



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL - CAMPUS ERECHIM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**LUÍS GUSTAVO BRESSAN**

**COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE ELETROCOAGULAÇÃO E  
COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO APLICADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE  
TÊXTIL SINTÉTICO**

**ERECHIM – RS, 2023**

## FICHA CATALOGRÁFICA

### Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Bressan, Luís Gustavo

COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE ELETROCOAGULAÇÃO E COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO APLICADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL SINTÉTICO / Luís Gustavo Bressan. -- 2023.

64 f.:il.

Orientadora: Doutora Gean Delise Leal Pasquali Vargas

Co-orientadora: Doutora Adriana Dervanoski

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Erechim,RS, 2023.

1. Corante. 2. Tratamento físico-químico. 3. Eletroquímico. 4. Efluente têxtil. I. Vargas, Gean Delise Leal Pasquali, orient. II. Dervanoski, Adriana, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**LUÍS GUSTAVO BRESSAN**

**COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE ELETROCOAGULAÇÃO E  
COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO APLICADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE  
TÊXTIL SINTÉTICO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS. Para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, defendido em banca examinadora em 27/11/ 2023.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gean Delise Leal Pasquali

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Dervanoski

Aprovado em: 27/11/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gean Delise Leal Pasquali – UFFS

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Dervanoski – UFFS

---

Prof. Dr. Cleuzir da Luz – UDESC

---

Prof. Dr. Eduardo Pavan Korf - UFFS

**ERECHIM – RS, 2023.**

**LUÍS GUSTAVO BRESSAN**

**COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE ELETROCOAGULAÇÃO E  
COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO APLICADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE  
TÊXTIL SINTÉTICO**

Dissertação do Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gean Delise Leal Pasquali

**Coorientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Dervanoski

**ERECHIM – RS, 2023.**

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>A problemática da contaminação dos recursos hídricos .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Efluente Têxtil .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Corante Azul Marinho .....</b>	<b>14</b>
<b>3.4</b>	<b>Tecnologias de tratamento de efluentes industriais .....</b>	<b>15</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Processos Físicos.....</b>	<b>15</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Processos Biológicos.....</b>	<b>16</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Processos Químicos.....</b>	<b>16</b>
<b>3.5</b>	<b>Coagulação/Floculação .....</b>	<b>17</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Coagulantes no tratamento de efluentes.....</b>	<b>18</b>
<b>3.6</b>	<b>Eletrocoagulação .....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Efluente sintético e coagulantes .....</b>	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>Metodologia analítica.....</b>	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Ensaio de coagulação/floculação .....</b>	<b>22</b>
<b>4.4</b>	<b>Ensaio de eletrocoagulação .....</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>27</b>
<b>5.1</b>	<b>Remoção da concentração do corante AM-16.....</b>	<b>27</b>
<b>5.2</b>	<b>Remoção de turbidez .....</b>	<b>32</b>
<b>5.3</b>	<b>Remoção de Carbono Orgânico Total (COT) .....</b>	<b>35</b>
<b>5.4</b>	<b>Remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) .....</b>	<b>38</b>
<b>5.5</b>	<b>Testes de toxicidade .....</b>	<b>41</b>
<b>5.6</b>	<b>Comparativos dos resultados médios de remoção .....</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a todos que participaram do desenvolvimento desta pesquisa, sendo cada um fundamental para a conclusão da dissertação.

Aos bolsistas Gabriela, Nicolas e a Mika que estiveram comigo no laboratório auxiliando em cada uma das análises que eram feitas.

Aos meus colegas e professores do mestrado, mestrado que me acompanharam e me instruíram ao longo de todo o programa de pós-graduação.

Aos técnicos e seguranças do campus, pela disposição e paciência em atender-me sempre que necessário, instruindo sobre os laboratórios e equipamentos.

À minha orientadora e professora, Gean Delise Leal Pasquali Vargas que me acompanhou desde a entrada no mestrado até na reta final, me aceitando como seu orientando e agindo sempre com paciência e disponibilidade, mesmo diante das minhas dificuldades. Obrigado por ter confiado em mim, me orientado e auxiliado ao longo de toda a pesquisa e curso.

À minha coorientadora e professora, Adriana Dervanoski que esteve me auxiliando tanto nas atividades em Chapecó, quanto nas atividades em Erechim, sendo fundamental tanto na parte escrita da minha pesquisa quanto na parte prática.

Aos meus irmãos da Renovar em Cristo que me apoiaram e encorajaram a terminar o mestrado, de forma especial aos pastores José Paulo e Adriel Nogueira que compreenderam a minha ausência em determinados momentos devido as atividades acadêmicas.

Aos meus irmãos na fé, Elizandro, Jean, Alisson, Nathan, Erick, Eduardo e Jhoi, por todo apoio e encorajamento ao longo dos últimos dois anos.

Ao meu pai, Jerri e a sua família, Lucas e Marcia, por todos os cuidados e apoio, mesmo que distante sempre esteve presente me instigando ao estudo.

À minha mãe, Lindamir, que sempre cuidou de mim, mesmo nos momentos de dificuldade esteve presente me orientando e guiando nos caminhos do Senhor, sempre sendo um pilar em minha vida.

Aos meus irmãos, Nicolas e Laura, sou grato por cada momento e sorriso de vocês que me ajudaram a continuar e terminar o curso.

E principalmente ao meu Senhor Jesus Cristo, que esteve comigo todos os dias da minha vida, até mesmo naqueles em que eu me sentia sozinho, nas viagens Ele cuidou de mim, nas madrugadas nos laboratórios me deu força, preservou minha saída e não há mais palavras para agradecer-Lo por tudo que fez por mim.

## RESUMO

### COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE ELETROCOAGULAÇÃO E COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO APLICADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL SINTÉTICO

AUTOR: Luís Gustavo Bressan

ORIENTADORA: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Gean Delise L. Pasquali

COORIENTADORA: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Adriana Dervanoski

O Brasil apresenta uma forte movimentação econômica na indústria têxtil, sendo responsável pelo faturamento de 190 bilhões de reais em 2021 e o setor de confecção é o 2º maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para alimentos. Devido a sua grande importância preocupa-se com as diferentes etapas do setor têxtil e seus impactos ambientais. O presente estudo foi realizado buscando comparar a eficiência dos tratamentos de coagulação/floculação e eletrocoagulação aplicados a um efluente têxtil sintético contendo o corante azul marinho (AM-16). Para o processo de coagulação/floculação utilizou-se policloreto de alumínio (PAC 18%) e sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) como coagulantes e o polímero catiônico (PC) como auxiliar de coagulação. Os tratamentos de coagulação/floculação foram avaliados nas concentrações do corante na faixa de 150 - 350 mg L<sup>-1</sup>, concentração do PAC-18% (faixa de 10 - 50 mg L<sup>-1</sup>), concentração do PC (faixa de 0,1-0,5), pH inicial (faixa de 5-9). Para os ensaios com o  $Al_2(SO_4)_3$  as mesmas faixas de estudo foram aplicadas, com exceção apenas do pH inicial, onde a faixa utilizada foi de 4 a 8. Para o processo de eletrocoagulação utilizou-se eletrodos de alumínio, sendo a mesma conduzida utilizando-se a faixa de concentração para o corante de 150 a 350 mg L<sup>-1</sup> e a corrente aplicada de 0,3 a 0,9 A. As variáveis de resposta foram a remoção do contaminante (AM-16), remoção de cor, demanda química de oxigênio (DQO), carbono orgânico total (COT) e redução de toxicidade utilizando microcrustáceo *Artemia salina* como bioindicador. O objetivo foi comparar o desempenho dos diferentes métodos de tratamento (coagulação/floculação e eletrocoagulação), bem como avaliar como todas as variáveis independentes e suas interações afetaram a eficiência dos processos. Os resultados encontrados através da análise estatística demonstraram que fator de maior influência no processo de coagulação/floculação para a remoção da concentração do corante AM-16 foi o pH inicial, tanto para o PAC -18%, quanto para o sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ). No entanto, para o sulfato de alumínio a concentração do corante também teve influência, indicando que o aumento no pH e na concentração do corante favorecem

a remoção. Quanto a toxicidade do efluente após os tratamentos houve uma de redução média máxima de aproximadamente 11% para o tratamento com o  $Al_2(SO_4)_3$ . A eletrocoagulação não apresentou nenhuma variável significativa nos níveis estudados, entretanto apresentou um bom desempenho médio na remoção da concentração do corante (83,68%) e da cor (95,1%) do efluente. Os dois processos de tratamento avaliados (coagulação/floculação e eletrocoagulação) demonstraram eficiência para as variáveis estudadas e seus níveis. Entretanto os processos de coagulação/floculação tiveram um melhor desempenho se levarmos em consideração as remoções obtidas no conjunto das variáveis de resposta avaliadas.

**Palavras-chave:** Corante; Tratamento físico-químico; Eletroquímico; Efluente têxtil.



## ABSTRACT

### COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE ELETROCOAGULAÇÃO E COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO APLICADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL SINTÉTICO

AUTOR: Luís Gustavo Bressan

ORIENTADORA: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Gean Delise L. P. Vargas

COORIENTADORA: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Adriana Dervanoski

Brazil has a strong economic movement in the textile industry, being responsible for revenue of 190 billion reais in 2021 and the clothing sector is the 2nd largest employer in the processing industry, second only to food. Due to its great importance, it is concerned with the different stages of the textile sector and its environmental impacts. The present study was carried out seeking to compare the efficiency of coagulation/flocculation and electrocoagulation treatments applied to a synthetic textile effluent containing the dye navy blue (AM-16). For the coagulation/flocculation process, aluminum polychloride (PAC 18%) and aluminum sulfate ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) were used as coagulants and cationic polymer (PC) as a coagulation aid. Coagulation/flocculation treatments were evaluated at dye concentrations in the range of 150 - 350 mg L<sup>-1</sup>, PAC-18% concentration (range of 10 - 50 mg L<sup>-1</sup>), PC concentration (range of 0.1 - 0.5), initial pH (range 5-9). For the tests with  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , the same study ranges were applied, with the only exception of the initial pH, where the range used was 4 to 8. For the electrocoagulation process, aluminum electrodes were used, and it was conducted using a concentration range for the dye of 150 to 350 mg L<sup>-1</sup> and the applied current of 0.3 to 0.9 A. The variables responses were contaminant removal (AM-16), color removal, chemical oxygen demand (COD), total organic carbon (TOC) and toxicity reduction using the microcrustacean *Artemia salina* as a bioindicator. The objective was to compare the performance of different treatment methods (coagulation/flocculation and electrocoagulation), as well as evaluate how all independent variables and their interactions affected the efficiency of the processes. The results found through statistical analysis demonstrated that the factor with the greatest influence on the coagulation/flocculation process for removing the AM-16 dye concentration was the initial pH, both for PAC -18% and for aluminum sulfate ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ). However, for aluminum sulfate, the dye concentration also had an influence, indicating that the increase in pH and dye concentration favors removal. Regarding the toxicity of the effluent after the treatments, there was a maximum

average reduction of approximately 11% for the treatment with  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Electrocoagulation did not present any significant variable at the levels studied, however it presented a good average performance in removing the dye concentration (83.68%) and color (95.1%) from the effluente. The two treatment processes evaluated (coagulation/flocculation and electrocoagulation) demonstrated efficiency for the studied variables and their levels. However, the coagulation/flocculation processes performed better if we take into account the removals obtained in the set of response variables evaluated.

**Keywords:** Dye; Physicochemical treatment; Electrochemical; Textile effluent.

# 1 INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas têm influenciado na escassez dos recursos no planeta e diante disso é necessário atitudes urgentes para reduzir estes impactos, principalmente em relação aos recursos hídricos, os quais são essenciais para a manutenção da vida na Terra (Athaydes, Parolin e Crispim, 2021). Os recursos hídricos passam por diferentes tratamentos antes de serem consumidos pelos humanos, da mesma forma o efluente produzido, é tratado antes de ser liberado nos corpos hídricos. Em ambos os casos são utilizadas técnicas físicas, químicas e biológicas para a descontaminação (Mazzutti, Klamt e Faro, 2023), sendo que a escolha do método de tratamento a ser adotado, dependerá exclusivamente das características do efluente a ser tratado.

A indústria têxtil demonstra grande importância para o mercado econômico, porém a produção e o tingimento de tecidos resultam em descartes de efluentes ricos em corantes e outras substâncias que podem vir a causar sérios impactos ambientais (Stone et al., 2020), se lançados sem o devido tratamento. A Associação Brasileira da Indústria Têxtil e da Confecção (ABIT, 2023) registrou no Brasil o faturamento estimado de R\$ 190 bilhões no ano de 2021 e o setor de confecção representa o 2º maior empregador da indústria de transformação, gerando empregos e renda (Cavalcanti e Santos, 2021).

O ramo têxtil utiliza em média de 70 a 250 L de água por kg de tecido produzido, em que apenas 80% são fixados no tecido (Xavier et al., 2021), além do descarte do efluente de composição heterogênea e tóxica (Santos, Barcellos e Piccoli, 2017). As indústrias têxteis são as principais utilizadoras de corantes, sendo que do total utilizado, 20% são descartados nos corpos hídricos gerando efluentes de coloração acentuada e contaminados (Castro et al., 2021). Estes compostos são de difícil remoção devido a sua composição química (Schallemberger et al., 2023), pois são estáveis a luz, ao calor e não são biodegradáveis (Monteiro et al., 2017), o que torna alguns sistemas de tratamento convencionais obsoletos e ineficientes (Colpini et al., 2020).

O lançamento de corantes no ambiente aquático através dos efluentes da indústria têxtil tem gerado problemas ambientais como a inibição da penetração de luz, impedindo o desenvolvimento de seres fotossintetizantes, interferindo na base da cadeia alimentar (Xavier et al., 2021; Tranker, 2021). Além de apresentarem características tóxicas (Rodrigues, 2017), estudos apontam a correlação entre o câncer e os corantes sintéticos (Bharti *et al.*, 2019; Arl *et al.* 2019; Singh e Chadha, 2016, Wang *et al.*, 2018). Diante dos fatos apresentados, torna-se essencial avaliar as diferentes técnicas para remoção destes contaminantes dos efluentes produzidos nas indústrias têxteis. Dentre as diversas tecnologias aplicadas atualmente, encontram-se as seguintes: coagulação/floculação, eletrocoagulação, degradação química com

ozônio, processos Fenton, adsorção dentre outros (Macedo et al., 2019).

As tecnologias existentes e os avanços tecnológicos têm permitido que as formas de tratamento se tornem cada vez mais baratas e eficientes, porém estudos comparativos entre a coagulação/floculação utilizando auxiliares de coagulação e o processo de eletrocoagulação, para efluentes de industrial têxtil, são escassos. Além disso, a legislação brasileira tornou-se rigorosa com relação aos efluentes da indústria têxtil, em que nenhum descarte pode ser realizado sem o devido tratamento para remoção do corante, diminuindo os impactos nos corpos receptores (CONAMA, 2011). Assim, o presente estudo teve como objetivo comparar a eficiência das técnicas de eletrocoagulação e coagulação/floculação aplicadas na remoção do corante azul marinho (AM-16) em amostras de efluente sintético, analisando diferentes variáveis e como estas interferem na eficiência destes tratamentos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Comparar os processos de eletrocoagulação e o físico-químico de coagulação/floculação no tratamento de efluente sintético contendo o corante têxtil azul marinho (AM- 16).

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar as condições de tratamento do processo de coagulação/floculação utilizando diferentes agentes coagulantes (Policloreto de alumínio PAC 18% e  $Al_2(SO_4)_3$ ).
- Avaliar a remoção do corante sintético através do processo de eletrocoagulação utilizando eletrodos de alumínio.
- Realizar um estudo comparativo entre os dois processos.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 A problemática da contaminação dos recursos hídricos**

Os recursos hídricos são os mais afetados pelo descarte incorreto dos efluentes, assim como todo o ecossistema aquático apresenta-se como extremamente frágil, sendo que qualquer alteração físico-química prejudica toda a biodiversidade existente nesses locais (Rocha; et al., 2006). As atividades antrópicas tem influenciado na escassez dos recursos no planeta e diante disso é necessário atitudes urgentes para reduzir estes impactos, principalmente em relação aos recursos hídricos, os quais são essenciais para a manutenção da vida na Terra (Athaydes; Parolin; Crispim, 2021).

As águas provenientes das nascentes subterrâneas e superficiais são fundamentais para o suporte populacional, e na maior parte dos casos é necessário que esta água passe por tratamentos adequados antes do consumo humano. Este fenômeno acontece nas Estações de Tratamento de Água (ETA), da mesma forma os esgotos ou efluentes precisam de tratamento antes de serem liberados nos rios e os locais em que acontece este tratamento são chamados de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) ou efluentes. Em ambas as estações acontecem processos físicos, químicos e biológicos que ajudam na purificação dos recursos hídricos (Mazzutti; Klamt; Faro, 2023).

