de esgoto e produtos derivados**

Substância inorgânica	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromo	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

**Fonte: BRASIL (2006)**

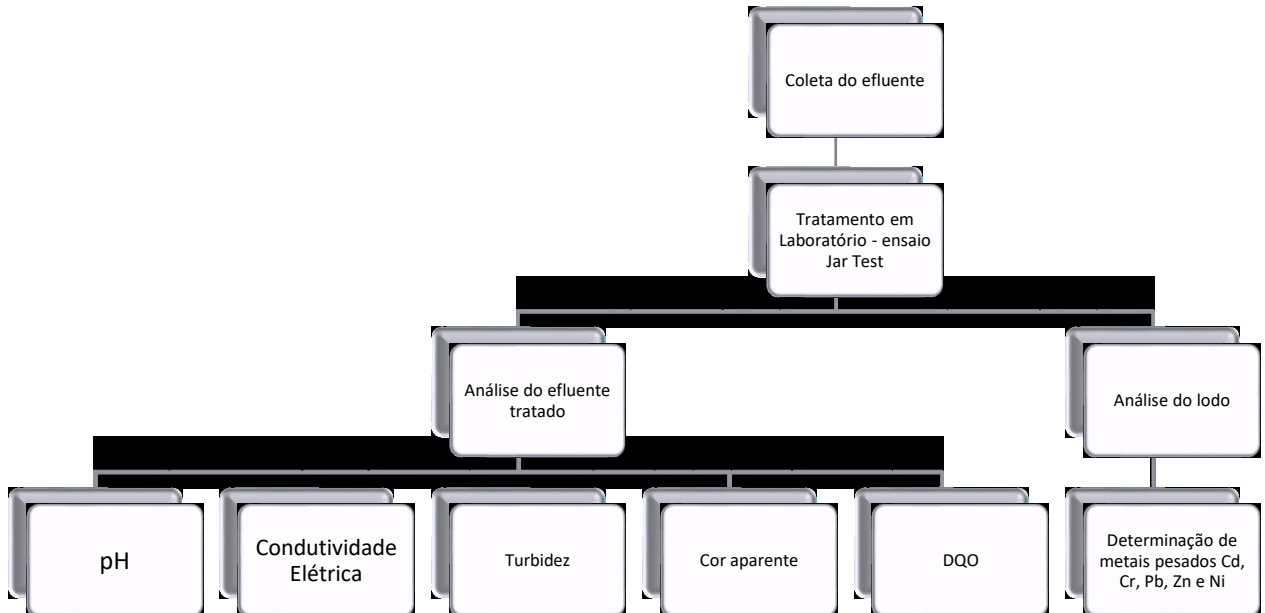
## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Local da coleta e do ensaio experimental

O efluente de esgoto doméstico foi coletado em uma estação de tratamento de esgoto sanitário, caracterizada por um reator anaeróbio seguido de um sistema de lodo ativado, as informações referentes a localização não foram permitidas pela empresa. Os ensaios foram realizados nos Laboratórios de Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina – UTFPR.

Para realização do ensaio seguiu-se as seguintes etapas (Figura 4):

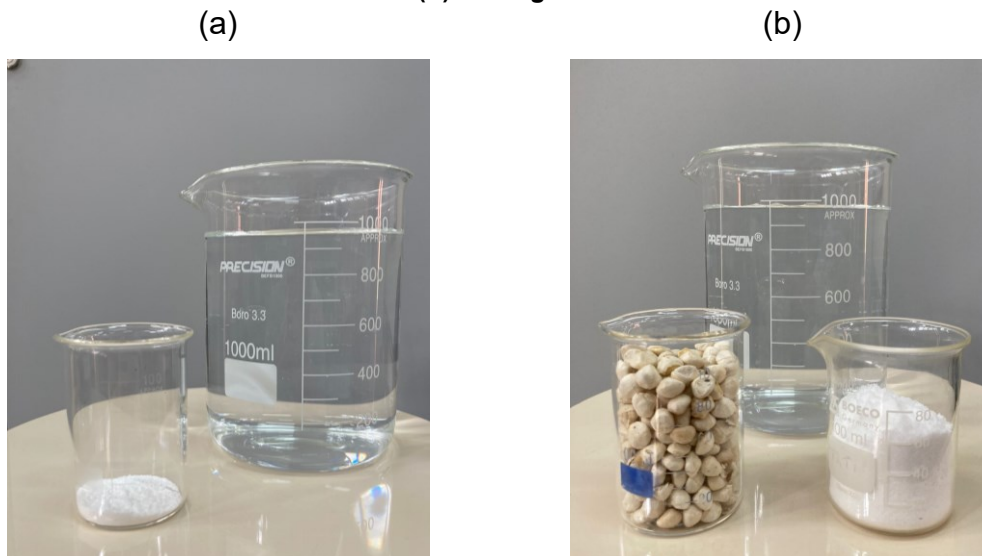
**Figura 4 - Fluxograma metodológico das etapas envolvidas no experimento**



## 4.2 Soluções coagulantes

A solução coagulante do Sulfato de Alumínio foi preparada dissolvendo 5g do coagulante em 1 L de água destilada. Já para a solução coagulante da *Moringa oleifera* utilizou-se a metodologia conforme Fernandes et al. (2021), onde foram adicionados 1L de água destilada, 1M de NaCl e 50g da semente descascada sendo misturados e agitados com o auxílio de um liquidificador e em seguida coados. Os reagentes utilizados no preparo das soluções são apresentados na Figura 5 e foram armazenadas em ambiente refrigerado.

Figura 5 – Reagentes utilizados no preparo das soluções coagulantes (a) Sulfato de Alumínio e (b) *Moringa oleifera*



Fonte: Autoria própria (2023)

## 4.3 Pré-ensaio

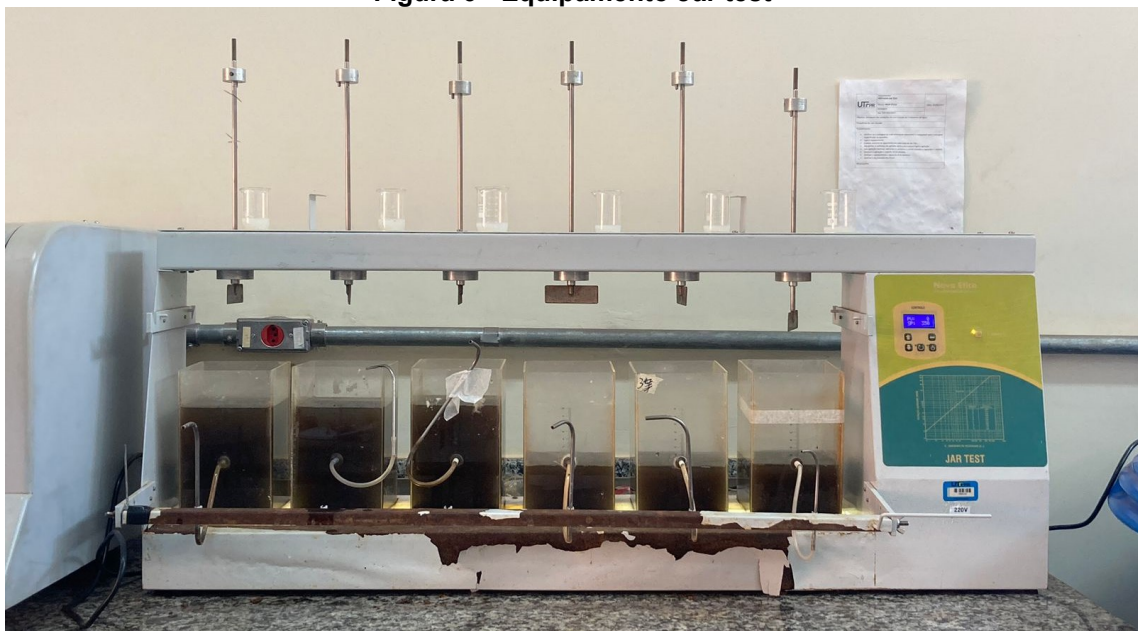
As dosagens dos coagulantes foram definidas a partir de um pré ensaio, onde 100 mL do efluente de esgoto sanitário foram transferidos para frascos de polipropileno, e com o auxílio de uma micropipeta foi adicionado as seguintes dosagens de coagulantes em cada frasco: 1 mL, 2 mL, 4 mL, 5 mL e 7 mL. Em seguida realizou-se uma agitação manual rápida e lenta simulando os processos de coagulação e floculação. Na sequência as amostras foram deixadas em repouso por alguns minutos representando a etapa da sedimentação.