A contaminação das águas pode ocorrer de diferentes formas, sendo que uma das principais é por meio da deposição de efluentes domésticos ou industriais (Crespilho; Rezende, 2004) e com isso a demanda pelo desenvolvimento e avanço de técnicas para o tratamento destas águas residuárias são fundamentais, para a segurança em sua utilização ou reutilização, redução e reaproveitamento (Schallemberger; et al., 2023).

#### **3.2 Efluente Têxtil**

A indústria têxtil demonstra grande importância para o mercado econômico, porém a produção e o tingimento dos tecidos resultam em descartes de efluentes que podem causar sérios impactos ambientais (Stone; et al., 2020). Os corantes descartados no esgoto são um dos principais contribuintes para o aumento da toxicidade de efluentes têxteis, exigindo atenção no tratamento destes resíduos por meio de diferentes técnicas que removam os componentes químicos responsáveis pelos impactos no meio ambiente (Schallemberger; et al., 2023).

Os corantes têxteis sintéticos são formados por moléculas complexas, estáveis a exposição da luz e resistentes a ataques de microrganismos, tornando-se assim de difícil remoção (Schallemberger; et al., 2023). Estes contaminantes, mesmo em baixas concentrações são visíveis

e impedem a penetração da radiação solar, alterando o pH da água, e assim impactando nos ecossistemas aquáticos, podendo resultar em alterações nos ciclos biológicos e afetar os organismos existentes no local de descarte (Pereira; Alves, 2012). Os corantes têxteis podem causar efeitos crônicos naqueles que ingerem, dependendo da concentração e duração da exposição, estes produtos são letais, mutagênicos e cancerígenos (Arl; et al., 2019).

A legislação brasileira tornou-se rigorosa referente aos efluentes da indústria têxtil, onde nenhum descarte pode ser realizado sem o devido tratamento para remoção do corante, diminuindo os impactos ecológicos e toxicológicos nos corpos receptores (CONAMA, 2011) Com isso a preocupação das indústrias têxteis não é somente socioambiental, mas também legal.

### **3.3 Corante Azul Marinho**

O processo de tingimento remete-se a milhares de anos em que há registros históricos das comunidades antigas extraindo resíduos das plantas que ajudavam a tingir as roupas (Guaratini; Zanoni, 2000).

O surgimento de corantes sintéticos permitiu maior variabilidade de cores, as quais são raras de encontrar na natureza. Devido a isto uma rápida ascensão econômica destes produtos aconteceu, no entanto, estes corantes podem gerar problemas a saúde humana e aos ecossistemas aquáticos, assim o retorno do uso dos corantes naturais tem crescido. Uma das cores mais populares tanto por meio de corantes sintéticos quanto naturais é o azul marinho (Comlekcioglu; Efe; Karaman, 2015).

O tingimento é um fator de grande influência para o crescimento comercial da indústria têxtil. O elevado padrão exigido pelo consumidor sobre o produto como a lavagem e transpiração exigem muito cuidado em relação as propriedades físicas, químicas e econômicas dos corantes (Paschoa; Tremiliosi-Filho, 2005). Assim a necessidade de propriedades tão específicas geraram a criação de quase 2 mil corantes sintéticos (Zollinger, 1991), entre esses está o corante Azul Marinho – 16 (AM – 16).

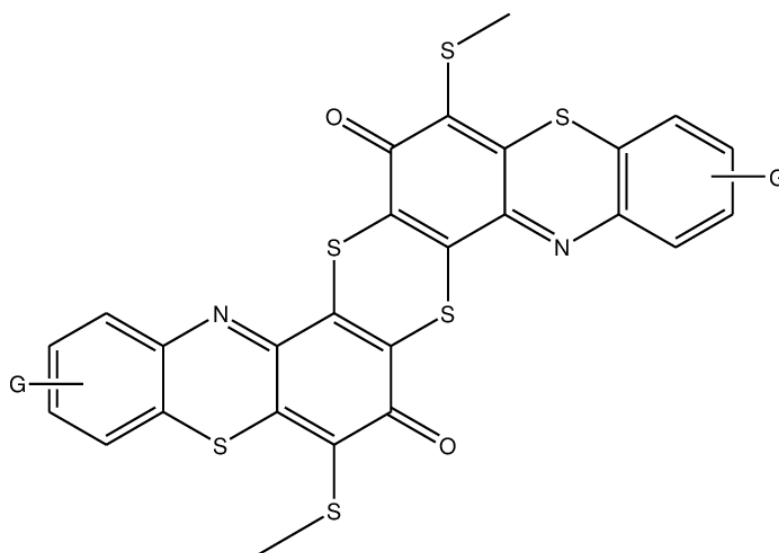
O corante azul marinho – 16 é classificado como corante de enxofre ou sulfuroso (Figura 1), pois quando aplicados caracterizam-se por serem altamente insolúveis em água, propriedade esta gerada pelo corante apresentar compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos (Ferreira, 2019). A solubilidade do corante AM – 16 só é possível após tratamento com ditiônico de sódio que o torna solúvel, sendo reoxidados sobre a fibra por meio do contato com o ar, estes corantes são utilizados em fibra celulósicas, apresentam boa fixação e grande utilização, mas são altamente tóxicos (Paschoa; Tremiliosi-Filho, 2005).

O azul marinho – 16 encontra-se no grupo conhecido como aniônico dentro da classe de

corantes diretos (Robinson; et al., 2001). Os corantes diretos são compostos capazes de tingir fibras de celulose através de interações de Van der Waals, além disso são solúveis em água (Andrade, 2019).

Este grupo é caracterizado principalmente por corantes pré-transformados em complexos metálicos ou formados por mais de um grupo azo (Guaratini; Zanoni, 2000). O fato do corante azul marinho - 16 apresentar propriedades aniônicas permite que ele tenha uma forte interação com polímeros de caráter aniônico (Rinaudo, 2006). A Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico do azul marinho – 16, apresenta o mesmo como um corante direto, no entanto, não contém maiores informações da sua composição química, possivelmente por suas formulações serem de segredo industrial.

Figura 1 – Estrutura química do corante sulfuroso (Zollinger, 1991).



### 3.4 Tecnologias de tratamento de efluentes industriais

O propósito de tratamento de efluentes consiste em remover substâncias indesejáveis da água por meio de diferentes etapas devolvendo-a para os corpos hídricos de maneira que a legislação ambiental permita ou mesmo para o reuso da própria indústria, estes processos são divididos em: químicos, físicos e biológicos (Marcondes, 2012).

#### 3.4.1 Processos Físicos

Os processos físicos caracterizam-se pelo método de separação por fases, sendo os principais o gradeamento, o peneiramento, sedimentação/decantação e por flotação de resíduos (Crespilho; et al., 2004). A técnica de separação por gradeamento tem como finalidade reter os materiais sólidos maiores no esgoto por meio de grades de metal, este processo ajuda a proteger

válvulas, bombas e tubulações (Brandão; Castilho, 2001).

A segunda técnica chamada de peneiramento ajuda na remoção de sólidos com granulometria superior a 0,25 mm, os equipamentos utilizados para esse processo são chamados de peneiras, elas podem ser estáticas ou rotativas (Carreira, 2006). Este processo é utilizado principalmente por indústrias e em alguns casos reaproveitar os sólidos (Mello, 2007).

Além desses ainda há a sedimentação ou decantação e a flotação. O primeiro consiste na redução da matéria orgânica presente nos esgotos, removendo os sólidos flutuantes (Marcondes, 2012). A sedimentação acontece em tanques de sedimentação ou decantadores, onde os sólidos brutos decantam por apresentarem densidade superior que ao do líquido, este lodo é conhecido como “lodo primário bruto” (Mello, 2007).

O último processo físico chamado de flotação é uma técnica que envolve a inserção de bolhas de ar a uma suspensão de partículas, onde acontece a união destas duas formando uma substância (lodo) que pode ser removido por técnicas mais simples depois (Massi; et al., 2008).

### **3.4.2 Processos Biológicos**

O processo biológico envolve o uso de microrganismos aeróbios e anaeróbios que usam a matéria orgânica dos efluentes em seu metabolismo, gerando compostos mais simples como sais minerais, gás carbônico, água e outros, este método é dividido de acordo com os microrganismos presentes no processo (Marcondes, 2012). O processo biológico aeróbio ocorre a degradação das substâncias orgânicas por meio de processos oxidativos, nos quais acontecem quando os microrganismos presentes no efluente usam O<sub>2</sub> para biodegradação e transformam a matéria orgânica em alimento (Barcello; Carvalho, 2012). O lodo ativado é o método aplicado para o processo aeróbio sendo um dos mais eficiente, este lodo é formado quando há uma massa microbiana floculante presente nos efluentes que é submetida a aeração (Marcondes, 2012).

O processo biológico anaeróbio acontece quando os microrganismos presentes realizam a biodegradação na ausência de oxigênio molecular, resultando neste processo metano e dióxido de carbono, deixando nos efluentes algumas substâncias como amônia, sulfeto e fosfato (Barcello; Carvalho, 2012). Devido a presença de diferentes bactérias presentes no processo acontece uma sucessão de reações bioquímicas, começando pela hidrólise de proteínas, lipídios e carboidratos até a formação de gás metano e dióxido de carbono (Kunz; Steinmetz; Do Amaral, 2022).

### **3.4.3 Processos Químicos**

Os processos químicos no tratamento de efluentes envolvem o uso de substâncias químicas que aumenta a eficiência do processo de remoção dos coloides por meio da alteração da estrutura



química, geralmente combinado com processos físicos e biológicos (Mello, 2007). O tratamento com produtos químicos é feito quando há legislação ambiental exige a remoção de substâncias que não são eliminadas pelos processos físicos e biológicos, geralmente estes são os nutrientes e microrganismos patogênicos, sendo os principais a cloração, ozonização, radiação ultravioleta e processos eletrolíticos (Marcondes, 2012).

O processo da cloração é atualmente o método mais utilizado no tratamento de água para consumo humano, além disso também é aplicado para o tratamento de águas residuárias (Oliveira; Reis; Hoffmann, 2022), normalmente é empregado como cloro gasoso, hipoclorito de sódio ou de cálcio, com baixo custo de implementação e fácil operação torna essa técnica popular no meio industrial (Marcondes, 2012). A cloração tem uma forte influência na remoção de microrganismos e diminui a produção de gás sulfídrico, substância que é responsável por odores desagradáveis, prejuízos aos equipamentos das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) e a saúde humana (Silva; Daniel, 2015).

A ozonização é uma técnica de tratamento de efluentes que se apresenta como uma alternativa para o uso do cloro, para a remoção de diferentes substâncias, esse processo é vantajoso, pois não produz lodo (Trevozami; et al., 2019). O processo consiste em inserir ozônio no efluente, responsável pela quebra das moléculas dos coloides presentes transformando-os em substâncias degradáveis (Liakou; Pavlou; Lyberato, 1997).

A radiação ultravioleta é um tratamento que apresenta alta eficiência na inativação de organismos patogênicos e algas, mesmo sendo utilizado sozinho. A radiação UV afeta o DNA destes organismos impedindo-os de se reproduzirem (Marcondes, 2012). Este processo envolve o uso de radiação emitida por meio de lâmpadas de vapor de mercúrio (baixa ou média pressão), geralmente com comprimento de onda próximo de 254 nm, faixa em que atinge o material genético dos microrganismos (Pedroso, 2018).

### **3.5 Coagulação/Floculação**

O Brasil apresenta nas estações de tratamento de água (ETAs) a técnica de ciclo completo, dividida em coagulação, floculação, sedimentação e filtração granular rápida (DI Bernardo e Dantas, 2005). Dentre essas, a operação dominante é a coagulação onde geralmente utiliza-se o sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ), substância com baixo custo e maior eficiência na formação de flocos em relação a maioria dos produtos no mercado (Seneda; Garcia; Reis, 2021).

A coagulação é dividida em duas etapas: (1) coagulação propriamente dita onde ocorre a adição de alguma substância química que interagem com as partículas coloidais gerando uma desestabilização elétrica permitindo que estas se juntem; (2) após essa etapa ocorre a floculação,

processo no qual o fluido é movido lentamente, de maneira que os coloides passem a colidir gerando flocos que poderão ser removidos por procedimentos mais simples (Richter, 2009).

Atualmente diferentes produtos estão sendo estudados como alternativas para o sulfato de alumínio, e um deste produto é o policloreto de alumínio (PAC). O PAC é um coagulante polimérico inorgânico à base de alumínio e proveniente da bauxita (Zhang; et al., 2017), que apresenta algumas vantagens em relação aos coagulantes tradicionais. A baixa liberação de íons de  $H^+$  é a principal vantagem, pois isso reduz a necessidade de um reajuste de pH, além de sua rápida interação com os coloides formando os flocos para remoção (Seneda; Garcia; Reis, 2021). Já os polímeros floculantes ajudam na etapa de floculação e tem sido apresentado como uma nova alternativa para o tratamento de água e efluentes (Petri; et al. 2019).

### 3.5.1 Coagulantes no tratamento de efluentes

O sulfato de alumínio, cuja fórmula química é  $Al_2(SO_4)_3$ , é amplamente estudado e utilizado, sendo um composto que participa no processo de coagulação onde ele atua removendo substâncias e partículas suspensas nos corpos hídricos. O método ocorre por meio da precipitação e arrasto daquilo que está presente na água (Coral; et al., 2009).

A eficiência do sulfato de alumínio é maior quando o efluente apresenta grupos orgânicos funcionais, por isso para melhor funcionamento do coagulante é necessária elevada carga orgânica, geralmente presente nos efluentes das indústrias têxteis (Anjos, 2016). A coagulação resultante do uso do sulfato de alumínio combinado com o efluente, gera íons metálicos de alumínio livres ( $Al^{3+}$ ) (Equação 1). Após isso os íons combinam-se com as moléculas de água resultando em hidróxido de alumínio (Equação 2), onde acontece uma alcalinidade natural e posteriormente acontece uma alcalinidade inserida (Equação 3) (Resende, 2018).



O sulfato de alumínio tem demonstrado boa eficiência no tratamento de águas residuárias, porém estudos apontam que o alumínio pode vir a ter relação direta com o surgimento do Alzheimer, além gerar impactos ambientais (Pereira, 2007; Dey e Singh, 2022; Bassi; Fernandes; De Lapena, 2016). Atualmente este coagulante é o mais utilizado apresentando uma eficiência

média de remoção de cor e turbidez dos efluentes têxteis próxima a 40% (Piantá, 2008). Devido aos problemas ambientais e de saúde, a busca por outros coagulantes tornou-se uma alternativa cada vez mais interessante para as indústrias.

A possibilidade da substituição dos coagulantes inorgânicos tradicionais como o sulfato de alumínio e o cloreto férrico por polímeros orgânicos e inorgânicos, está sendo estudado (Ribeiro; Andrade; Reis, 2019), sendo que um destes polímeros é o policloreto de alumínio (PAC) que é constantemente apresentado como uma das alternativas para o tratamento de efluentes, este é formado a partir da neutralização da solução de alumínio por uma base forte como o NaOH (Seneda; Garcia; Reis, 2021), outra vantagem é a sua alta disponibilidade no mercado nacional (Howe; et al., 2017).

A correlação química e física apresentada pela literatura sobre a otimização do processo de coagulação por meio do PAC ainda é escassa (Kamiwada; Andrade; Reis, 2020). A classificação do PAC no mercado é definida pelo seu grau de neutralização ( $r$ ) ou basicidade:

(...) podendo ser encontrado entre os valores de  $r$  de 0 a 3 e com basicidade variando de 0 a 100%. A basicidade comumente encontrada no mercado é de 15 a 85%, sendo que acima de 60% é considerada como alta (PAC-AB) e, menor que esse valor, de baixa a média (PAC-BB). Quanto maior a basicidade, menor o consumo de alcalinidade pelo coagulante (SENEDA; GARCIA; REIS, 2021, p. 284).

O PAC é caracterizado pelo precipitado  $\text{Al}(\text{OH})_3$  que é apresentado pela literatura como diferente do precipitado gerado pela adição de sulfato de alumínio, tanto que o precipitado do PAC é registrado como  $\text{Al}(\text{OH})_3^*$ , diferenciando-os (Pernitsky; Edzwald, 2003; 2006). Além destes aspectos vale reforçar o benefício que este coagulante gera, visto sua pouca influência na mudança do pH causada pela sua basicidade (Howe *et al.*, 2017).

### **3.6 Eletrocoagulação**

A eletrocoagulação está entre uma das técnicas químicas de tratamento de água e efluentes onde ocorre a produção de coagulantes metálicos através a dissolução de eletrodos submersos na água contaminada (Ingelsson, Yasri e Roberts, 2020). Esse processo é dividido em três etapas: (1) quando o ânodo de ferro ou alumínio, polarizado positivamente, é dissolvido eletroquimicamente; (2) acontece simultaneamente com a primeira, onde água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) é eletrolisada no cátodo polarizado negativamente, produzindo assim  $\text{OH}^-$  e  $\text{H}_2(\text{g})$ ; (3) os cátions metálicos hidrolisam-se formando íons  $\text{H}_3\text{O}^+$  que diminuem o pH (Fuladpanjeh-Hojaghan; et al., 2019).