Após a simulação do processo de sedimentação, mediu-se a turbidez das amostras e a partir disso definiu-se as concentrações ideais de  $7 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  para o Sulfato de Alumínio e para a *Moringa oleifera*, respectivamente.

#### 4.4 Ensaio laboratorial – Jar test

Os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foram realizados utilizando o equipamento Jar test modelo 218/06 LDB de marca Nova Ética, constituído por seis jarros, com capacidade de 2 L cada um, conforme a Figura 6:

**Figura 6 - Equipamento Jar test**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

O tratamento foi realizado em triplicata, adaptou-se a metodologia de Theodoro (2012), onde foi utilizado para o processo de coagulação a velocidade de 150 rpm durante três minutos, representando a mistura rápida (coagulação), em seguida a velocidade foi reduzida para 15 rpm por dez minutos para simular a agitação lenta (floculação), passado esse período o equipamento foi desligado e para os três primeiros jarros (Figura 6) iniciou-se o processo de sedimentação, onde amostras foram coletadas após 3 minutos ( $t_1$ ), 13 minutos ( $t_2$ ), 23 (minutos) e 33 (minutos). Já para os demais jarros (Figura 6) após o desligamento do equipamento, o efluente tratado de cada recipiente foi transferido cuidadosamente para três Cones Imhoff e deixado em repouso durante uma hora, como representa a Figura 7.



**Figura 7 - Ensaio Cone Imhoff**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Após esse período, o sobrenadante foi pipetado, tendo ao final três amostras de lodo diferente: lodo bruto (lodo B), lodo gerado a partir do tratamento com Sulfato de alumínio (lodo SA) e o lodo do tratamento com *Moringa oleifera* (lodo MO). Todas as amostras foram armazenadas em ambiente refrigerado até o momento do preparo para a digestão para posteriormente realizar a determinação dos metais por espectrometria de absorvância atômica com atomização em chama.

#### **4.5 Parâmetros e análise estatística**

Os ensaios foram realizados em triplicata e as amostras de efluente coletadas foram submetidas às análises dos parâmetros apresentados na Tabela 2.

**Tabela 3 - Parâmetros analisados para o esgoto tratado**

Parâmetros	Unidade	Método	Equipamento
pH	*	4500 H+B	Medidor de pH de bancada MPA 210 – Tecnonon
Condutividade Elétrica	mS.cm <sup>-1</sup>	2510 – B	Condutímetro Digital Portátil CD 860 - Instrutherm
Turbidez	NTU	2130 – B	Turbidímetro AP 2000 - Policontrol
Cor aparente	mgPtCoL <sup>-1</sup>	2120 - C	Espectrofotômetro DR 5000 – HACH

Fonte: próprio autor

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância ANOVA, utilizando confiabilidade de 5% a partir do teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Os resultados que apresentaram significância estatística foi aplicado o Teste de Tukey com o intuito de avaliar se houve diferença no desempenho estatístico dos tratamentos.

#### 4.6 Preparo e digestão das amostras de lodo para análise de metais

O preparo das amostras para a digestão ácida seguiu-se da seguinte maneira, mediu-se 40 mL do lodo bruto e do lodo gerado a partir do tratamento com os coagulantes Sulfato de Alumínio e *Moringa Oleífera*, esses dois últimos em duplicata, totalizando 5 amostras. Em seguida, o material foi transferido para cadinhos e dispostos em estufa a uma temperatura de 105°C por 24h. Após o processo de secagem as amostras foram retiradas da estufa, mantidas em dessecador com sílica com o intuito de não absorver umidade. Após atingir a temperatura ambiente, foram retiradas e trituradas com o auxílio de um pistilo, assim como demonstra a Figura 8 (MESQUITA, 2014).

Figura 8- Secagem: (a) pré secagem, (b) pós secagem, (c) maceração da amostra e (d) amostra triturada

(a)



(b)





**Fonte: Autoria própria (2023)**

A partir das amostras trituradas, utilizou-se a metodologia adaptada de METHODS (1996), sendo assim, pesou-se em duplicata 0,5 g de cada uma das cinco amostras, o material foi transferido para um tubo digestor de 100 mL, em seguida foi adicionado 10 mL de  $\text{HNO}_3$  e 2,5 mL de  $\text{HCl}$ , os tubos foram levados ao bloco digestor a uma temperatura de  $160^\circ \text{C}$  por 4 horas (Figura 9).

**Figura 9 - Digestão ácida amostra de lodo.**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Transcorrida as 4 horas, notou-se que a digestão provavelmente não ocorreu por completo, já que a amostra ainda apresentava um volume considerável de corpo



de fundo. Com o objetivo de otimizar a digestão ácida, o processo foi realizado novamente com 0,05 g de cada amostra (GOMES, 2019). Ao final da digestão, a solução apresentou características de digestão completa da amostra, como apresenta a Figura 10.

**Figura 10 – Produtos das digestões: primeira digestão (esquerda) e segunda digestão (direita)**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

O material resultante da digestão foi filtrado a vácuo, utilizando membrana filtrante de acetato de celulose, com diâmetro de 47 mm e poros de 0,45  $\mu\text{m}$ . Após a filtração o volume da solução foi ajustado para 25 mL com água deionizada. O material foi transferido para tubos tipo Falcon e armazenadas em ambiente refrigerado até a determinação da concentração dos metais por meio da Espectrometria de Absorção Atômica com atomização em chama (FAAS).

#### **4.7 ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA COM CHAMA (FAAS)**

A concentração dos metais foi determinada através da espectrometria de absorção atômica com chama, utilizando o equipamento ICE 3000, Thermo Scientific (Figura 11), em parceria com o Laboratório Multiusuário (LAMAP) da UTFPR campus Apucarana.

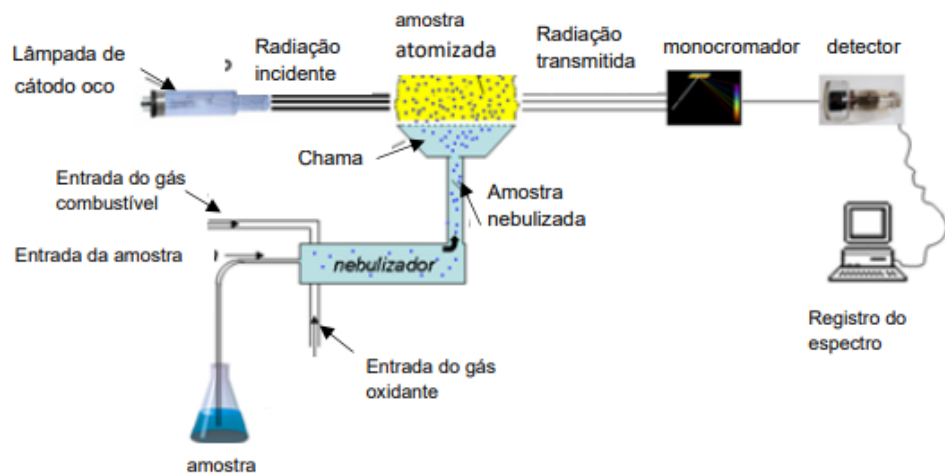
**Figura 11 – Espectrômetro ICE 3000**



**Fonte: LAMAP (2023)**

A amostra foi atomizada a partir da aspiração para uma câmara de nebulização, onde é nebulizada e em seguida na forma de aerossol foi transportada até a chama. O feixe de luz é alinhado à chama, possibilitando a determinação da concentração de átomos presentes ali, por meio de uma luz absorvida pelo respectivo comprimento de onda, tendo como resultado analítico, valores para absorbância (MATOS, 2015; HILL; FISHER, 2017; BEATY; KERBER, 1993). A Figura 14 demonstra esse processo.

**Figura 14 – Representação do funcionamento FAAS**



**Fonte: VALLEJO (2013)**

## 5 RESULTADOS

Para fins comparativos, analisou-se os parâmetros pH, condutividade elétrica, turbidez, cor aparente e DQO da amostra de efluente bruta. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 - Caracterização do efluente de esgoto sanitário bruto		
Parâmetro	Valores	Limite Resolução CONAMA 357/05 e CONAMA 430/11
pH	5,97	Entre 5 e 9 (*)
Condutividade Elétrica (mS.cm <sup>-1</sup> )	851	-
Turbidez (NTU)	219	40
Cor (mgPtCoL-1)	3650	Nível de cor natural do corpo de água em mg de Pt.L <sup>-1</sup>
DQO (mgO <sub>2</sub> .L-1)	4493,63	-

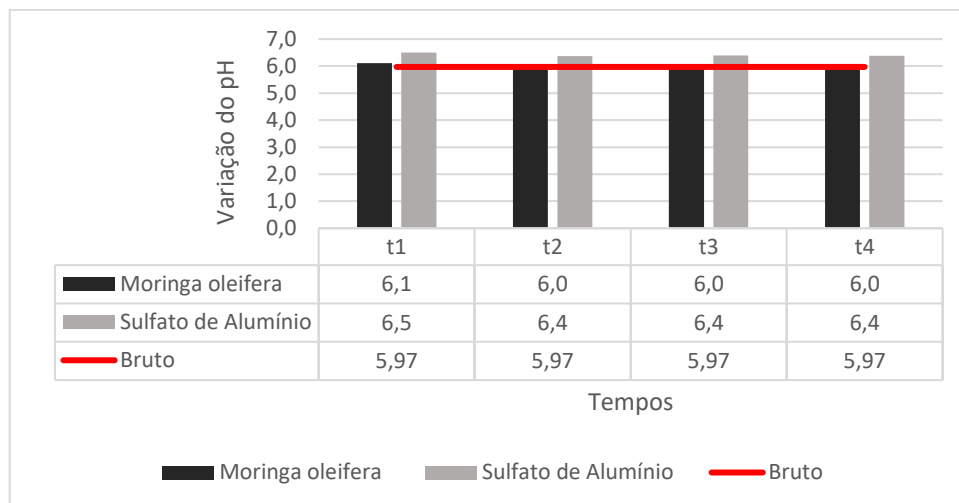
(\*) Valores referente a Resolução CONAMA 430/11.

Fonte: Autoria própria (2023)

### 5.1 pH

A Figura 12 apresenta os valores de pH medidos durante os ensaios e comparados ao resultado do efluente bruto.

Figura 12 – Variação do pH



Fonte: Autoria própria (2023)

Após o ensaio, observou-se que os tratamentos com Sulfato de Alumínio e *Moringa oleifera* apresentaram valores próximos ao valor do pH para a amostra bruta.

Nota-se que para em ambos os tratamentos o valor mais elevado de pH foi registrado no t1, onde o Sulfato de Alumínio obteve pH igual a 6,5, enquanto a *Moringa oleifera* apresentou o valor de pH de 6,1. Já para os demais tempos observa-se que

não houve variação dos valores, para o tratamento com o coagulante inorgânico os valores de pH ficaram fixos em 6,4 e para o tratamento com o coagulante orgânico os valores de pH estagnaram em 6,0.

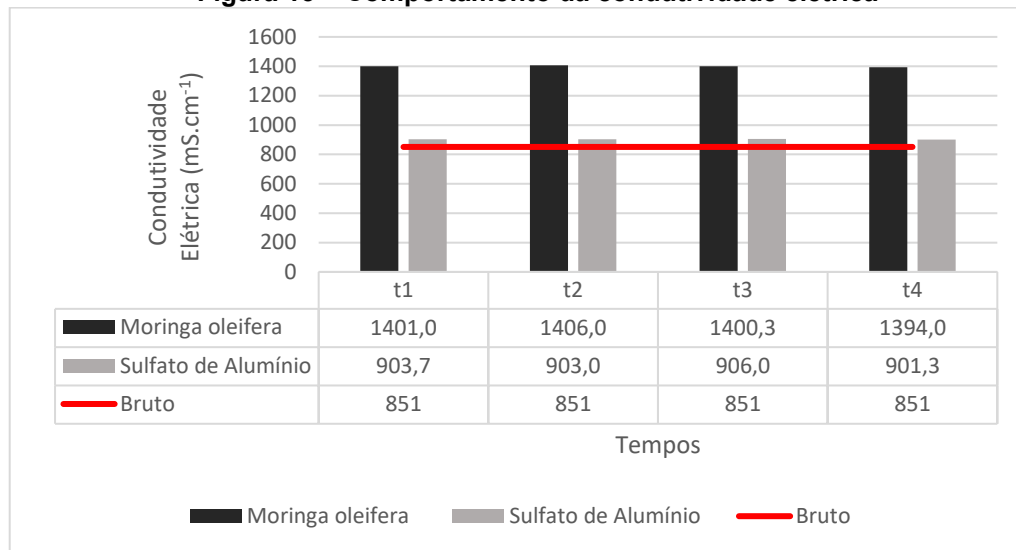
Sendo assim, caracteriza-se que o comportamento do pH não foi influenciado diretamente pelo processo de sedimentação nem pelo uso dos coagulantes, visto que no decorrer dos tempos houve pouca variação dos valores e a diferença entre o valor pH bruto e o valor mais elevado apresentado durante o ensaio não ultrapassou 0,8 unidades.

Destaca-se que mesmo com a particularidade de pouca variação do pH, todos os valores obtidos durante o ensaio, incluindo o valor bruto estão dentro do estipulado pela Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011), a qual informa que todo e qualquer efluente com potencial poluidor deve apresentar pH entre 5 e 9 para ser lançado em um corpo hídrico.