Os íons  $\text{H}_3\text{O}^+$  se difundem do eletrólito e são neutralizados pelo  $\text{OH}^-$  (Yasri, et. al, 2020), onde o processo como um todo gera um caráter catiônico do metal-hidróxido, que desestabiliza os contaminantes coloidais e neutraliza sua carga negativa, formando agregados maiores pela união dos metais e contaminantes, que podem ser removidos por processos mais simples como flotação, sedimentação ou filtração (Garcia-Segura, et al., 2017).

Além da descrição anterior podemos descrever este processo da seguinte forma: (1) geração de pequenas bolhas de gás; (2) contato entre as bolhas e as partículas suspensas; (3) adsorção de pequenas bolhas de gás na superfície e aumento das bolhas de partículas na superfície (Dos Santos, et al., 2016), e por fim os flocos formado por este processo podem ser separados do efluente pela filtração (Costa; Rodrigue; Junior, 2019). A eletrocoagulação é uma técnica simples e eficiente para a purificação da água e de efluentes industriais através da oxidação (Andrade; et al., 2020).

Assim, há diferentes parâmetros que devem ser observados para que a técnica de eletrocoagulação seja efetiva, alguns destes são: pH, distância dos eletrodos, temperatura e aplicação de corrente (Andrade, et al., 2020). Outro parâmetro que deve ser analisado são os próprios eletrodos utilizados, pois geralmente a eletrocoagulação utiliza para sua reação os íons de Al (III) ou Fe (III), formando hidróxidos e poli hidróxidos, ocasionando a corrosão dos metais para que o processo ocorra, diminuindo sua eficiência a longo prazo (Abuhasel, et al., 2021) devido a passivação dos eletrodos.

Os eletrodos de alumínio são geralmente utilizados como eletrodos de sacrifício (ânodo) nos processos de eletrocoagulação (Equação 4 e 5) (Palácio et al., 2013); no cátodo ocorre a reação de liberação do íon  $\text{OH}^-$  e a formação do  $\text{H}_2$  (Equação 6). O cátion alumínio pode agir diretamente com o poluente a ser removido, formar complexos, ser hidrolisado ou ainda precipitar. Desta forma ter conhecimento do processo de especiação pelo qual o alumínio (cátion) pode transitar pode ajudar a explicar o processo de eletrocoagulação (Palácio et al., 2013).

### **Ânodo**

Dissolução do alumínio:  $\text{Al}_{(s)} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3e^-$  (Equação 4)

Evolução do Oxigênio:  $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4e^-$  (Equação 5)

### **Cátodo**

O hidrogênio é produzido via:  $2 \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$  (Equação 6)

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Efluente sintético e coagulantes

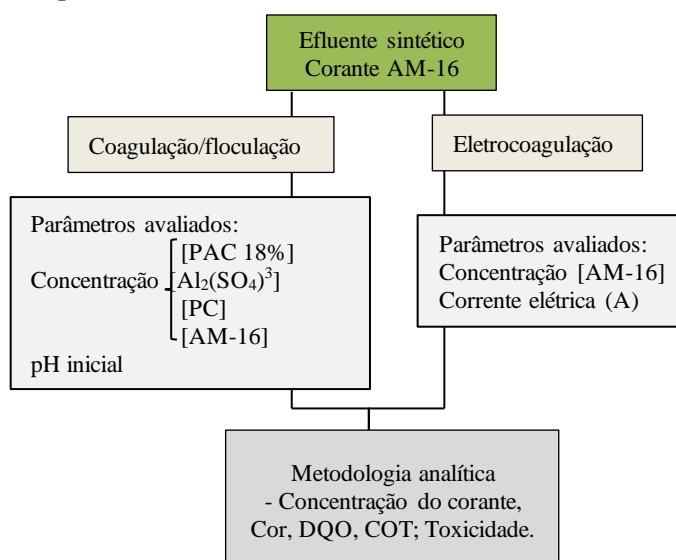
O Efluente sintético foi preparado em cubas Jar-test (PoliControl – Floc Control II), preenchidas com 2 L com água alcalinizada com carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que foi utilizado como agente tamponante, impedindo a ação acidificadora dos coagulantes (Oliveira e Baltar, 2020). Após isto utilizou-se o corante comercial azul-marinho -16 (AM-16) (Tingecor Guarani), nas concentrações de 150, 200, 250, 300 e 350  $\text{mg L}^{-1}$ , que foi homogeneizado por 2 minutos a 30 rpm. Por meio da curva de calibração específica foi possível analisar uma faixa de espectro de luz vinculado ao parâmetro o qual pretende-se monitorar (Rosa et al., 2020). Todos os ensaios foram realizados em triplicata, através da curva obteve-se o coeficiente de determinação  $R^2=0,997$  (Apêndice 1).

Os coagulantes utilizados foram o policloreto de alumínio (PAC 18%) e o sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), e como auxiliar do coagulante utilizou-se o polímero catiônico (PC). Foram utilizadas soluções de HCl (0,05 M) e NaOH (0,05 M) para correção do pH.

### 4.2 Metodologia analítica

A Figura 2 abaixo apresenta um fluxograma dos processos com as variáveis independentes avaliadas, bem como as variáveis dependentes do processo.

Figura 2. Fluxograma dos processos de tratamento avaliados



A cor (método 2120) e a demanda química de oxigênio (DQO – método 5520 D) foram determinadas utilizando metodologia apresentada por Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (Apha, Awwa e Wef, 2005). O potencial hidrogeniônico dos efluentes foi

verificado através do método potenciométrico. A concentração do corante foi determinada utilizando uma curva padrão produzida pelo método espectrofotométrico direto UV-VIS (Nova instruments, Serie 1800) na faixa do comprimento de onda de 562 nm (obtido por varredura). O COT foi determinado através de um analisador de carbono orgânico total (Shimadzu TOC-L CPN), realizando leitura das amostras antes e depois do tratamento, em triplicatas.

As análises de toxicidade seguiram a técnica recomendada por Libralato *et al.* (2016) e Lewan, Anderson e Morales-Gomez (1992): foram realizadas por meio do teste de toxicidade aguda com 50 indivíduos da espécie *Artemia salina* para cada amostra, contando-se quantas espécimes sobreviveram depois de 24 horas de exposição. Os testes foram feitos antes e depois do tratamento, sendo realizado juntamente uma amostra controle sem a presença do efluente, somente a solução salina.

Os resultados dos tratamentos foram submetidos a ANOVA permitindo a obtenção dos gráficos de Pareto e de superfícies de contorno. Os resultados das variáveis dependentes obtidos nos planejamentos foram analisados utilizando o software Minitab 19.0, sendo os dados tratados com um limite de confiança de 95%.

### **4.3 Ensaios de coagulação/floculação**

Os testes preliminares por meio do processo físico-químico coagulação/floculação foram realizados nos laboratórios do Campus da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) em Chapecó. Tiveram como finalidade avaliar o desempenho dos coagulantes policloreto de alumínio (PAC 18%) e o sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) quando usados separadamente e depois utilizados conjuntamente com os polímeros, catiônico (PC) e aniônico (PA) na remoção do corante AM-16 presente no efluente sintético. Para os ensaios de coagulação/floculação foi utilizado o *Jar Test*, onde cada um foi preenchido com 2 litros de água alcalinizada (proporção de 120 mg de  $CaCO_3$  por litro), sendo que após isso foi adicionado o corante azul-marinho 16 na concentração de 200 mg  $L^{-1}$ .

Os testes preliminares iniciaram com a adição de 250 mg  $L^{-1}$  de policloreto de alumínio (PAC 18%) por frasco, 150 rpm por 30 segundos (coagulação), terminado esse processo adicionou-se os polímeros catiônico (PC) e aniônico (PA) nas concentrações de 0,1; 0,3 e 0,5 mg  $L^{-1}$  em cada jarro, após fez-se a agitação lenta (20 rpm) por 30 minutos para que a floculação acontecesse. Após isso, o efluente tratado passou pelo processo de filtragem em papel filtro de 20 micrometros e então foi feita a análise dos seguintes parâmetros: pH, concentração final do corante e turbidez.

No caso do procedimento de coagulação utilizando-se PAC e polímeros (PC e PA), o pH

inicial do efluente sintético ficou em 7, sendo ajustado por meio de solução de HCl (0,05 M) e NaOH (0,05 M). Após os testes preliminares, verificou-se que o polímero catiônico (PC) apresentou um desempenho superior ao do aniônico (PA), assim este foi o escolhido para dar sequência aos estudos de coagulação/floculação.

Os resultados obtidos nos testes preliminares demonstraram que o polímero mais efetivo nas soluções foi o coagulante catiônico, seguido pelo aniônico nas concentrações de 0,1 e 0,3 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente (Apêndice 2), a maior eficiência de polímeros eletronegativos sobre o corante, se deve possivelmente às propriedades elétricas do AM-16, apresentados pela literatura como um corante com cargas positivas (Andrade, 2019). Conforme os resultados, a melhor eficiência foi alcançada com o polímero catiônico (PC), assim optou-se por utilizá-lo como coagulante na etapa de floculação (agitação lenta).

A Tabela 1 e 2 apresentam as variáveis investigadas na remoção do corante AM-16, presente no efluente sintético utilizando o coagulante PAC e o sulfato de alumínio, respectivamente. Neste estudo, foi usada a ferramenta do planejamento experimental do tipo planejamento Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR 2<sup>4</sup>).

Tabela 1. Valores utilizados no DCCR 2<sup>4</sup> para o estudo do processo de coagulação/ floculação utilizando o coagulante PAC na remoção do corante têxtil AM-16

Variáveis	Níveis				
	-2	-1	0	1	2
[PC] (mg L <sup>-1</sup> )	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
[PAC] (mg L <sup>-1</sup> )	10	20	30	40	50
pH	5	6	7	8	9
[Corante AM-16] (mg L <sup>-1</sup> )	150	200	250	300	350

Tabela 2. Valores utilizados no DCCR 2<sup>4</sup> para o estudo do processo de coagulação/floculação utilizando o coagulante sulfato de alumínio na remoção do corante têxtil AM-16.

Variáveis	Níveis				
	-2	-1	0	1	2
[PC] (mg L <sup>-1</sup> )	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
[Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ] (mg L <sup>-1</sup> )	10	20	30	40	50
pH	4	5	6	7	8
[Corante AM-16] (mg L <sup>-1</sup> )	150	200	250	300	350

A Tabela 3 e 4 apresentam a matriz do planejamento DCCR 2<sup>4</sup> com os valores reais e codificados para o uso do coagulante PAC e o sulfato de alumínio, respectivamente.

Para a realização do processo de coagulação/floculação previstos na matriz do

planejamento experimental as amostras contendo o corante passaram pelo processo de homogeneização e solubilização do efluente por 2 minutos, a 30 rpm. Posteriormente, adicionou-se o coagulante PAC (18%) ou sulfato de alumínio nas concentrações previstas no planejamento, onde ela foi então adicionada nas amostras do efluente, agitando-se a 150 rpm por 30 segundos. Logo em seguida acrescentou-se a solução do PC nas concentrações previstas no planejamento, após adição do PC agitando-se por 30 min a 20 rpm. Por fim, o efluente tratado foi filtrado utilizando papel filtro qualitativo (125 mm).

Tabela 3. Matriz do planejamento DCCR 2<sup>4</sup> com valores reais e codificados para os ensaios utilizando o coagulante PAC.

Ensaio	[PC] mg L <sup>-1</sup>		[PAC] mg L <sup>-1</sup>		pH		[AM - 16] mg L <sup>-1</sup>	
	-1	0,2	-1	20	-1	6	-1	200
1	-1	0,2	-1	20	-1	6	-1	200
2	+1	0,4	-1	20	-1	6	-1	200
3	-1	0,2	+1	40	-1	6	-1	200
4	+1	0,4	+1	40	-1	6	-1	200
5	-1	0,2	-1	20	+1	8	-1	200
6	+1	0,4	-1	20	+1	8	-1	200
7	-1	0,2	+1	40	+1	8	-1	200
8	+1	0,4	+1	40	+1	8	-1	200
9	-1	0,2	-1	20	-1	6	+1	300
10	+1	0,4	-1	20	-1	6	+1	300
11	-1	0,2	+1	40	-1	6	+1	300
12	+1	0,4	+1	40	-1	6	+1	300
13	-1	0,2	-1	20	+1	8	+1	300
14	+1	0,4	-1	20	+1	8	+1	300
15	-1	0,2	+1	40	+1	8	+1	300
16	+1	0,4	+1	40	+1	8	+1	300
17	-2	0,1	0	30	0	7	0	250
18	+2	0,5	0	30	0	7	0	250
19	0	0,3	-2	10	0	7	0	250
20	0	0,3	+2	50	0	7	0	250
21	0	0,3	0	30	-2	5	0	250
22	0	0,3	0	30	+2	9	0	250
23	0	0,3	0	30	0	7	-2	150
24	0	0,3	0	30	0	7	+2	350
25	0	0,3	0	30	0	7	0	250
26	0	0,3	0	30	0	7	0	250
27	0	0,3	0	30	0	7	0	250
28	0	0,3	0	30	0	7	0	250

Tabela 4. Matriz do planejamento DCCR 2<sup>4</sup> com valores reais e codificados para os ensaios utilizando o



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

Ensaio	[PC] mg L <sup>-1</sup>		[Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ] mg L <sup>-1</sup>		pH		[AM-16] mg L <sup>-1</sup>	
1	-1	0,2	-1	20	-1	5	-1	200
2	+1	0,4	-1	20	-1	5	-1	200
3	-1	0,2	+1	40	-1	5	-1	200
4	+1	0,4	+1	40	-1	5	-1	200
5	-1	0,2	-1	20	+1	7	-1	200
6	+1	0,4	-1	20	+1	7	-1	200
7	-1	0,2	+1	40	+1	7	-1	200
8	+1	0,4	+1	40	+1	7	-1	200
9	-1	0,2	-1	20	-1	5	+1	300
10	+1	0,4	-1	20	-1	5	+1	300
11	-1	0,2	+1	40	-1	5	+1	300
12	+1	0,4	+1	40	-1	5	+1	300
13	-1	0,2	-1	20	+1	7	+1	300
14	+1	0,4	-1	20	+1	7	+1	300
15	-1	0,2	+1	40	+1	7	+1	300
16	+1	0,4	+1	40	+1	7	+1	300
17	-2	0,1	0	30	0	6	0	250
18	+2	0,5	0	30	0	6	0	250
19	0	0,3	-2	10	0	6	0	250
20	0	0,3	+2	50	0	6	0	250
21	0	0,3	0	30	-2	4	0	250
22	0	0,3	0	30	+2	8	0	250
23	0	0,3	0	30	0	6	-2	150
24	0	0,3	0	30	0	6	+2	350
25	0	0,3	0	30	0	6	0	250
26	0	0,3	0	30	0	6	0	250
27	0	0,3	0	30	0	6	0	250
28	0	0,3	0	30	0	6	0	250

As variáveis resposta avaliadas foram a concentração final do corante AM-16, cor, turbidez, pH, Carbono orgânico total (COT), Demanda química de oxigênio (DQO) e análise de toxicidade.

#### 4.4 Ensaio de eletrocoagulação

Para o processo de eletrocoagulação utilizou-se um reator com capacidade de 1 L, entretanto utilizou-se o volume de 800 mL de efluente sintético contendo o corante AM-16, nas concentrações previstas no planejamento (Tabela 5). Os ensaios aconteceram em temperatura ambiente (20°C à 25°C) e os eletrodos utilizados foram de alumínio (3 cm x 5 cm x 2 mm), com distância entre os eletrodos de 8 cm. As variáveis independentes avaliadas foram a corrente

elétrica e a concentração do corante; como eletrólito utilizou-se o NaCl na concentração de  $1 \text{ g L}^{-1}$  (Maman et al., 2022). O tempo para realização dos ensaios de eletrocoagulação foi decidido por meio do teste cinético, onde realizou-se ensaio retirando amostras periodicamente (5, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 55 e 65 minutos). A corrente elétrica utilizada foi 0,9 A, com concentração do corante AM-16 de  $350 \text{ mg L}^{-1}$ . Os resultados do teste cinético de eletrocoagulação demonstraram maior remoção de corante AM-16 nos tempos 10 e 25 min, posteriormente foi realizado um novo teste com apenas esses dois períodos, sendo que a remoção mais efetiva foi obtida em 10 minutos de eletrocoagulação (Apêndice 3).

Os resultados mais favoráveis definiram o tempo de execução do tratamento para cada ensaio. Devido ao alto gasto energético e ao desgaste acelerado dos eletrodos, optou-se por manter o tempo de tratamento em 10 minutos para cada ensaio. O planejamento experimental foi o "Delineamento Composto Central Rotacionado" (DCCR 2<sup>2</sup>) contendo 11 ensaios, 03 pontos centrais.

Tabela 5. Planejamento experimental para o tratamento de efluente por meio da eletrocoagulação.