RAGIO et al. (2019), também analisou o comportamento do pH em diferentes concentrações de Sulfato de Alumínio aplicados ao efluente de esgoto sanitário coletado na saída do reator UASB. Após o ensaio notou-se que o intervalo de pH ficou entre 7,5 e 6,3, onde quanto maior a concentração do coagulante, menor o pH. Os autores destacam que a variação está no intervalo ótimo para coagulação. Nota-se que os valores obtidos são superiores aos observados nesse estudo, podendo justificar-se pelos distintos efluentes usados e suas características.

## **5.2 Condutividade elétrica**

Os valores obtidos para a condutividade elétrica são apresentados da Figura 13.

**Figura 13 – Comportamento da condutividade elétrica**

**Fonte: Autoria própria (2023)**

A partir da Figura 13, tem-se que durante o ensaio os tratamentos com Sulfato de Alumínio e *Moringa oleifera* apresentaram elevação da condutividade elétrica em relação ao valor bruto que era de 851 mS.cm<sup>-1</sup>.

Para o tratamento com a *Moringa oleifera* nota-se que em todos os tempos observados não houve consideráveis variações, porém, tem-se elevados valores de condutividade elétrica onde no tempo t2 apresenta o valor mais eminente do ensaio de 1406 mS.cm<sup>-1</sup>. Esse aumento dos valores é justificado pois a solução coagulante da *Moringa oleifera* possui em sua composição NaCl com isso, onde a salinidade libera íons dissolvidos que acarretam a elevação da condutividade elétrica (VIZIBELLI, et al., 2017; RIBEIRO, et al., 2018).

O tratamento com Sulfato de Alumínio apresentou também pouca variação de condutividade elétrica durante os tempos de sedimentação, tendo o maior valor medido no t3 com 906 mS.cm<sup>-1</sup> e o menor valor no t4 com 901,3 mS.cm<sup>-1</sup>.

Ao analisar os dois tratamentos apenas em relação aos tempos de sedimentação, sem comparar com o efluente bruto, tem-se que assim como o pH, a condutividade elétrica não é influenciada diretamente pelo processo de sedimentação.

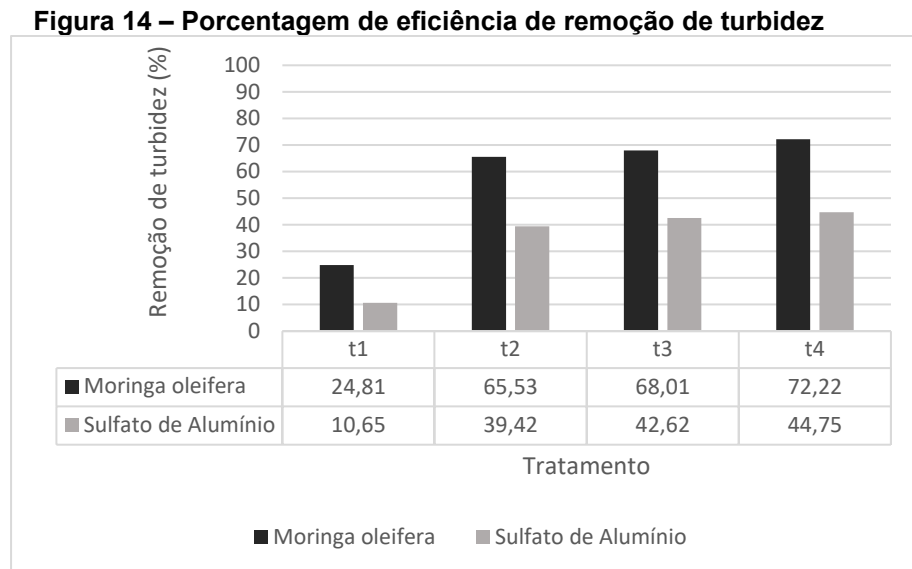
A avaliação da condutividade elétrica em tratamento de esgoto sanitário com *Moringa oleifera* também foi estudada por Lo Monaco et al. (2014). Os autores observaram que após os processos de coagulação e decantação o efluente tratado apresentou para condutividade elétrica de 0,737 dS.m<sup>-1</sup>. O elevado valor quando



comparado a esta pesquisa pode ser atribuído ao fato de a solução coagulante possuir  $\text{Ca(OH)}_2$  ao invés de  $\text{NaCl}$ , sais com características diferentes

### 5.3 Turbidez

Os valores medidos para a turbidez durante o ensaio foram convertidos em porcentagem de eficiência de remoção e são apresentados na Figura 14.



**Fonte: Autoria própria (2023)**

A partir dos resultados observados na Figura 14, tem-se que os tratamentos com Sulfato de Alumínio e *Moringa oleifera* apresentaram resultado positivo em relação a remoção de turbidez, observando nesse parâmetro uma influência direta do processo de sedimentação, visto que as taxas mais elevadas são observadas no tempo t4.

Destaca-se que o tratamento com *Moringa oleifera* apresentou o melhor desempenho durante todo o ensaio, obteve crescimento na taxa de remoção durante os tempos observados, saindo de 24,81% de remoção em t1 para 72,22% ao final do processo de sedimentação. Para o tratamento com Sulfato de Alumínio, a taxa de 10,65% em t1 e 44,75% em t4.

Ao comparar os dois tratamentos em cada tempo separadamente, tem-se que no primeiro tempo de coleta (t1) o tratamento com *Moringa oleifera* obteve uma taxa de remoção próximo ao dobro do valor observado para o tratamento com Sulfato de alumínio, tendo valores respectivos de 24,81% e 10,65%, essa discrepância em relação a proporcionalidade é amenizada durante os tempos de sedimentação.

Pereira et al.(2018), analisou a remoção de turbidez para o tratamento do efluente sanitário de lagoas de estabilização com diferentes concentrações do coagulante Sulfato de Alumínio. Os autores analisaram esse parâmetro em duas situações, com o pH natural do efluente (7,3 a 7,9) e com o pH natural corrigido (5,0 a 5,5). Os resultados obtidos mostraram que sem a correção do pH os resultados foram melhores, com taxa máxima superior a 90%. Já com o pH corrigido a remoção de turbidez foi próxima a 60%. Pode-se observar que o pH do efluente utilizado nesse estudo foi de 5,87 (Figura 12), valor próximo ao pH corrigido pelos autores, sendo assim, tem-se que com pH mais baixo o coagulante Sulfato de Alumínio possui menor eficiência de remoção de turbidez.

Segundo os autores Araújo, Alcântara e Afonso (2020) obtiveram para o tratamento de esgoto sanitário taxas de remoção de turbidez para a *Moringa oleifera* entre 14,67% e 20,16% em três concentrações diferentes do coagulante, enquanto o tratamento com Sulfato de Alumínio obteve uma remoção máxima de 89,31%. A baixa eficiência de remoção da *Moringa oleifera* pode ter relação com a preparação da solução coagulante, a qual não possui em sua composição NaCl e nenhum componente de característica salina, que de acordo com Okuda et al. (1999) eleva a eficiência coagulante.

A análise estatística para o parâmetro turbidez realizada por meio do ANOVA é demonstrada na Tabela 5, com valores que apresentaram normalidade de acordo com o teste de Shapiro Wilk.

**Tabela 5 - Resultados estatísticos apresentados para o parâmetro turbidez após análise ANOVA**

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	P-valor
Tratamento	1	3251,3	4	249,283	0,000000
Tempos	3	6501,7	3	166,166	0,000000
Tratamento* tempos	3	170	5	4,345	0,020248
Resíduo	16	208,7	2		
Total	23	10131,7	1		

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Observa-se a partir da Tabela 5 que para os fatores tratamento, tempos e a relação Tratamentos\*tempo obtiveram P-valor menor que 0,05, indicando que houve diferença estatística significativa entre essas fontes de variação, sendo necessário analisar as médias obtidas. A Tabela 6 a qual expõe o resumo das médias realizadas pelo Teste de Tukey, onde para as comparações entre os tratamentos leva-se em

consideração as letras minúsculas (por coluna) e para a comparação entre os tempos considera-se as letras maiúsculas (por linha).

**Tabela 6 – Comparação das médias de remoção de turbidez**

Coagulante	Tempos			
	t1	t2	t3	t4
<i>Moringa oleifera</i>	24,8 bA	65,52 aA	68 aA	72,22 aA
Sulfato de Alumínio	10,65 bB	39,42 aB	42,62 aB	44,75 aB

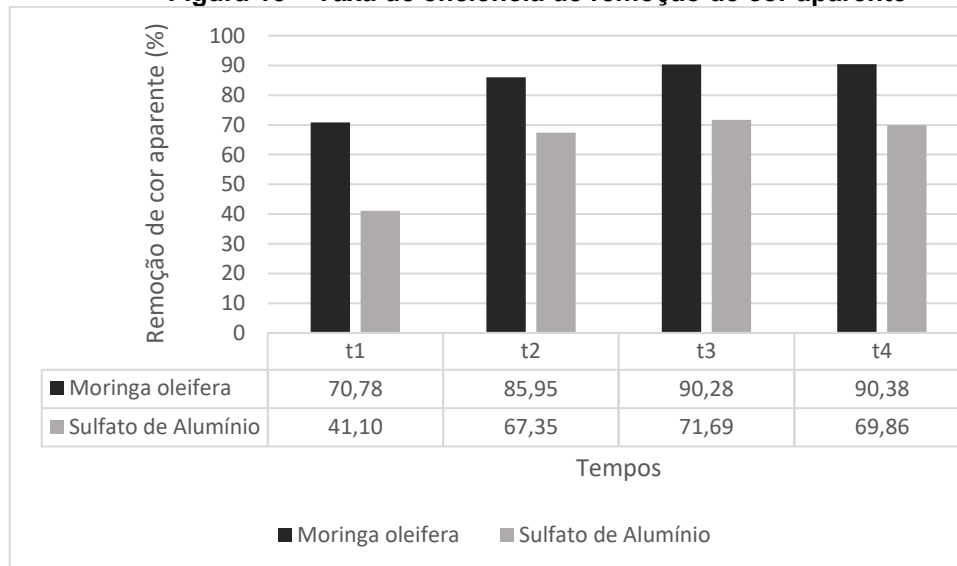
**Fonte: Autoria própria (2023).**

Nota-se pelos resultados apresentados que os tratamentos demonstraram diferença estatística apenas no t1, nos demais tempos são estatisticamente iguais. Já a comparação entre os tempos demonstrou que há diferença estatística entre os dois coagulantes.

#### 5.4 Cor aparente

A partir dos valores medidos para o parâmetro cor aparente calculou-se as taxas de eficiência de remoção, as quais são apresentadas na Figura 15.

**Figura 15 – Taxa de eficiência de remoção de cor aparente**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Pelo comportamento apresentado pela Figura 18 nota-se que os tratamentos com Sulfato de Alumínio e *Moringa oleifera* apresentaram resultados positivos para remoção da cor aparente, durante os tempos de sedimentação a taxa de remoção apresentou crescimento.

Para a remoção de cor aparente, o tratamento com *Moringa oleifera* novamente se destacou, já no tempo t1 apresentando uma taxa de remoção igual a

70,78%. Durante t2 e t3 notou-se crescimento no percentual de remoção e em t4 atingiu seu melhor desempenho, com taxa igual a 90,38%.

Já o tratamento com Sulfato de Alumínio também apresentou crescimento nas taxas de remoção durante os tempos observados, porém com valores inferiores ao do tratamento com a *Moringa oleifera*. Em t1 o Sulfato Alumínio obteve uma remoção de 41,10%, em t3 nota-se seu melhor desempenho com taxa igual a 71,69% e em t4 tem-se uma particularidade, ao invés de manter o mesmo comportamento de crescimento observado até o momento, o tratamento apresentou uma queda de menos de 1% comparado ao t3, registrando uma remoção de 69,86%.

Quando se compara o melhor desempenho dos dois tratamentos, é possível observar que o resultado obtido com a *Moringa oleifera* foi quase 30% superior ao obtido pelo Sulfato de Alumínio.

Kühne, Ceron e Macheimer (2019) ao avaliarem dentre três coagulantes qual apresentava o melhor desempenho na tratabilidade do esgoto sanitário, observaram que o tratamento com Sulfato de Alumínio apresentou remoção de cor aparente de 80 % quando comparado com o efluente bruto. A remoção de cor aparente também foi observada por Andrade e Reis (2018), com o sulfato de Alumínio as remoções variaram entre 10% e 80%. Diferentemente desse estudo, onde a variação da remoção de cor aparente é justificada pelos tempos de sedimentação, os valores obtidos pelos autores variam conforme a concentração de coagulante utilizada, sendo entre 50 mg.L<sup>-1</sup> a 300 mg.L<sup>-1</sup>.

Os valores obtidos para remoção de cor aparente foram submetidos a análise estatística ANOVA a qual é demonstrada na Tabela 7. O teste de Shapiro Wilk demonstrou que não há normalidade entre os valores.

**Tabela 7 - Resultados estatísticos apresentados para o parâmetro cor aparente após análise ANOVA**

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	P-valor
Tratamento	1	2864,5	3	25,0158	0,00020
Tempos	3	2509,7	5	6,7215	0,00381
Tratamento* tempos	3	126,3	4	0,3383	0,79789
Resíduo	16	1991,4	2		
Total	23	7491,9	1		

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Pela Tabela 7, nota-se que os valores de P-valor são menores que 0,05 para as fontes de variação tratamentos e tempos. Para a relação tratamento\*tempo, nota-

se que P-valor é maior que 0,05, demonstrando que não há diferença significativa, considerando 5% de significância. A comparação entre os tratamentos e os tempos são apresentados nas Tabelas 8 e 9.

**Tabela 8 - Comparação das médias de cor aparente para cada coagulante**

Coagulante	Médias
<i>Moringa oleifera</i>	84,34 a
Sulfato de Alumínio	62,49 b

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Tem-se pela Tabela 8 apresentou que há diferença estatística significativa entre os tratamentos, tendo a *Moringa oleifera* apresentado o melhor desempenho na remoção de cor aparente.