Variáveis	Níveis				
	-2	-1	0	1	2
Corrente elétrica A	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9
[Corante AM-16] ( $\text{mg L}^{-1}$ )	150	200	250	300	350

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Remoção da concentração do corante AM-16

A pesquisa indicou que dentro dos parâmetros estudados sobre a remoção do corante foi possível notar que a melhor média de remoção se deu através do uso do PAC 18% e que a precipitação química sofreu influência significativa do pH e a eletrocoagulação não sofreu nenhuma influência dos parâmetros estudados.

Os resultados obtidos para o processo de coagulação/floculação com a combinação de PAC 18% e o polímero catiônico (PC) apresentaram valores entre 77 e 99% de remoção do corante AM-16 presente no efluente sintético, com exceção do ensaio 22 em que não ocorreu remoção. A média de remoção foi de 93,43%. A Tabela 6 e 7 respectivamente apresentam os resultados de remoção do corante e da cor dos 28 ensaios de coagulação/floculação e os 11 ensaios de eletrocoagulação.

Tabela 6. Remoção da concentração do corante AM-16 e cor no efluente sintético por processo de coagulação/floculação utilizando os coagulantes PAC-18% e  $Al_2(SO_4)_3$

Ensaio s	Concentração inicial (mg L <sup>-1</sup> ) Corante AM- 16	Concentração final (mg L <sup>-1</sup> )	Remoção	Remoção	Concentração final (mg L <sup>-1</sup> )	Remoção	Remoção
			Corante %	Cor%		Corante (%)	Cor (%)
			PAC 18%		$Al_2(SO_4)_3$		
1	200	8,89	95,56	57,89	5,56	97,22	99,90
2	200	5,56	97,2	99,00	3,33	98,33	99,90
3	200	14,44	92,78	98,20	5,56	97,22	99,90
4	200	4,44	97,7	99,80	5,56	97,2	99,90
5	200	10,0	95,00	97,45	55,56	72,22	99,90
6	200	7,78	96,1	98,80	126,67	36,6	36,16
7	200	4,44	97,78	99,90	111,11	44,44	39,66
8	200	3,33	98,33	99,90	116,67	41,67	38,49
9	300	66,67	77,78	73,71	167,78	44,07	34,50
10	300	2,22	99,26	92,55	162,22	45,93	39,00
11	300	3,33	98,89	98,96	158,89	47,04	42,98
12	300	2,22	99,26	96,07	0,00	99,90	92,82
13	300	5,56	98,15	97,20	140,00	53,33	43,80
14	300	5,56	98,15	97,80	161,11	46,30	35,80
15	300	6,67	97,78	97,00	183,33	38,89	29,20
16	300	6,67	97,78	96,40	172,22	42,5	28,80
17	250	5,56	97,78	96,20	42,22	83,11	74,66
18	250	5,56	97,78	94,60	103,33	58,67	49,51
19	250	4,44	98,22	97,00	110,00	56,00	38,24
20	250	3,33	98,67	96,80	7,78	96,89	87,15
21	250	10,0	96,00	95,60	10,00	96,00	84,66
22	250	-	-	65,00	123,33	50,67	48,65
23	150	4,44	97,04	96,20	5,56	96,3	80,10

24	350	5,56	98,41	96,40	10,00	97,14	95,40
25*	250	3,33	98,67	99,80	38,89	84,44	79,27
26*	250	3,33	98,67	99,00	44,44	82,22	75,08
27*	250	3,33	98,67	99,90	31,11	87,56	83,33
28*	250	3,33	98,67	99,60	3,33	98,67	98,68

\*Desvio padrão ponto central ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  [corante AM16] = 18,25  $\text{mgL}^{-1}$ ; Cor= 10,29%).

\*Desvio padrão ponto central (PAC 18% [corante AM16] não houve desvio; Cor= 0,04%).

Já no processo utilizando  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  combinado com o PC, obteve-se um valor médio de 71% na remoção do corante AM-16, apresentando valores mínimo 37% e máximo de 99,9% de remoção, respectivamente. Os melhores resultados apresentados foram no ensaio 12 e 28. O ensaio 12 apresentava o pH na faixa 5, a concentração do PC em 0,4  $\text{mg/L}$ , do corante em 300  $\text{mg L}^{-1}$  e do coagulante em 40  $\text{mg L}^{-1}$ , já no caso do ensaio 28 o pH inicial estava na faixa de 6, a concentração do PC em 0,3  $\text{mg L}^{-1}$ , do corante em 250  $\text{mg L}^{-1}$  e do coagulante em 30  $\text{mg L}^{-1}$ .

Quanto a remoção da cor, foi possível observar através dos ensaios que tanto o PAC quanto o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  foi eficiente na remoção. Entretanto, cabe ressaltar que este parâmetro não indica a remoção efetiva do contaminante e sim pode apenas estar relacionado a quebra de ligações responsáveis pela cor do corante (Maman et al., 2022).

Mcyotto et al. (2021) apresentou em seu estudo que a dosagem do PAC de 200  $\text{mg L}^{-1}$  a 400  $\text{mg L}^{-1}$  promoveu a maior eficiência na remoção da cor, o aumento posterior da quantidade do coagulante não resulta na melhora da eficiência. Os resultados de Gao et al. (2007) com o uso de três coagulantes diferentes demonstraram que o aumento da dosagem do coagulante aumentou a eficiência da remoção da cor. O controle na concentração do coagulante nas faixas entre 350 e 450  $\text{mg L}^{-1}$  utilizado no tratamento de três efluentes reais demonstrou melhor eficiência na remoção da cor (Islam e Mostafa, 2020). Além da concentração do coagulante outras variáveis também podem afetar a remoção da cor, entre elas o pH do efluente, colaborando com o presente estudo, outros fatores que não foram registrados na atual pesquisa são a concentração do contaminante, tempo de sedimentação e a temperatura, agitação e potencial do coagulante, todas estas variáveis são fatores de influência na remoção de um corante que também afetaram na remoção da cor (Obiora-Okafo, Onukwuli e Eli-Chukwu, 2020; Iloamaeke et al., 2021).

A Tabela 7 apresenta os resultados de remoção do corante azul marinho AM-16 presente no efluente sintético através do processo de eletrocoagulação utilizando eletrodos de alumínio.

Tabela 7. Remoção do corante AM-16 e cor do efluente sintético por processo de eletrocoagulação com eletrodo de alumínio

Ensaio	Concentração inicial corante AM-16 (mg L <sup>-1</sup> )	Concentração final corante AM-16 (mg L <sup>-1</sup> )	Remoção de Corante AM-16 (%)	Remoção de Cor (%)
1	300	22,22	92,59	96,09
2	200	22,22	88,89	97,45
3	300	26,67	91,11	96,92
4	200	34,44	82,78	91,46
5*	250	35,56	85,78	96,01
6*	250	37,78	84,89	95,29
7*	250	43,33	82,67	95,33
8	250	48,89	80,44	96,43
9	250	57,78	76,89	95,77
10	150	45,56	69,63	93,72
11	350	53,33	84,76	93,95

\* Desvio padrão ponto central [corante AM-16] = 4,0 mg. L<sup>-1</sup>; Cor= 0,4%).

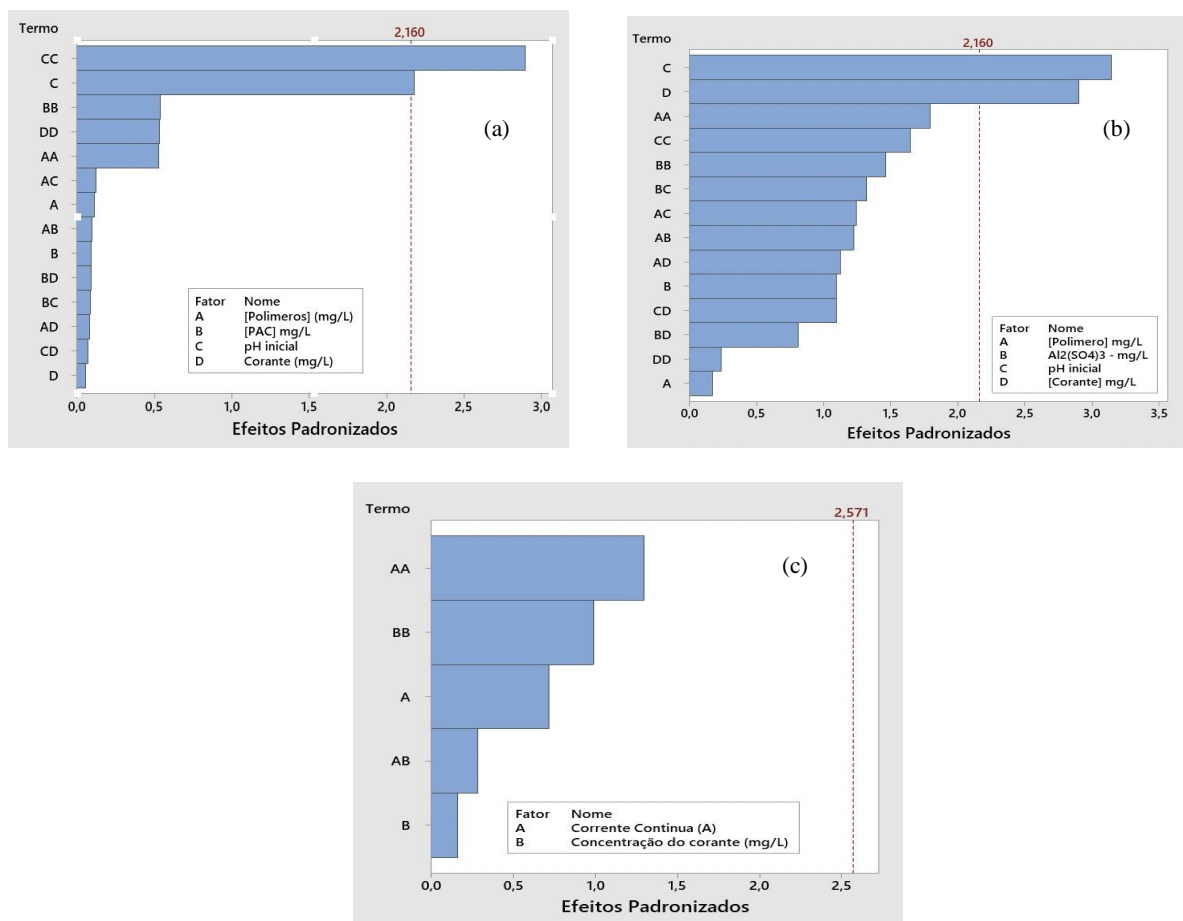
Na eletrocoagulação observou-se uma remoção na faixa de 69,93% e 92,59% com média de 83,68%. Os melhores resultados apresentados foram obtidos nos ensaios 1 e 3. No ensaio 1 utilizou-se uma corrente contínua de 0,45 A e concentração do corante de 300 mg L<sup>-1</sup>. Já no ensaio 3, a corrente aplicada foi de 0,75 A e a concentração do corante de 300 mg L<sup>-1</sup>. Comparando-se os resultados obtidos para a remoção da concentração do corante com os da cor foi possível observar que os valores para a remoção da cor foram superiores, sugerindo assim que além da remoção física, ocorreu também a alteração nos grupos cromóforos do corante, por isso está possível diferença.

A eficiência da eletrocoagulação para remoção também foi comprovada no estudo realizado por Tones et al. (2020), que utilizou uma mistura dos corantes Turquoise Blue (TB) e Scarlet Red (SR) e os resultados demonstraram que a remoção pode chegar a 99,26%.

A Figura 3 apresenta os gráficos de Pareto para os resultados obtidos de remoção do corante AM-16 através do tratamento por coagulação/floculação utilizando PAC 18%, sulfato de alumínio. Os resultados obtidos por meio da ANOVA indicou que o pH foi o único fator de influência significativa e de comportamento não-linear na remoção do corante AM-16 por meio do processo de coagulação/floculação utilizando o PAC (Figura 3a), já quando do uso do sulfato de alumínio (Figura 3b), observou-se que tanto o pH inicial quanto a concentração do corante afetam o processo de coagulação/floculação de maneira linear. Para o processo de eletrocoagulação (Figura 3c) nenhum dos parâmetros avaliados tiveram significância na faixa e nas condições estudadas.

Figura 3. Gráfico de Pareto para remoção da concentração do corante AM-16 nos tratamentos de

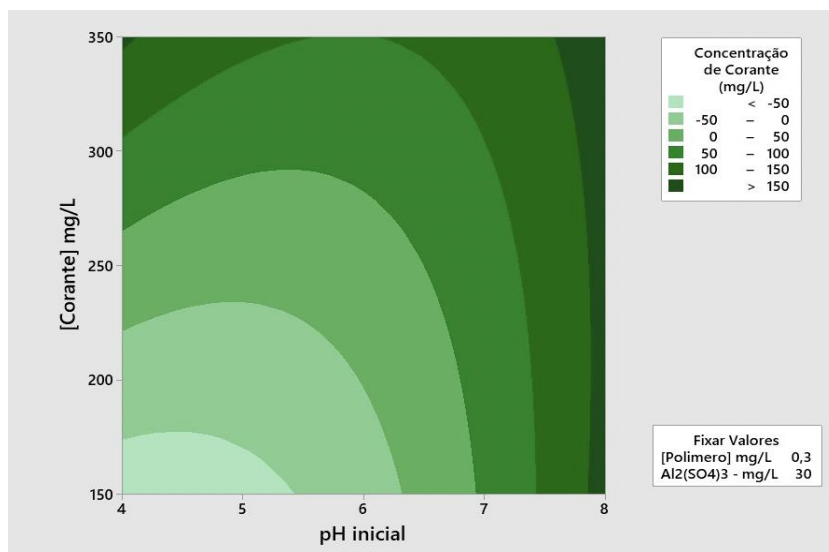
coagulação/floculação utilizando o PAC 18% (a);  $Al_2(SO_4)_3$  (b); Eletrocoagulação (c).



A variação de pH afeta a precipitação dos hidróxidos e altera a produção de hidrólises, com isso podemos afirmar que a mudança do pH pode afetar diretamente na formação dos coágulos (Islam e Mostafa, 2020). Diante disso, é possível explicar a influência nos resultados e também ressaltar a importância do controle do pH durante o processo de coagulação/floculação para otimização e aumento da eficiência do coagulante (Seneda, Garcia e Reis, 2020), sendo um fator determinante na remoção da cor (Kamiwada, Andrade e Reis, 2019). Shi et al. (2007) avaliou a remoção dos corantes Direct Black 19, Direct Red 28 e Direct Blue 86 utilizando os coagulantes sulfato de alumínio, PAC e sulfato de alumínio purificado, e conseguiram maior eficiência com estes coagulantes em pH na faixa de 5 e 6, pHs estes próximos aos avaliados no presente estudo.

A Figura 4 abaixo representa a curva de contorno para a remoção da concentração do corante AM-16 utilizando o sulfato de alumínio como coagulante.

Figura 4. Curva de contorno para a remoção da concentração do corante AM-16 por coagulação/floculação utilizando  $Al_2(SO_4)_3$  e o PC.



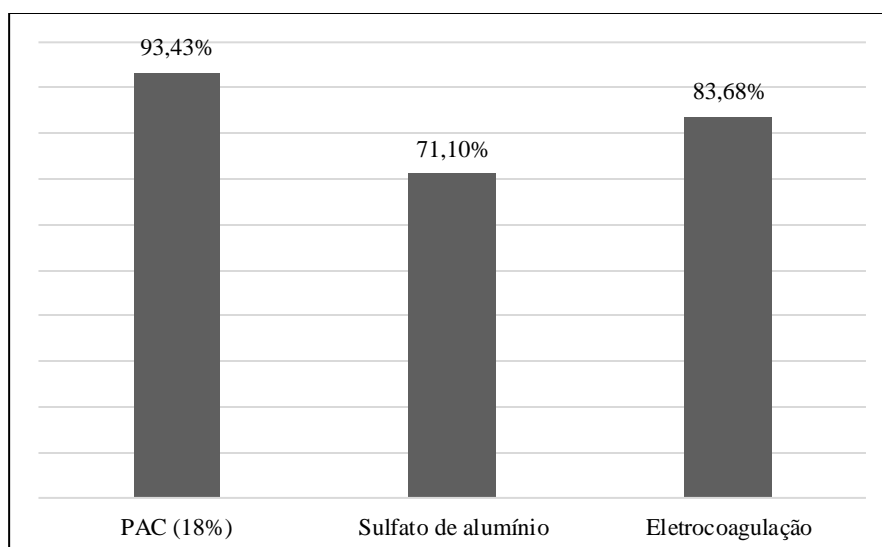
Como observado pelo gráfico de Pareto para o tratamento por coagulação/floculação utilizando  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  e o PC tanto a concentração de corante AM-16 quanto o pH inicial do efluente apresentaram efeito linear positivo sobre a remoção do contaminante.

Já os resultados do tratamento de eletrocoagulação não demonstraram nenhum parâmetro de influência significativa na remoção do corante AM-16 nos níveis das variáveis avaliadas. Diferentemente destes resultados obtidos, Pathak, Khandegar e Kumar (2021), utilizando a eletrocoagulação na remoção dos corantes violeta ácido 17 (AV 17), verde malaquita (MG), azul de metileno (MB) e vermelho Congo (CR), observou nesse tratamento o efeito linear negativo do pH na remoção dos corantes, onde a remoção para os efluentes com corantes ácidos foi de 59,17% e para os efluentes com corantes alcalinos foi de 58,28%.

Segundo Mcyotto et al. (2021) a dosagem do PAC é determinante para a remoção do corante. Shi et al. (2007) concorda com estudo anterior indicando três coagulantes diferentes (sulfato de alumínio, PAC 18% e sulfato de alumínio purificado) este observou que as dosagens interferem nos resultados de remoção dos corantes Direct Black 19, Direct Red 28 e Direct Blue 86.

Quanto a eficiência dos tratamentos entre si, os resultados comparativos (Figura 5) indicaram que no presente estudo a coagulação/floculação por meio do PAC 18% teve maior eficiência na remoção do corante, obtendo-se valores médios de 93%, seguida do processo de eletrocoagulação 83,68% e por último o coagulante sulfato de alumínio onde se alcançou em torno de 71% de remoção.

Figura 5. Comparação das médias de remoção da concentração do corante AM-16, por meio das diferentes formas de tratamento.



A utilização do PC a concentração utilizada foi igual para os diferentes coagulantes, sendo seu uso realizado com o intuito de auxiliar na formação dos flocos. Os resultados obtidos mostraram que este teve êxito em sua função, visto que, constatou-se que quando do uso da concentração do corante AM-16 de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  e  $350 \text{ mg L}^{-1}$ , a eficiência obtida foi de 97,04% e 98,41% respectivamente.

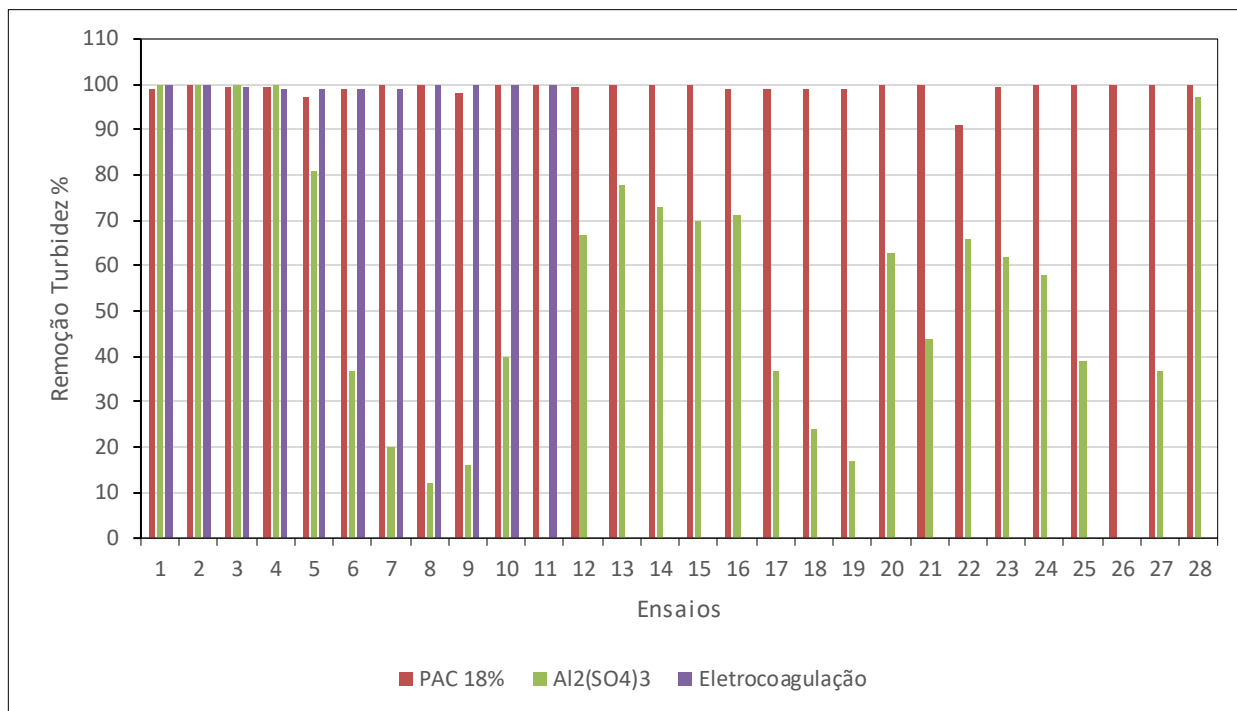
## 5.2 Remoção de turbidez

O presente estudo indicou que na remoção de turbidez a eletrocoagulação não sofreu nenhuma influência significativa, no entanto a coagulação/floculação utilizando sulfato de alumínio foi influenciado pela interação do pH com a concentração do corante. A pesquisa indicou também que a melhor média de remoção se deu por meio da eletrocoagulação.

Os resultados da remoção da turbidez nas diferentes formas de tratamento realizados são apresentados na Figura 6. Os valores dos ensaios para remoção de turbidez através do uso do coagulante PAC (18%) variaram entre 91,6 e 99,9%, onde os ensaios 14, 15, 19, 20 e 21 demonstraram os melhores resultados. Já utilizando o coagulante sulfato de alumínio o valor médio de remoção foi de 52%, com resultados que variaram entre 0% e 99,9%. Os ensaios 1 até o 4 demonstraram remoção expressiva da turbidez, enquanto 7, 10, 11 e 26 os valores foram inferiores a 5%.

Figura 6. Remoção de Turbidez para os tratamentos de coagulação/floculação e eletrocoagulação.

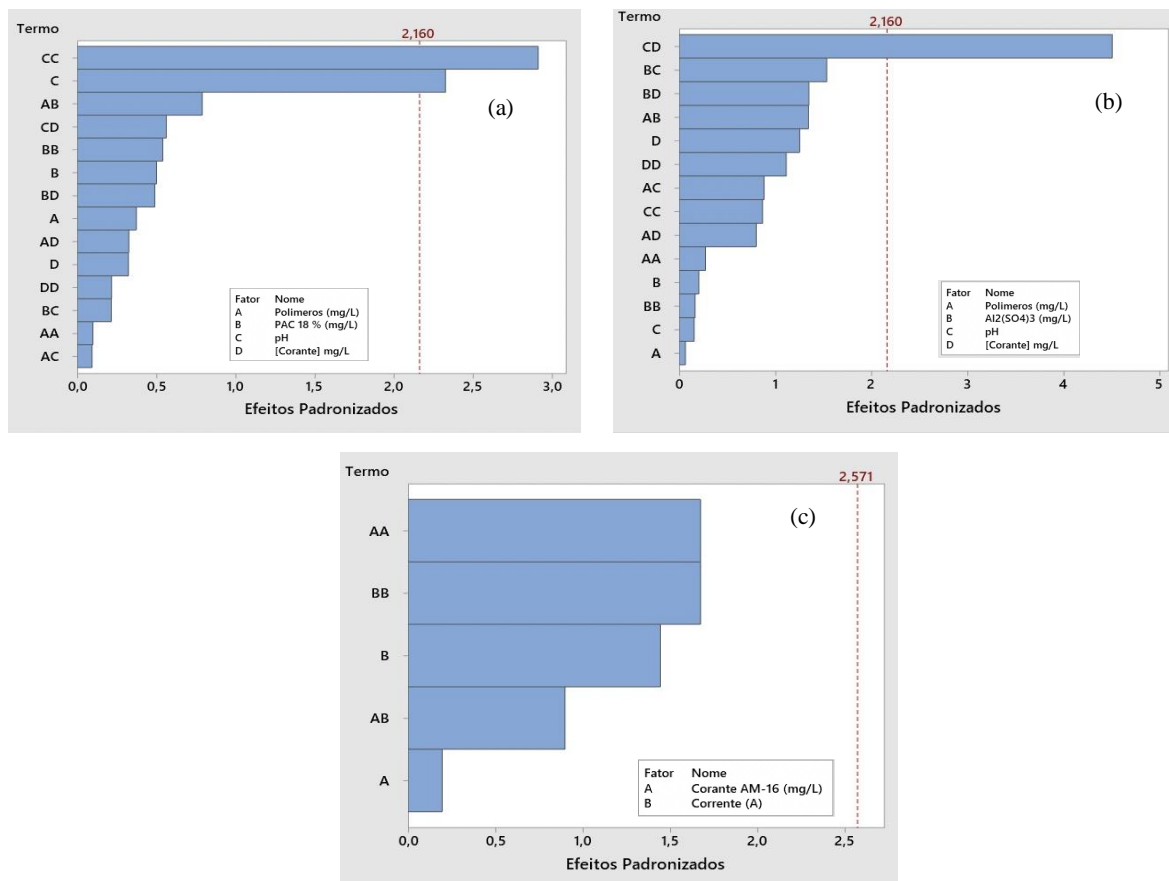




Para o processo de eletrocoagulação foi observado uma remoção média de turbidez de 99,78%, com valores que variaram de 99,11% até 99,9%. Observou-se que em 8 ensaios obteve-se remoção muito próxima a totalidade.

A Figura 7 apresenta os gráficos de Pareto para as análises de turbidez nos diferentes processos de tratamento. Através dos mesmos foi possível verificar que com o tratamento com PAC (18%) apenas o pH teve influência não-linear (Figura 7a), sobre a remoção da turbidez, já com o coagulante Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> a interação entre pH e a concentração do corante AM-16 foi a que apresentou-se significância na faixa de estudo avaliada (Figura 7b). Para a eletrocoagulação a análise de ANOVA não mostrou nenhuma variável independente que tenha influência no processo dentro dos níveis avaliados (Figura 7 c).

Figura 7. Gráfico de Pareto para remoção da Turbidez do efluente contendo o corante AM-16 nos tratamentos de coagulação/floculação utilizando o PAC 18% (a); Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (b); Eletrocoagulação (c).



Os estudos realizados por Farhadi, Takdastan, Baghbany (2016) e Wei et al. (2020) corroboraram com a presente pesquisa, onde o pH influenciou de forma direta na remoção da turbidez. Os resultados com o biopolímero quitosana indicaram que em faixas de pHs inferiores a 7 influenciando diretamente na eficiência do coagulante PAC (Momeni et al., 2018), mostrando uma dependência deste coagulante com o pH aplicado no processo de coagulação.

Segundo El Gaayda et al. (2022) um dos parâmetros mais adequados para a eficiência do biocoagulante na remoção da turbidez foi o pH (faixa de 4 a 7), faixa está também aplicada no presente estudo, sugerindo assim que independente da origem do coagulante, o pH acaba por ser um dos fatores determinantes no processo de remoção da turbidez.

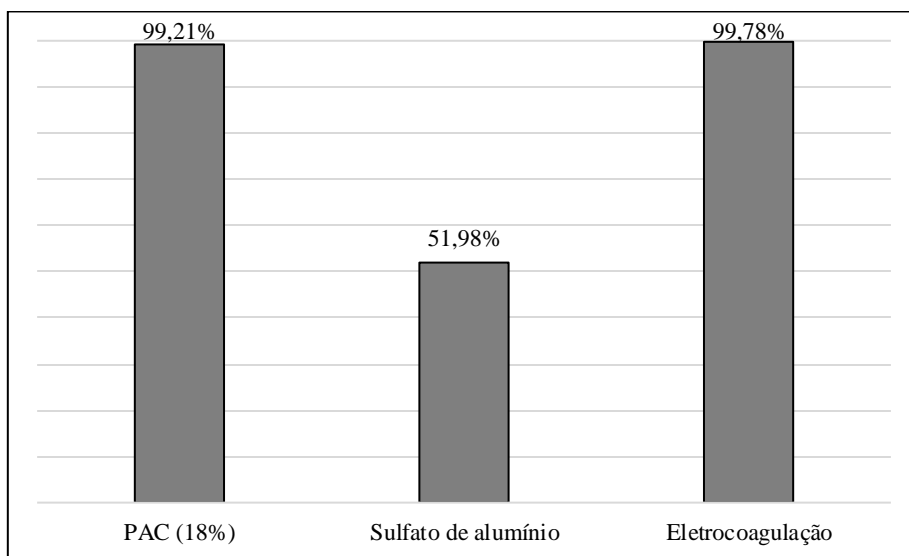
Há poucos estudos que mencionam a influência da concentração inicial do corante sobre a remoção da turbidez no processo de coagulação, o que torna a discussão mais escassa. No entanto, conforme Momeni et al. (2018) a concentração inicial do corante, o pH, a dose de coagulante e tempo de sedimentação, todos estes fatores podem apresentar influência significativa. Quando da utilização do sulfato de alumínio (Figura 7 b), houve uma interação entre a concentração do contaminante e o pH, sugerindo assim que o aumento nos níveis aplicados nestas variáveis pode afetar a remoção da turbidez.

A taxa de remoção média da turbidez por meio da eletrocoagulação chegou a 99,78%, representando uma alta eficiência na remoção deste parâmetro. O estudo realizado por Bun et al. (2022) corrobora com a alta eficiência na remoção da turbidez, no entanto demonstra influência significativa na corrente elétrica, sendo que o uso densidade da corrente variou entre 1,5 e 2,5 mA/cm<sup>2</sup>.

A pesquisa realizada por Núñez et al. (2019) com efluentes reais de uma indústria têxtil utilizando a eletrocoagulação com eletrodos de alumínio e tensão elétrica de 5 a 15 mA/cm<sup>2</sup>, demonstrou baixa eficiência na remoção da turbidez, com valores que ficaram entre 45% e 51%, outro estudo colaborando com os resultados anteriores foi de Tanveer et al. (2022) que apresentou média de remoção no processo de eletrocoagulação de 27%. Em ambos os estudos nenhuma variante independente demonstrou influência significativa, resultado similar à presente pesquisa.

A Figura 8 apresenta a remoção média de turbidez obtida nos diferentes tratamentos, onde foi possível verificar que o coagulante Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> foi o que obteve menor remoção para esta variável de resposta.

Figura 8. Comparativo dos resultados médios da remoção da turbidez por meio dos diferentes tratamentos.



Os resultados nesta pesquisa indicaram que a remoção de turbidez foi mais eficiente no processo de eletrocoagulação (99,78%), acompanhada pelo processo de coagulação/floculação com o uso do coagulante PAC 18% (99,21%) e sulfato de alumínio (51,98%).

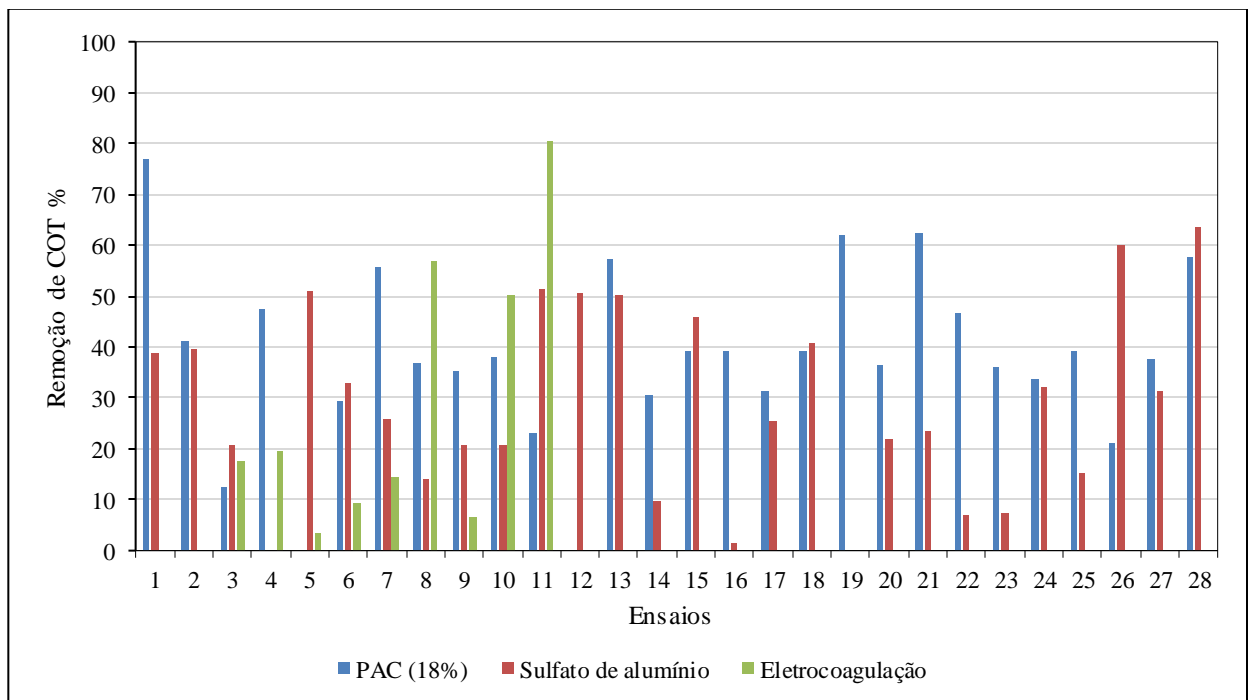
### 5.3 Remoção de Carbono Orgânico Total (COT)

Os resultados da presente pesquisa indicaram que a melhor método de remoção do

Carbono Orgânico Total (COT) foi com a utilização do PAC 18%, já a eletrocoagulação não sofreu nenhuma influência significativa nos parâmetros estudados. A coagulação/floculação utilizando sulfato de alumínio foi influenciada pela interação entre a concentração do corante e do coagulante.