**Tabela 9 - Comparação das médias de cor aparente em relação aos tempos**

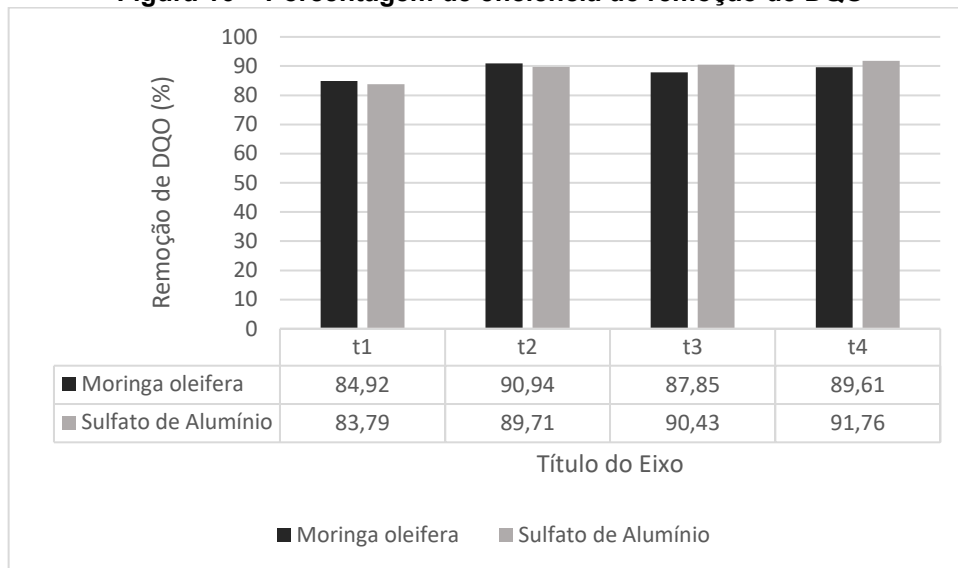
	Tempos			
	t1	t2	t3	t4
Médias	55,93 b	76,65 a	80,12 a	8,98 a

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Já para a análise estatística dos tempos, nota-se que o t1 se diferenciou dos demais tempos de sedimentação, para as médias dos tempos t2, t3 e t4 observou-se que há semelhança estatística significativa entre os valores.

## 5.5 DQO

Os resultados de DQO convertidos para taxa de eficiência de remoção são apresentado na Figura 16.

**Figura 16 – Porcentagem de eficiência de remoção de DQO**

**Fonte: Autoria própria (2023)**

As taxas de remoção de remoção de DQO apresentaram desempenho satisfatório para os dois tratamentos em todos os tempos, com taxas superiores a 80% já no início do processo de sedimentação (t1), conforme visto a partir da Figura 1.

O tratamento com *Moringa oleifera* apresentou uma especificidade. Entre os tempos t1 e t2 obteve um crescimento na taxa de remoção, com valores respectivos de 84,92% e 90,94%. Já entre t2 (90,94%) e t3 (87,85), notou-se uma queda próxima a 3%. O crescimento é observado novamente ao comparar t3 e t4, o último tempo apresentou um aumento de quase 2%, tendo ao final do ensaio uma taxa de remoção igual a 89,61%.

O tratamento com o Sulfato de Alumínio demonstrou um crescimento contínuo durante os quatro tempos analisados. No tempo t1 apresentou uma taxa de 83,79%, no tempo t3 atingiu remoção superior a 90% e ao final do ensaio a taxa de remoção foi igual a 91,76%.

Notou-se que até o tempo t2 o tratamento com *Moringa oleifera* apresentou os melhores resultados. A partir do t3 o tratamento com sulfato de alumínio se destaca e mantém esse comportamento até o fim do ensaio.

Andrade (2019) observou que dentre as dosagens adotadas para o Sulfato de Alumínio e para a *Moringa oleifera* no tratamento do efluente de esgoto sanitário o melhor desempenho para remoção de DQO foi próximo a 11% e 70% para os respectivos tratamentos. Os autores Kühne, Ceron e Machermer (2019) notaram que a taxa de remoção de DQO para o Sulfato de Alumínio foi de 67,1%, apresentando o melhor desempenho entre os coagulantes utilizados.

A Tabela 10 apresenta a análise estatística para a remoção de DQO realizada por meio do ANOVA. Pelo teste de Shapiro Wilk tem-se que os valores de remoção de DQO não apresentaram normalidade.

**Tabela 10 - Resultados estatísticos apresentados para o parâmetro DQO após análise ANOVA**

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	P-valor
Tratamento	1	2,1	3	0,11222	0,74198
Tempos	3	153,76	4	2,73827	0,07769
Tratamento* tempos	3	19,01	5	0,33864	0,79767
Resíduo	16	299,47	2		
Total	23	474,34	1		

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Pelos resultados apresentados pela Tabela 10, nota-se que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, tempos e tratamento\*tempo, isso porque os valores  $Pr > Fc$  são superiores à 0,05, sendo assim não houve necessidade de analisar as médias de cada fonte de variação.

## 5.6 Concentração de metais no lodo gerado no tratamento físico/químico

As amostras de lodo bruto, do tratamento com a *Moringa oleifera* e com o Sulfato de Alumínio (as duas últimas em duplicata) foram encaminhadas para análise de Espectrometria de Absorção Atômica. Os valores determinados são apresentados na Tabela 11 e as médias junto aos respectivos limites legais são observados na Tabela 12.

**Tabela 11 - Concentração dos metais nas amostras de lodo de esgoto**

Amostra	Concentração em mg.Kg <sup>-1</sup>				
	Bruto	Lodo 1 MO	Lodo 2 MO	Lodo 1 SA	Lodo 2 SA
Pb	70,15	48,85	78,3	171	23,9
Cd	ND	ND	20,8	39,2	25,65
Zn	83,9	118,15	107,75	266	128,3
Ni	26,45	34,4	ND	ND	ND
Cr	236	257,2	20,1	38,05	250

Lodo do tratamento com *Moringa oleifera* (Lodo MO); lodo do tratamento com Sulfato de Alumínio (Lodo SA); não detectado (ND).

**Fonte: Autoria própria (2023)**

**Tabela 12 - Concentração médias dos metais nas amostras de lodo de esgoto**

Amostra	Concentração em mg/Kg			Limite CONAMA 375/06 - mg/Kg de massa seca
	Bruto	Lodo MO	Lodo SA	
Pb	70,15	63,58	97,45	300
Cd	ND	20,80	32,43	39
Zn	83,9	112,95	197,15	2800

Ni	26,45	34,40	ND	420
Cr	236	138,65	144,03	1000

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Nota-se por meio da Tabela 5 que houve bastante variação entre as replicatas dos lodos de *Moringa oleifera* e Sulfato de Alumínio. Isso pode ser justificado por dois motivos, o primeiro é que as análises foram realizadas mais de 15 dias após o processo de digestão das amostras de lodo, e a segunda questão é que devido a demanda do laboratório, as medições do lodo bruto e do lodo 1 MO foram feitas com 5 dias de diferença.

Já com os cálculos das médias apresentados na Tabela 6, tem-se que o lodo MO apresentou aumento em relação ao bruto para os seguintes metais: Zn, Ni e o Cd. Para o Pb e o Cr o lodo MO apresentou diminuição em relação ao lodo bruto. Para o lodo SA observou-se resultado superior em relação ao bruto, para o Pb, Cd e Zn, reduzindo a concentração do Cr e para o Ni a concentração estava a baixo do limite da detecção da técnica, assim como o Cd na amostra bruta.

Ao comparar os lodos dos dois tratamentos, tem-se que o tratamento com *Moringa oleifera* gerou um lodo com concentrações menores para Pb, Cd, Zn e Cr, demonstrando por meio desta análise uma vantagem no uso do coagulante orgânico em tratamentos com efluente de esgoto sanitário, quando o objetivo principal é gerar lodo com menor concentração de metais pesados.

Bhom et al. (2019) ao analisar lodo industrial e doméstico com o intuito de verificar a concentração dos metais Pb, Cr, Cu, Ni e Zn pela técnica de espectrometria de absorção atômica com atomização em chama e assim como nessa pesquisa, obteve concentrações abaixo do estipulado pela Resolução CONAMA 375/2006, demonstrando viabilidade na destinação agrícola como uma alternativa ambientalmente adequada.