Através dos resultados do Carbono Orgânico Total (COT) observou-se que não houve mineralização e sim uma remoção parcial. A maior remoção foi encontrada quando do uso da eletrocoagulação (ensaio 11) com 80,3%, já na coagulação/floculação com PAC-18% e com  $Al_2(SO_4)_3$  os melhores resultados foram no ensaio 1 (77,1%) e 28 (63,7%), respectivamente. Os valores alcançados são apresentados na Figura 9.

Figura 9. Remoção de Carbono orgânico total (COT) para os tratamentos de coagulação/floculação e eletrocoagulação.

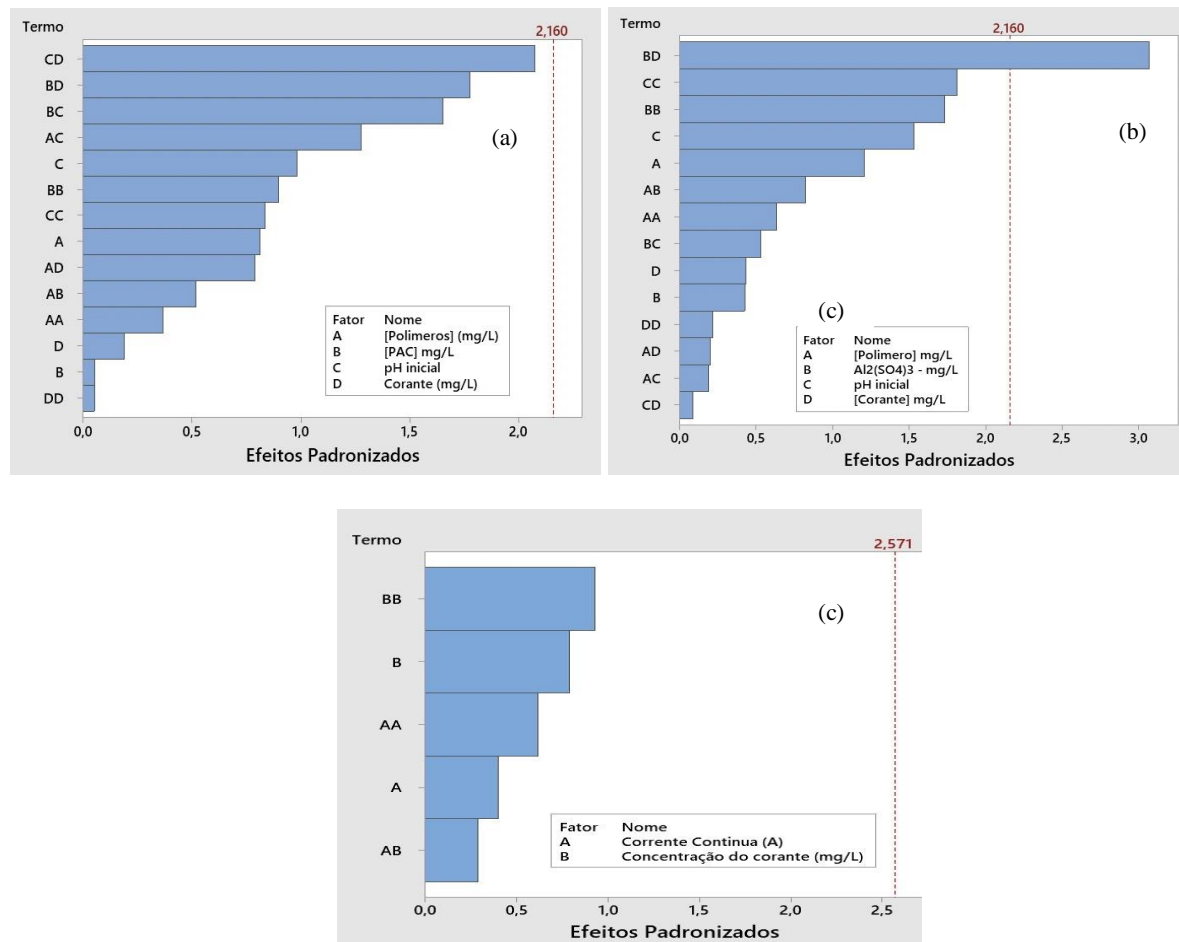


A pesquisa realizada por Albahnasawi (2023) que utilizou cloreto de ferro na coagulação demonstrou que a faixa de pH influencia diretamente na remoção do COT com faixa adequada de 5,9 de pH onde a remoção média foi de 40,8%.

A Figura 10 apresenta os resultados da análise estatística através dos gráficos de Pareto para a remoção do COT, presentes nas amostras de efluente contendo o corante AM-16. Os resultados da ANOVA indicaram que a interação entre a concentração do  $Al_2(SO_4)_3$  e a concentração do corante AM-16 apresenta significância no tratamento por coagulação/floculação (Figura 10b). A eletrocoagulação e a coagulação/floculação com PAC-18% não sofreram

influência significativa para nenhuma das variáveis independentes.

Figura 10. Gráfico de Pareto para remoção de COT do efluente sintético contendo o corante AM-16 nos tratamentos de coagulação/floculação utilizando o PAC 18% (a);  $Al_2(SO_4)_3$  (b); Eletrocoagulação (c).



Segundo Dalvand et al. (2017) o uso do coagulante cloreto férrico sobre o corante Direct Red 23 e a pesquisa Yuksel, Gurbulak e Eyvaz (2012) mostrou que a dosagem de coagulante na remoção do COT, apresentou variação significativa de até  $50 \text{ mg L}^{-1}$ , acima desse valor não houve aumento na remoção do COT. Já a presente pesquisa obteve um melhor resultado para a concentração de coagulante de  $30 \text{ mg L}^{-1}$  de  $Al_2(SO_4)_3$  e  $250 \text{ mg L}^{-1}$  do corante AM-16. As características químicas dos contaminantes presentes no efluente ou água a ser tratada são um fator determinante na eficiência de um coagulante, bem como na concentração necessária para efetivar o processo de coagulação/floculação. Segundo Lara, Rodrigues e Penuela (2016) para a remoção do COT presente em águas de abastecimento, foi necessária uma concentração de  $Al_2(SO_4)_3$  de  $40 \text{ mg L}^{-1}$ .

Através dos resultados obtidos foi possível observar que a concentração do corante inicial não representou isoladamente um fator de influência no processo de remoção do COT utilizando

o coagulante sulfato de alumínio e a média de maior remoção foi na concentração de 250 mg L<sup>-1</sup>, apoiado pelo estudo de Kadam et al. (2015) que apresentou resultados similares. Asfaha et al. (2022) utilizou a eletrocoagulação com eletrodos de alumínio no tratamento do corante Vivizol Red 3BS (VR 3BS 150%), obtendo remoções do COT com valores na faixa de 47%, próximos aos obtidos no presente estudo.

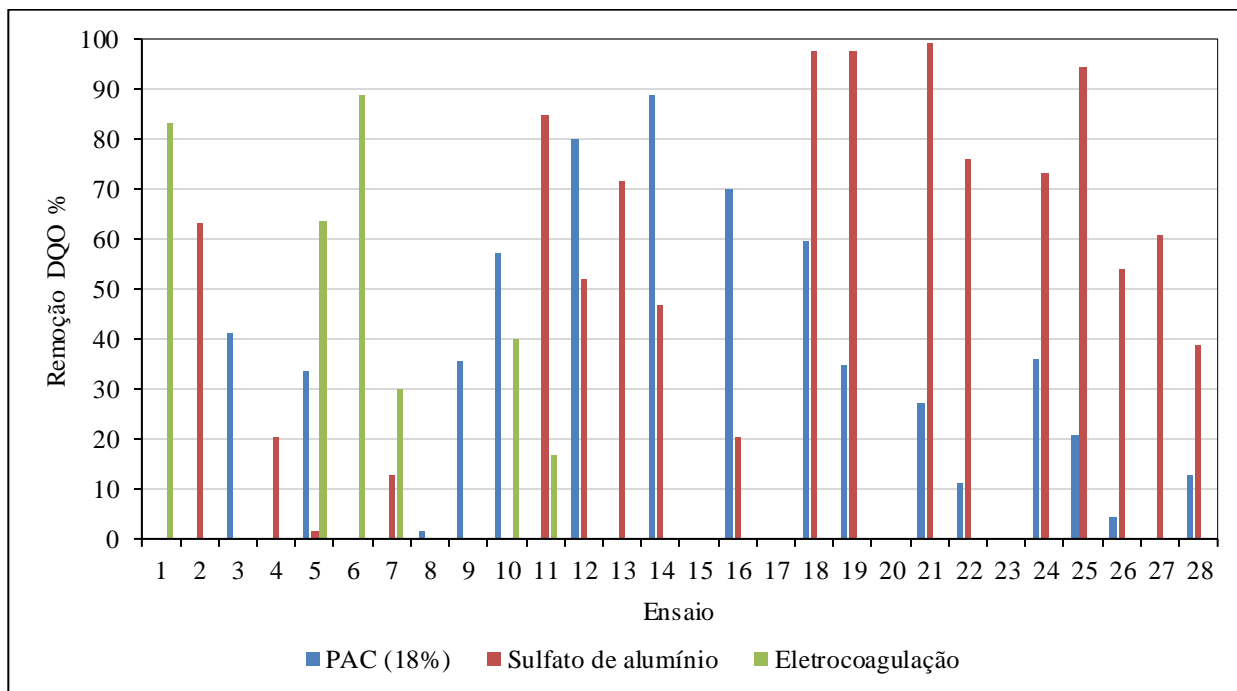
Os estudos de De Maman (2022a, 2022b) utilizando sucata de ferro e escória de ferro como eletrodo no tratamento por eletrocoagulação em efluente sintético preparado com azul índigo e efluente real coletado em indústria têxtil, ambos tratados sob tensão elétrica de 300 a 900 mA, indicou que a remoção do COT também não sofreu influência significativa de nenhuma variante independente. Entretanto, segundo a literatura a remoção dos contaminantes presentes em efluentes por eletrocoagulação, apresenta como fatores determinantes o tempo de eletrólise e a corrente elétrica aplicada no processo (De Maman et al., 2022; Bener et al., 2019; Azarian et al., 2018; Nariyan et al., 2017; Kabdasli et al., 2010). Já a pesquisa de Asfaha et al. (2022) indicou que o pH inicial também afetou os resultados da eletrocoagulação.

#### **5.4 Remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A presente pesquisa indicou que o uso do sulfato de alumínio para remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) alcançou a melhor média entre os tratamentos, além disso esse tratamento sofreu influência significativa da concentração do auxiliar de coagulação e a concentração do corante. A eletrocoagulação não foi influenciada significativamente por nenhum parâmetro, no entanto a coagulação/floculação utilizando PAC 18% sofreu influência da interação entre a concentração do corante e do auxiliar de coagulação.

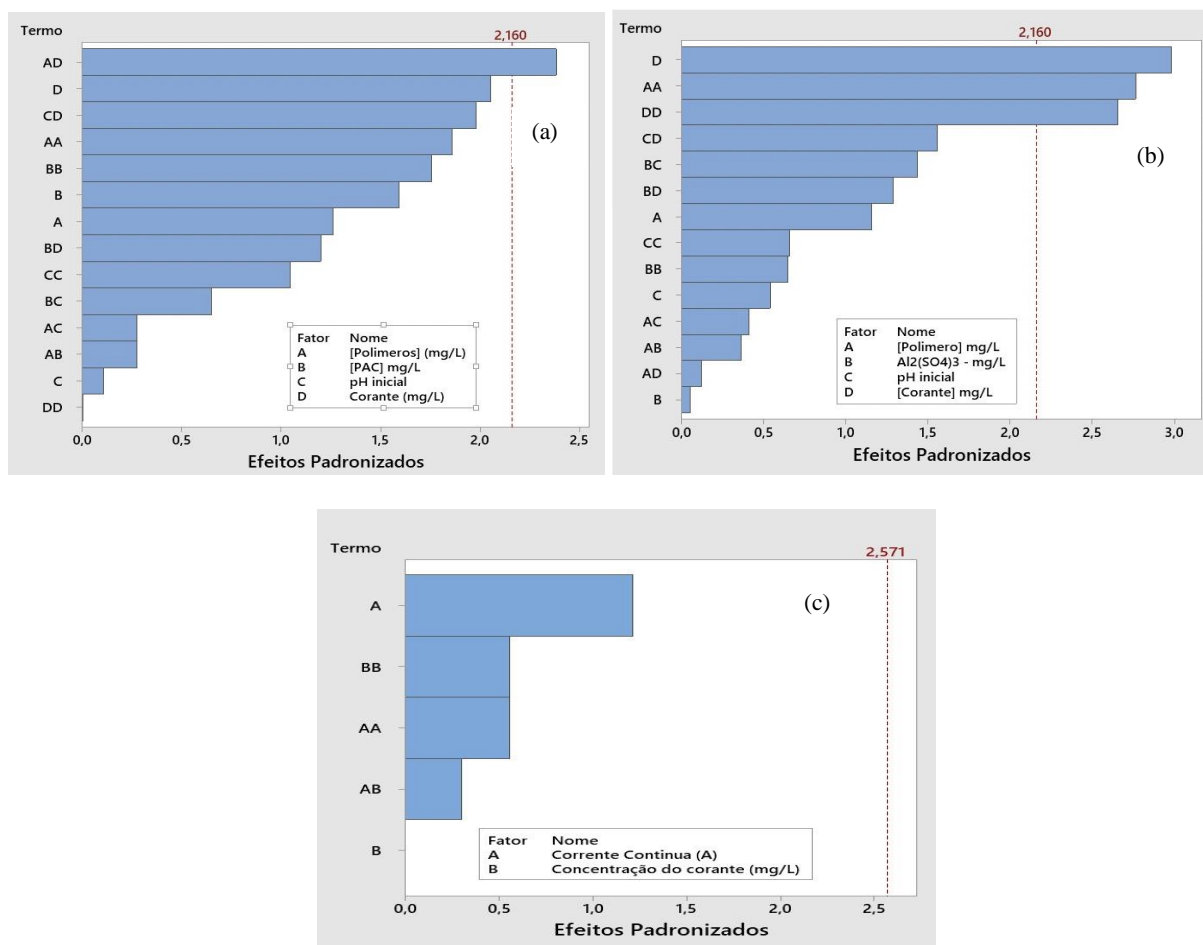
Os resultados de remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) indicaram que os melhores índices de remoção se deram através do tratamento por meio da coagulação/floculação com o uso do coagulante sulfato de alumínio, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11. Resultados comparativos da % de remoção de DQO para os diferentes tratamentos de coagulação/floculação e eletrocoagulação.



As Figura 12 representa a análise ANOVA para os resultados de remoção de DQO, no qual observou-se que a eficiência da remoção na coagulação/floculação com o uso de PAC (18%) foi influenciada pela interação entre concentração do corante e do polímero catiônico (Figura 12 a). Já a coagulação/floculação com o uso de sulfato de alumínio apresentou um efeito linear da concentração do corante AM-16, bem como efeito linear para a concentração do corante e do polímero (Figura 12 b), tornando possível obter a curva de contorno para este comportamento na remoção da DQO (Figura 12). Já para a eletrocoagulação nenhuma das variáveis independentes apresentou influência na remoção deste parâmetro (Figura 12 c).

Figura 12. Gráfico de Pareto para remoção de DQO do efluente sintético contendo o corante AM-16 nos tratamentos de coagulação/floculação utilizando o PAC 18% (a);  $Al_2(SO_4)_3$  (b); Eletrocoagulação (c).

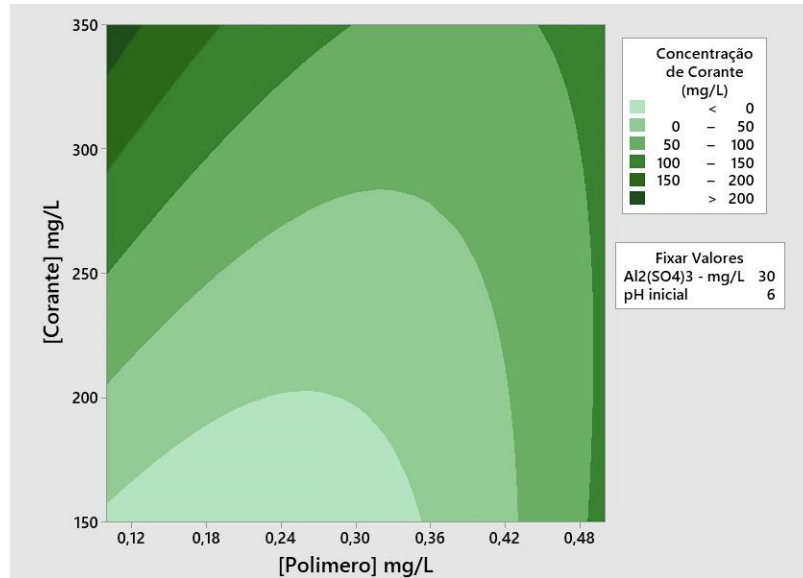


Quanto a interação das variáveis independentes concentração do corante e concentração do PC no tratamento com o PAC-18% (Figura 12 a), se observou um favorecimento na remoção da DQO. A DQO em ambientes aquáticos é um parâmetro de extrema relevância, pois ela pode afetar diretamente a reprodução microbiana podendo danificar seriamente este ecossistema (Meng et al., 2018).

A Figura 13 representa o efeito predominante não-linear das variáveis independentes na concentração do PC e concentração do corante AM-16 na remoção da DQO com o sulfato de alumínio. Onde observa-se que maiores concentrações do contaminante associadas a maiores concentrações do PC favorecem a remoção da DQO no efluente.

Figura 13. Superfície de resposta para a remoção de DQO do efluente sintético contendo o corante AM-16 no tratamento de coagulação/floculação utilizando  $Al_2(SO_4)_3$





Para o caso da eletrocoagulação, os resultados obtidos por Marquez, Corenõ e Nava (2022), corrobora com resultados ne presente estudo. Os valores médios obtidos para remoção da DQO presente no efluente sintético tratado com os diferentes coagulantes (PAC 18%,  $\text{Al}_2\text{SO}_4)_3$ ) e eletrocoagulação mostrou nas condições utilizadas neste estudo que sulfato de alumínio foi o coagulante com maior eficiência na remoção do DQO (38,04%), seguido do tratamento de eletrocoagulação (29,32%) e do uso do coagulante PAC-18% (21,95%).

### 5.5 Testes de toxicidade

As Figuras 14, 15 e 16 apresentam os resultados dos ensaios de toxicidade com o efluente bruto contendo o corante AM-16 e após os tratamentos (coagulação/floculação) (PAC-18%),  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  e eletrocoagulação), onde é apresentada as porcentagens de mortalidade. Para esta analise onde foi utilizado o microcrustáceo *Artemia salina*.

Figura 14. Taxa de mortalidade da *Artemia salina* exposta ao efluente bruto contendo o corante AM-16 e taxa de mortalidade do efluente tratado por coagulação/floculação com coagulante PAC-18%.

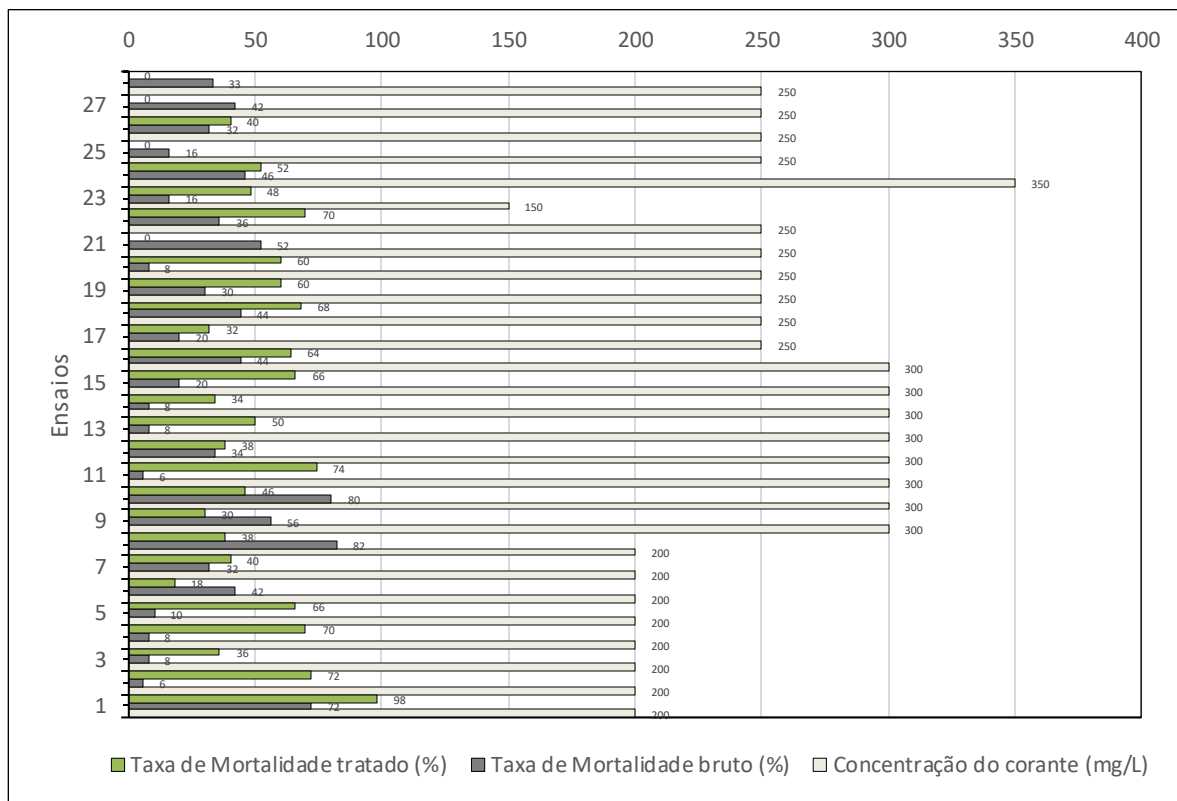


Figura 15. Taxa de mortalidade da *Artemia salina* exposta ao efluente bruto contendo o corante AM-16 e taxa de mortalidade do efluente tratado por coagulação/floculação com coagulante  $Al_2(SO_4)_3$ .

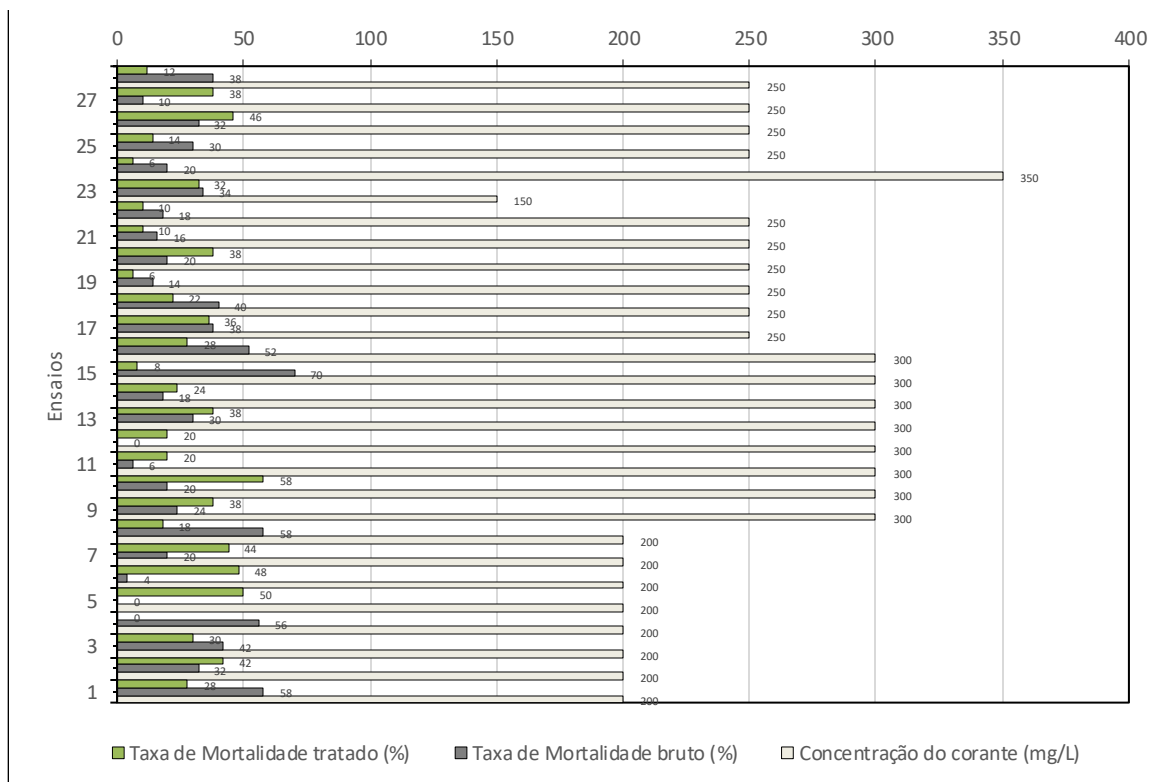
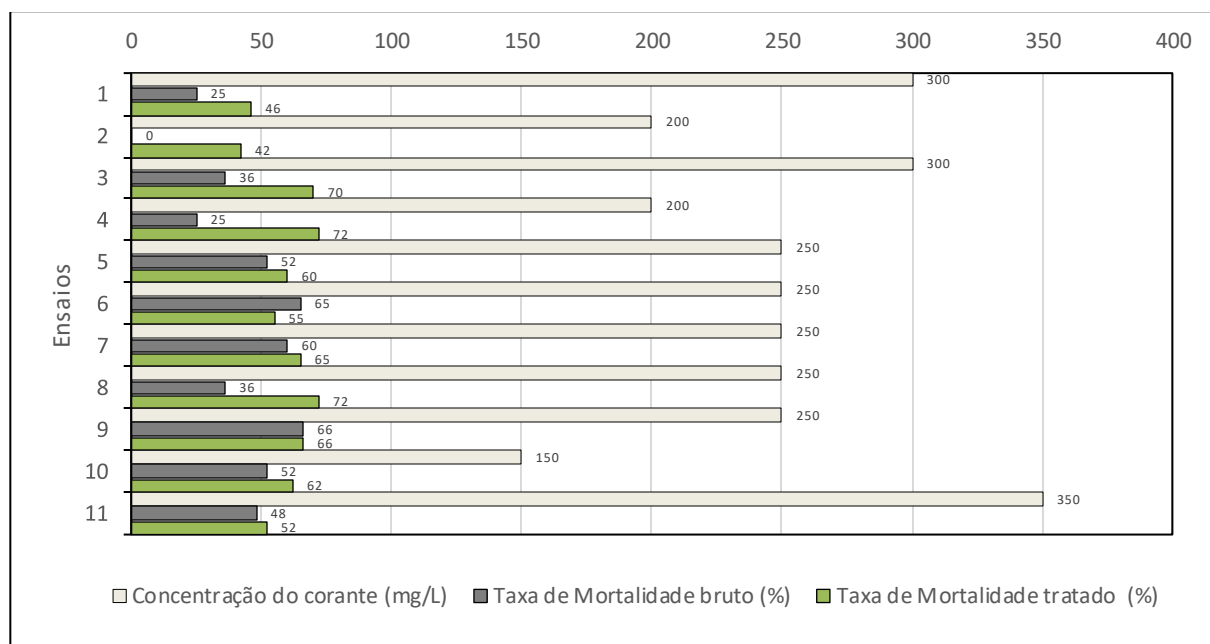


Figura 16. Taxa de mortalidade da *Artemia salina* exposta ao efluente bruto contendo o corante AM-16 e

taxa de mortalidade do efluente tratado por eletrocoagulação.



Através dos dados de ANOVA foi possível constatar que nenhuma variável dos diferentes tratamentos dentro dos níveis avaliados influenciou significativamente no índice de mortalidade observado nas amostras do efluente contendo os indivíduos (*Artemis salina*). No entanto, segundo Al-Ansari et al. (2022) a descoloração do efluente têxtil contendo corantes do tipo azo (laranja de metila, vermelho congo) melhorou a taxa de sobrevivência ( $91,7 \pm 2,9\%$ ) nas larvas de *Artemia* após 24 h.

Deve se observar que como já citado anteriormente o fato de haver a remoção da cor do efluente com o tratamento, não significa a remoção de compostos intermediários que muitas vezes representam maior toxicidade do que o próprio efluente bruto, visto que, pode se apenas ocorrer a quebra das ligações relacionadas ao grupo cromóforo do corante e não a mineralização do contaminante. De forma geral, ao se observar a porcentagem de mortalidade após o tratamento, pode ser constatar que possivelmente este efeito tenha ocorrido quando do tratamento do efluente contendo AM-16 pelo método de eletrocoagulação e coagulação utilizando o PAC-18%, além de compostos intermediários o pH final do processo também pode ter influenciado no resultado observado.

Os resultados da redução na toxicidade com os tratamentos de coagulação/floculação por meio do uso do PAC (18%) mostraram uma redução da taxa de mortalidade de 8% após o tratamento, que se torna mais acentuada quando da utilização do  $Al_2(SO_4)_3$  com 12%, podendo chegar ao valor de 62% (ensaio 8) (Apêndice 6, 7). Já para a eletrocoagulação, a taxa média de mortalidade antes do tratamento foi de 42%, no entanto após o tratamento a taxa média de

mortalidade foi de 60%, com valores que variaram de 42% a 72%, demonstrando uma média superior após o tratamento (Apêndice 8). Este efeito pode estar relacionado à formação de compostos intermediários mais tóxicos do que a molécula do corante em si (Maman et al., 2022), bem como ao aumento no pH que é normal em processos de eletrocoagulação.

Alguns trabalhos utilizando plantas para a avaliação da toxicidade trazem como resultados que os corantes são tóxicos para as plantas em qualquer concentração (Paul et al., 2012), bem como apontam que há uma relação direta com a degradação destas moléculas e a redução da toxicidade para estas espécies (Kadam et al., 2014; Kadam et al., 2015). Os resultados obtidos por Torres et al. (2019) utilizando a alga *Raphidocelis subcapitata* e a semente da *Lactuca sativa* demonstraram que a remoção do corante e o COT influenciou na redução da taxa de mortalidade, indicando que o tratamento removeu parte dos compostos tóxicos.

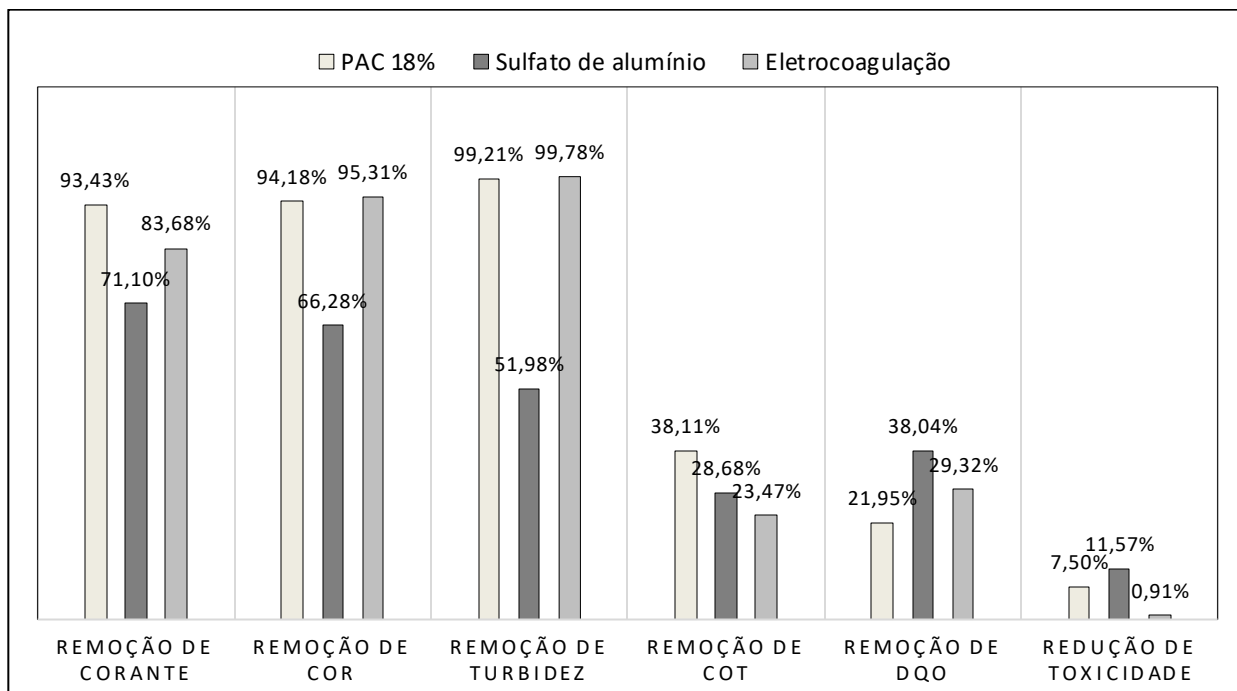
Além do efeito agudo que foi avaliado neste estudo, deve-se atentar aos efeitos a longo prazo que podem ser desencadeados pela exposição de organismos aquáticos a efluentes contendo corantes. No estudo desenvolvido por Alderete et al. (2020), onde foi avaliado efluente sintético contendo o corante azo Amido Black 10B (AB10B), os testes de toxicidade utilizando a *Daphnia magna* e cepa *Allium* foram utilizados para avaliar efeitos de toxicidade aguda e mutagenese cromossômica, respectivamente, onde observou-se que o efluente bruto não apresentou toxicidade aguda, mas induziu mutações cromossômicas na espécie *Allium*.