Já Pedroza et al. (2017) destaca que os lodos de esgoto domésticos apresentam baixa concentração de metais pesados, mas esses valores podem ser influenciados pela presença de esgotos industriais na rede coletora. As elevadas concentrações podem restringir a aplicabilidade agrícola do lodo. Freddi (2019) também destaca esse ponto, evidenciando que mesmo a aplicação do lodo para fins agrícolas tenha inúmeros benefícios, como a reciclagem dos resíduos, melhora das propriedades físico-químicas do solo e presença de nutrientes, quando utilizado sem



análise prévia ou de forma não controlada, substâncias presentes em excesso podem causar danos aos corpos hídricos, ao ambiente e a população.

Sendo assim, mesmo com as variações das concentrações obtidas nas replicatas analisadas nesse estudo, os três lodos estão dentro dos limites estipulados para Resolução CONAMA 375/2006, a qual define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Sendo assim, o lodo gerado durante este estudo, pelo parâmetro de metais pesados está apto a ser utilizado para fins agrícolas.

## 6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, conclui-se que os coagulantes Sulfato de Alumínio e *Moringa oleifera* foram eficientes no tratamento do efluente de esgoto sanitário.

Para os parâmetros pH notou-se pouca influência quando aplicados os coagulantes *Moringa oleifera* e Sulfato de Alumínio utilizados durante o estudo. Para a condutividade elétrica ocorreu a elevação dos valores quando aplicado o coagulante *Moringa oleifera*.

Destaca-se que o coagulante orgânico apresentou as melhores taxas de remoção para os parâmetros turbidez e cor aparente. Para a remoção de DQO, ambos apresentaram remoção satisfatória.

Em relação ao lodo gerado durante o ensaio, não foi possível concluir que o coagulante *Moringa oleifera* foi responsável pela diminuição na concentração dos metais pesados. Para futuros estudos recomenda-se que as análises sejam feitas todas em um mesmo dia e se possível logo após a digestão das amostras, para que não sofram influências externas.

## REFERÊNCIAS

- AFÁZ, D. et al. Composto de lodo de esgoto para cultivo inicial de eucalipto. **Revista Ambiental e Água**, v.12, p.112-123, jan. 2017.
- ALVES, M.F. et al. Nanopartículas e demais processos como auxiliares em tecnologias de tratamento de água e/ou efluente. **In: XXVI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica**, Guarapuva, 2021.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, 2017.
- ANDRADE, P. V. **Uso da semente Moringa Oleífera como coagulante no tratamento terciário de efluente sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, São José dos Campos-SP, 2021.
- ANDRADE, P. V. Uso da semente de moringa oleífera como coagulante no tratamento terciário de efluente sanitário. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Estadual Paulista, São José dos Campos, 2021.
- ANDRADE, Priscila; DOS REIS, Adriano Gonçalves. Tratamento terciário de um efluente sanitário por coagulação, floculação e sedimentação. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 15, n. 2, 2018.
- ANDREOLI, C. V. (Coord.) Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Projeto PROSAB e SENAPAR, Curitiba, PR, 1999.
- ANDREOLI, C. V. et al. Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal, In: **Biossólidos - Alternativas de uso de resíduos do saneamento**, Editora ABES, 2006.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23<sup>a</sup> ed. Washington, 2017 American Public Health Association. 1082p., 2017.
- ARAÚJO, G. M.; ALCÂNTARA, J. S. S.; AFONSO, B. N.. I-005 utilização de coagulantes naturais e não naturais na remoção de turbidez de efluentes de lagoa de estabilização. In: SILUBESA, 19., Pernambuco. **ANAIS [...]** Pernambuco: ABES, 22. p. 1 – 8.
- ARCANJO, A. L. P. et al. Monitoramento de metais em lodo de esgoto por espectrofotometria de absorção atômica. **In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do solo**. Natal, 2015.
- BAPTISTA, A. T. A. et al. Protein fractionation of seeds of Moringa oleifera lam and its application in superficial water treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 180, p. 114–124, 8 jun. 2017.
- BITTENCOURT, C.; PAULA, M. A. S. Tratamento de Água e Efluentes - Fundamentos de Saneamento Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos.

- BRASIL. Fundação Nacional da Saúde. Manual de Saneamento. Brasília: Funasa, p. 173-278, 2019.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 27º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2021. Brasília: SNS/MDR, 2022.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2016.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 31 de maio de 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006.
- BRATBY, J. (2016) Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment, IWA publishing, 450pp.
- CADORE, Solange; MATOSO, Érika; SANTOS, Mirian Cristina. A espectrometria atômica e a determinação de elementos metálicos em material polimérico. **Química Nova**, v. 31, p. 1533-1542, 2008.
- CAMACHO, F. P. et al. The use of Moringa oleifera as a natural coagulant in surface water treatment. **Chemical Engineering Journal**, v. 313, p. 226–237, 2017.
- CARDOSO, K. C. Estudo do processo de coagulação/floculação por meio da CAVALCANTI, J. E. W. de A. MANUAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS. 2. ed. São Paulo: Abes, 2009. 453 p
- CAVALCANTI, J. E. W. de A. MANUAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS. 2. ed. São Paulo: Abes, 2009. 453 p.
- DAVIS, M. Tratamento de Águas para Abastecimento e Residuárias. 1. ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- DOMINGUEZ, D.X. **Avaliação dos riscos ambientais associados à utilização agrícola de lodo de esgoto como condicionador e fertilizante de solo**. Tese (doutorado) – Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 117. 2014.
- DOS REIS NUNES, Larissa; DIAZ, Rafael Rodrigo Licheski. A evolução do saneamento básico na história e o debate de sua privatização no Brasil. **Revista de Direito da Faculdade Guanambi**, v. 7, n. 2, p. 1, 2020.
- FAJARDO, P. **Monitoramento de impactos ambientais pós-implantação de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Tese (Doutorado) – Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p.237. 2019.
- FERNANDES, F.; SOUZA, S. Estabilização de Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, C. V. (1 Ed.). Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e

Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

FERNÁNDEZ, B.; LOBO, L.; PEREIRO, R. Atomic Absorption Spectrometry: Fundamentals, Instrumentation and Capabilities. Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering, **Elsevier**, 2018.

FERREIRA, M.; GARCIA, M. Saneamento básico: meio ambiente e dignidade humana. **Dignidade ReVista**, [S.l.], v. 2, n. 3, p. 12, July 2017..

FREDDI, Letícia Amadeu. Riscos associados à aplicação do lodo de esgoto na agricultura. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 12, n. 24, 2019.

GALLÃO, I.M. et al. Avaliação química e estrutural da semente de Moringa. *Cienc. Agron.*, Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.

GOMES, A. G. **Determinação dos metais Al, Cu, Cd, Pb, Zn and Cr, em lodo residual proveniente de efluentes de uma indústria de embalagem de papel reciclado no interior do Paraná.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

HELLER, Léo et al. Saneamento como política: um olhar a partir dos desafios do SUS. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2018.

HILL, S. J.; FISHER, A. S. Atomic Absorption, Methods and Instrumentation. In: LINDON, J. C.; TRANTER, G. E.; KOPPENAAL, D. W. (Ed.) *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry (Third Edition)*, **Academic Press**, p.37-43, 2017.

HILSDORF, A.S.C. Tratabilidade de águas residuárias de indústrias petroquímicas – estudo de caso. Tese (Mestrado) – Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. P. 181. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa nacional por amostra de domicílios contínua. **Estatísticas sociais**, 2023.

Instituto Trata Brasil. Ranking do Saneamento do Instituto - Trata Brasil de 2023 (SNIS 2021), 2023.

JÚNIOR, A. C. M. et al. Avaliação da eficiência do uso de coagulantes para a remoção de fósforo em efluentes. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, p. 65-81, abr 2023.

JUNIOR, L. B. et al. Caracterização e biodegradação de filmes de quitosana e proteína isolada de soja incorporados com nanocristais de celulose / Characterization and biodegradation of chitosan and soy protein isolate films incorporated with cellulose nanocrystals. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 16681–16718, 8 mar. 2022.

KATO, M. T. et al. Configurações de Reatores Anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014. cap. 3, p. 53-99.

KRUG, Francisco José; ROCHA, FR Piovezani. Métodos de preparo de amostras para análise elementar. **SBQ, Sociedade Brasileira de Química**, São Paulo, 572p, 2016.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3 ed. Campinas: **Editora Átomo**, p.496. 2010.

LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.42, p.421-428, 1978.

LINS, E. A.; SOUZA, F. N.; LINS, A. S. B. M. Análise da viabilidade do lodo de uma estação de tratamento de esgoto como insumo para um tijolo ecológico. In: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2., Foz do Iguaçu. **ANAIS [...]** Foz do Iguaçu, 2019. p. 1 – 8.

LO MONACO, P. A. V et al. Tratamento de esgoto sanitário utilizando coagulante natural seguido de filtro orgânico. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 28-40, 2014.

LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. In: **Lodos de Esgotos – Tratamento e Disposição Final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

MATOS, Simone Pires de. Técnicas de análise química - métodos clássicos e instrumentais - 1ª edição – 2015. **Editora Saraiva**, 2015.

MESQUITA, G. M. **Metodologias de preparo de amostras e quantificação de metais pesados em sedimentos do Ribeirão Samambaia, Catalão-GO, empregando Espectrometria de Absorção Atômica**. 2014. 134 p. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Goiás. Campus Catalão. 2014.

METHODS, C. Methods of soil analysis. Book Series. 1 ed, 1996

NASCIMENTO, D. M. Moringa oleífera uma alternativa viável para tratamento de água. In: **I Congresso internacional da Diversidade do Semiárido**, 2016, Campina Grande.

NUVOLARI, A. Esgoto Sanitário coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola – 2º ed. rev atualizada e ampl. – São Paulo: Blucher, 2011.

NUVOLARI, Ariovaldo. Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola. São Paulo 6ª edição, 1996.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringaoleifera seed. **Water Res.** v.33, n.15, p.3373-3378. 1999.

OLIVEIRA, S. A. **Ensaio exploratório de otimização do tratamento primário da ETAR de Beírolas para incrementar a eficiência energética. Aplicação de Moringa oleífera no processo de coagulação-floculação**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade de Lisboa, 2014.

PEDROZA, M. M. et al. Determinação das características de lodo de esgoto anaeróbio. In: **Jornada de Iniciação Científica e Extensão (JICE)**, 8., Tocantins. 2017.

PEDROZA, M. M., Pedrosa, A. L., Paz, E. C. S., Vieira, G. E. G., Souza, J. F. (2017) Pirólise de lodo de esgoto em cilindro rotativo para a produção de biocombustíveis, **Revista AIDIS**,10(2), 2017. p. 151-163.

PEREIRA, E. R. et al. Integração de sistemas alagados construídos com uso de coagulantes orgânicos no tratamento de efluentes de restaurante universitário / Integration of wetlands with the usage of alternatives organics coagulants in university's restaurant effluent treatment. **Brazilian Journal of Development**, 6(5), 2020.

PEREIRA, H. S. et al. Aplicação de coagulação/floculação para adequação de efluentes de lagoas de estabilização ao tratamento em membranas de ultrafiltração. In: Congresso Brasileiro de Gestão ambiental, 9., São Bernardo do Campo. **ANAIS [...]** São Bernardo do Campo: IBEAS, 2018. p. 1-7.

RAGIO, R. A. et al. Pós-tratamento de efluente de reator UASB usando sulfato de alumínio e membranas de ultrafiltração: remoção de fósforo e matéria orgânica. In: Simpósio de Ciência e Tecnologia Ambiental: Desafios e Perspectivas, Santo André, 1., **ANAIS[...]**. Santo Andre, 2019. P. 74-80.

RENAULT, F. et al. Chitosan for coagulation/flocculation processes - An eco-friendly approach. **European Polymer Journal**, v. 45, p. 1337–1348, 2009.

RIBEIRO, T. et al. Associação de nanopartículas magnéticas a coagulantes orgânicos no tratamento e efluente de indústria de laticínio. In: **XXIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica**, 8. Apucarana, 2018

RICHTER, C.A.; NETTO, J.M.A. Tratamento de Água. 1. ed. Editora Blucher, 1991.

RORAT, A. et al. Sanitary and environmental aspects of sewage sludge management. *Industrial and Municipal Sludge*, p. 155–180, 2019.

ROSALINO, M. R. R. Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

SANTOS, S. N.; ALLEONI, L. Reference values for heavy metals in soils of the Brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.185, p.5737-5748, 2013.

SECKLER, S.. Tratamento de Água - Concepção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento. Grupo GEN, 2017.

SECKLER, Sidney. **Tratamento de Água - Concepção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2017. *E-book*. ISBN 9788595153851.

SILVA, F. et al. Principais contaminantes do lodo. In: **Lodos de Esgotos – Tratamento e Disposição Final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

SIQUEIRA, M.E.T. **Estudo da utilização de coagulantes naturais e químicos em uma estação de tratamento de água piloto (ETA-piloto)**. Tese (Mestrado) – Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, Maringá. P.104, 2012.

SOARES, E. J. S. et al.. Potencial de vegetais para produção de coagulantes visando aplicação no tratamento de água: revisão sistemática. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.2, p.292-302, 2021.

SOROKA et al. Remoção de fósforo de efluente doméstico, bruto e tratado, utilizando quatro diferentes coagulantes: cloreto férrico, policloreto de alumínio, sulfato de alúminio e tanfloc SG. 1 jan. 2020.

SOUZA, L. Avaliação da disposição final de lodo de esgoto no solo através de ensaios preliminares de respirometria. Tese (Especialização) - Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Jaguaruina. p. 45, 2016.

TAWAKKOLY, B.; ALIZADEHDAKHEL, A.; DOROSTI, F. 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, out. 2019.

TCHOBANOGLIOUS, K.J.H. et al. Princípios de tratamento de água. São Paulo, SP: Cengage, 2016.

THEODORO, J.D.P. **Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano**. Tese de Doutorado (Departamento de Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá. P. 184, 2012.

THEODORO, J.P. D. et al. Estudo de extração salina da semente de Moringa oleifera Lam aplicado na remoção do parâmetro cor para o tratamento de água potável. p. 275–283, 17 maio 2015.

TONETTI, A. L., 1973- Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções. /Ana Lucia Brasil, Francisco José Peña y Lillo Madrid, et al. -- Campinas, SP.: Biblioteca/Unicamp, 2018.

VAZ, L. G. de L. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento o efluente líquido gerado na galvanoplastia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.

VIZIBELLI, D. et. al. Uso de diferentes tipos de filtros associados aos coagulantes Moringa oleifera e Cloreto Férrico no tratamento de água. In: XXII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica, 7. Londrina, 2017.

VON SPERLING, m. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4a edição. volume 3. Belo Horizonte: **Editora UFMG**, 2014. 470.