Deve-se destacar que a espécie utilizada nos ensaios de toxicidade também pode vir a influenciar nos resultados obtidos. Estudo utilizando sementes de alface (*L. sativa*) demonstrou que mesmo após o tratamento com eletrocoagulação, a taxa de germinação continuava baixa, indicando alta toxicidade, colaborando com o presente estudo (Martins et al., 2023). No entanto, a pesquisa realizada por Lach et al. (2022) com microcrustáceos *Daphnia magna* indicou redução do valor de toxicidade após o tratamento.

## 5.6 Comparativos dos resultados médios de remoção

A Figura 17 indica os resultados de remoção média dos diferentes parâmetros estudados com os tratamentos apresentados nessa presente pesquisa.

Figura 17. Remoção média dos valores nas variáveis de resposta para os ensaios realizados em cada tratamento aplicado no efluente sintético contendo o corante AM-16.



O tratamento por coagulação/floculação utilizando o PAC - 18%, sulfato de alumínio e a eletrocoagulação indicou remoções médias da concentração do corante de 93,43%, 71,1% e 83,68% respectivamente. Quanto a toxicidade a melhor redução foi observada nos ensaios utilizando o  $Al_2(SO_4)_3$  no tratamento do efluente sintético, onde obteve-se uma média de 11,57%. A eletrocoagulação se mostrou eficiente para a remoção média da concentração do corante AM - 16 (83,68%) e da cor (95,31%), para os demais parâmetros avaliados os resultados médios foram inferiores aos obtidos com os processos de coagulação/floculação.

## 6 CONCLUSÃO

O sulfato de alumínio apesar de se tratar de um coagulante tradicional, apresentou alta eficiência na remoção dos parâmetros avaliados, sendo que foi o tratamento com menor toxicidade residual após sua aplicação. No entanto, os dados mostraram a possibilidade de utilização do coagulante PAC -18%, visto as altas remoções para os parâmetros, contaminante, cor e COT.

Quanto a eletrocoagulação, esta apresentou um desempenho razoável se comparado aos demais, visto que, mesmo tendo boas remoções do AM-16, cor e DQO, foi o processo que apresentou maior toxicidade residual. Desta forma, o presente estudo concluiu que os diferentes processos de tratamento utilizados foram eficientes, porém observou-se que o tratamento utilizando os coagulantes ainda são competitivos quando comparados com o eletroquímico nas condições utilizadas no presente estudo. Assim nas condições avaliadas nesta pesquisa a

coagulação/floculação utilizando o PAC-18% mostrou resultados mais efetivos, no geral das variáveis dependentes avaliadas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUHASEL, K.; KCHAOU, M.; ALQURAIISH, M.; MUNUSAMY, Y.; JENG, Y. Oily wastewater treatment: overview of conventional and modern methods, challenges, and future opportunities. **Water**, v. 13, n. 7, p. 980, 2021.

AL-ANSARI, M. M.; LI, Z., MASOOD, A.; RAJASELVAM, J. Decolourization of azo dye using a batch bioreactor by an indigenous bacterium *Enterobacter aerogenes* ES014 from the wastewater dye effluent and toxicity analysis. **Environmental Research**, 205, 112189, 2022. [10.1016/j.envres.2021.112189](https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112189)

ALBAHNASAWI, A. Removal of Reactive Red 141 and Disperse Red 13 Dyes from Aqueous Solutions Using Different Coagulants: An Optimization and Comparison Study. **Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi** (Online), 11(3), 1269-128, 2023. <https://doi.org/10.29130/dubited.1183818>

ANDRADE, A.; BLASQUES, R.; VILLIS, P.; SILVA, D.; GOMES, W. Efficiency of electroflocculation in the treatment of water contaminated by organic waste. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, 2020.

ANDRADE, P. J. D. Desenvolvimento de um sistema de filtração para tratamento de soluções de corantes têxteis a base de quitosana. **Repositório da Universidade Federal de Campinas**, 2019.

ANJOS, P. **Aplicação de Sulfato de alumínio e taninos vegetais na coagulação-floculação de efluentes de curtume**. 111 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós – Graduação em Engenharia Química) – UFRGS, 2016.

ARDHAN, N.; TONGPADUNGROD, P.; PHALAKORNKULE, C. Effects of auxiliary hemicals and dye solubility on chemical oxygen demand reduction of dyes by electrocoagulation with Fe electrode. **Materials Today: Proceedings**, 52, 2529-2533, 2022. [10.1016/j.matpr.2021.10.446](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.446)

ARL, M; NOGUEIRA, DJ; SCHVEITZER KÖERICH, J; MOTTIM JUSTINO, N; SCHULZ VICENTINI, D; GERSON MATIAS, W. Tattoo links: Characterization and in vivo and in vitro toxicological evaluation. **Journal of hazardous materials**, v. 364, p. 548-561, 2019. [10.1016/j.jhazmat.2018.10.072](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.10.072)

ASFAHA, Y.; ZEWGE, F.; YOHANNES, T; KEBEDE, S. Investigation of cotton textile industry wastewater treatment with electrocoagulation process: Performance, mineralization, and

kinetic study. **Water Science and Technology**, v. 85 (5), 1549-1567, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). Indústria têxtil e de confecção faturou R\$ 194 bilhões em 2021. [Relatório comercial]. São Paulo: ABIT, 2022. Disponível em: <https://www.abit.org.br/noticias/industria-textil-e-de-confeccao-faturou-r-194-bilhoes-em-2021>. Acesso em: 9 de maio de 2023.

ATHAYDES, T. V. S.; PAROLIN, M; CRISPIM, J. Q. Análise histórica sobre práticas de saneamento básico no mundo. **Revista nacional de gerenciamento de cidades**, v. 8, n. 65, 2020.

BARCELLOS, C. H.; CARVALHO, A. R.P. **Tratamento biológico de efluentes. Kurita, Soluções em Engenharia e Tratamento de Água**. Disponível em: [http://www.kurita.com.br/adm/download/Tratamento\\_Biologico\\_de\\_Efluentes](http://www.kurita.com.br/adm/download/Tratamento_Biologico_de_Efluentes). 2014. Acesso em: 15 de fev. 2023.

BARCELLOS, I.; DOS SANTOS, V. L. V. F.; PICCOLI, H. H. Pre-alvejamento de materiais têxteis com ozônio e avaliação de suas propriedades de superfície, físicas e tintoriais. **Revista Matéria**, v. 22 (1), 1-14, 2016. 10.1590/S1517-707620170001.0122

BARROSO, S. H. A. **Estudo do comportamento de solos artificiais através de adsorção de azul de metileno**. Dissertação de mestrado. São Carlos. 1996. <https://doi.org/10.11606/D.18.2018.tde-02022018-154220>.

BASSI, B. L. T.; FERNANDES, W. S.; DE LAPENA, S. A. B. NEUROTOXICIDADE DO ALUMÍNIO NA DOENÇA DE ALZHEIMER. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 319-319, 2016.

BENER, S.; BULCA.; PALAS, B.; TEKIN, G.; ATALAY, S.; ERSÖZ, G. Electrocoagulation process for the treatment of real textile wastewater: Effect of operative conditions on the organic carbon removal and kinetic study. **Process Safety and Environmental Protection**, 129, 47-54, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.06.010>

BHARTI, V; VIKRANT, K; GOSWAMI, M; TIWARI, H; SONWANI, R. K.; LEE, J; TSANG, DCW; KIM, K.H.; SAEED, M; KUMAR, S. RAI, B.N.; GIRI, B.S.; SINGH, R.S. Biodegradation of methylene blue dye in a batch and continuous mode using biochar as packing media. **Environ Res.**, v. 171, 356-364. doi: 10.1016/j.envres.2019.01.051

BLACK, J. **A History of the World: From Prehistory to the 21st Century**. Arcturus Publishing, 2020.

BRANDÃO, M. A.; CASTILHO, N. **Estação de tratamento de água e esgoto**. 2001.

BUN, S., HONG, P., CHAWALOESPHOSIYA, N., PANG, S., VET, S., HAM, P., PAINMANAKUL, P. Development of integrated electrocoagulation-sedimentation (IECS) in continuous mode for turbidity and color removal. **ChemEngineering**, v. 6, n. 1, p. 3, 2022.

CARREIRA, M. F. **Sistema de tratamento têxteis**. 2006. 682p. Tese de Doutorado – Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, SC, Florianópolis, 2006.

CARVALHO, B. De J. **Ecologia e poluição**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 1975.

CASTRO, M. C.; ALVES, E. S.; SAQUET, B. H. F.; MONTANHER, S. F. Estudo de adsorção do corante Nylosan azul N-BLNtêxtil em resíduos de semente de maracujá. **Research, Society and Development**, v. 10, (13), e573101321594-e573101321594, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21594>

CAVALCANTI, A. M.; DOS SANTOS, G. F. A indústria têxtil no Brasil: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial. **Exacta**, v. 20, n. 3, p. 706-726, 2022. <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.17784>

COLPINI, L. M. S.; REAL, L. R.; MAKUDA, J. L.; NICOLINI, M. V. S.; ABREU, E.; FIDELIS, M. Z.; LENZI, G. G. Discoloration of methylene blue dye using Nb2O5/UV and Nb2O5/solar systems/Descoloração do corante azul de metileno utilizando sistemas Nb2O5/UV e Nb2O5/solar. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30859-30880, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-518>

COMLEKCIOGLU, N.; EFE, L.; KARAMAN, S. Extraction of indigo from some *Isatis* species and dyeing standardization using low-technology methods. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 58, p. 96-102, 2015.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**, 2011. Resolução nº 430, 13 de Maio de 2011. Ministério do Meio Ambiente.

CORAL, L.; BERGAMASCO, R.; BASSETTI, F. J. **Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de alumínio no Tratamento de Águas para Consumo**. 2nd International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo, 2009.

COSTA, A. C. D. S. Q., RODRIGUES, T. V.; JUNIOR, J. P. T. A. Eletrofloculação Empregada No Tratamento De Efluêntes Têxteis. **Repositório da Universidade São Francisco**, 2019.

CRESPILHO, F. N., REZENDE, M. O. O. **Eletroflotação: Princípios e Aplicações**. São Carlos: Ed. Rima, 2004

CRIADO, S. P.; GONÇALVES, M. J.; TAVARES, L. B. B.; BERTOLI, S. L. Optimization of electrocoagulation process for disperse and reactive dyes using the response surface method with reuse application. **Journal of Cleaner Production**, v. 275, p. 122690, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122690>.

ĆURIC, I.; DOLAR, D. Investigation of pretreatment of textile wastewater for



membrane processes and reuse for washing dyeing machines. **Membranes**, v. 12, n. 5, p. 449, 2022.

DA COSTA, D. M. A.; DE MELO, J. J. S. Estudo da capacidade de remoção de azul de metileno pela biomassa da casca do limão taiti (*Citrus latifolia*). **Holos Environment**, v. 18, n. 2, p. 271-282, 2018.

DALVAND, A.; EHRAMPOUSH, M. H.; GHANEIAN, M. T.; MOKHTARI, M., EBRAHIMI, A. A., MALEK AHMADI, R.; MAHVI, A. H. Application of chemical coagulation process for direct dye removal from textile wastewater. **Journal of Environmental Health and Sustainable Development**, 2(3), 333-339, 2017. <https://doaj.org/article/88743ae6658c4f32859a260c3591a758>

DE AZEVEDO, J. C. V.; VALVERDE, S. A.; DA LUZ MESQUITA, P. Avaliação preliminar da remoção de boro em efluente sintético por adsorção em carvão de ossos bovinos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14394-14401, 2020.

DE BONA SARTOR, R. R.; MELO, A. R.; MARQUES, C. R. M.; FERNANDES, R. F.; DE FIGUEIREDO, F. L. D.; CAMPOS, D. D. P. Análise e comparação de sulfato de alumínio, policloreto de alumínio e tanino como coagulantes no tratamento de efluente de uma lavanderia industrial. **Revista Vincci-Periódico Científico do UniSATC**, v. 4, n. 2, p. 179-204, 2019.

DE MAMAN, R.; BEHLING, L.; DA LUZ, V.; DERVANOSKI, A.; DALLA ROSA, C.; PASQUALI, G. D. L. Oxidation of Textile Dye Through Electrocoagulation Process Using Scrap Iron Electrodes. **Water, air, and soil pollution**, v.233 (3), 2022. [10.1007/s11270-022-05564-2](https://doi.org/10.1007/s11270-022-05564-2)

DE MAMAN, R.; DA LUZ, V.; BEHLING, L.; DERVANOSKI, A.; DALLA ROSA, C.; PASQUALI, G. D. L. Electrocoagulation applied for textile wastewater oxidation using iron slag as electrodes. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 29 (21), 31713-31722, 2022. [10.1007/s11356-021-18456-5](https://doi.org/10.1007/s11356-021-18456-5)

DE OLIVEIRA, C. R.; GRANZIERA, M. L. Z. **Novo marco do saneamento básico no Brasil**. Editora Foco, 2022.

DEY, M.; SINGH, R. K. Neurotoxic effects of aluminium exposure as a potential risk factor for Alzheimer's disease. **Pharmacological Reports**, v. 74, n. 3, p. 439-450, 2022.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. G. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. São Carlos: RiMa, 2005.

DOS SANTOS, B. S.; EYNG, E.; BITTENCOURT, P. R. S.; FRARE, L. M.; DE MORAES FLORES, É. L.; COSTA, M. B. Electro-flocculation associated with the extract of

Moringa oleifera Lam as natural coagulant for the removal of reactive blue 5G dye. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 38, n. 4, p. 483-488, 2016.

EL GAAYDA, J.; TITCHOU, F.; BARRA, I.; KARMAL, I.; AFANGA, H.; ZAZOU, H.; AKBOUR, R. Optimization of turbidity and dye removal from synthetic wastewater using response surface methodology: Effectiveness of Moringa oleifera seed powder as a green coagulant. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 1, p. 106988, 2022.

EL-GOHARY, F.; TAWFIK, A. Decolorization and COD reduction of disperse and reactive dyes wastewater using chemical-coagulation followed by sequential batch reactor (SBR) process. **Desalination**, v. 249, n. 3, p. 1159-1164, 2009.

FARHADI, M.; TAKDASTAN, A.; BAGHBANY, R. Evaluating the Efficiency of Tragacanth Coagulant Aid in Removing Colloidal Materials and Suspended Solids Creating Turbidity from Karun River Water. **Journal of Environmental Health and Sustainable Development**, v. 1, n. 1, p. 1-8. 2016.

FARIAS, C. K. D. L.; DO NASCIMENTO, K. K. R.; VIEIRA, F. F.; DE ALMEIDA, M. M. Adsorção de cobre presente em solução aquosa por adsorvente de casca de laranja seco e modificado com HCL. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 102344-102355, 2020.

FERREIRA, I. L. S. **Tingimento de tecido de algodão com corantes reativos utilizando água do mar**. 2019. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Têxtil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

FERREIRA, J. G.; GOMES, M. F. B.; DANTAS, M. W. A. Desafios e controvérsias do novo marco legal do saneamento básico no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 7, p. 65449-65468, 2021.

FULADPANJEH-HOJAGHAN, B.; ELSUTOHY, M. M.; KABANOV, V.; HEYNE, B.; TRIFKOVIC, M.; ROBERTS, E. P. In-Operando Mapping of pH Distribution in Electrochemical Processes. **Angewandte Chemie**, v. 131, n. 47, p. 16971- 16975, 2019.

FURLAN, F. R. **Avaliação da eficiência do processo de coagulação-floculação e adsorção no tratamento de efluentes têxteis**. 2008. 151 f. 2008. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GAO, B.; WANG, Y.; YUE, Q.; WEI, J.; LI, Q. Color removal from simulated dye water and actual textile wastewater using a composite coagulant prepared by polyferric chloride and polydimethyldiallyl ammonium chloride. **Separation and Purification Technology**, v.54 (2), 157-163, 2007. [10.1016/j.seppur.2006.08.026](https://doi.org/10.1016/j.seppur.2006.08.026)

GARCIA-SEGURA, S.; EIBAND, M. M. S.; DE MELO, J. V.; MARTÍNEZ-HUITLE,

C. A. Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 801, p. 267-299, 2017.

GOLBAZ, S.; NABIZADEH, R.; RAFIEE, M.; YOUSEFI, M. Comparative study of RSM and ANN for multiple target optimisation in coagulation/precipitation process of contaminated waters: mechanism and theory. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v. 102, n. 19, p. 8519-8537, 2022. 1-20. [https://doi-org.ez372.periodicos.capes.gov.br/10.1080/03067319.2020.1849663](https://doi.org.ez372.periodicos.capes.gov.br/10.1080/03067319.2020.1849663).

GONÇALVES, J.; BALDOVI, A. A.; CHYOSHI, B.; ZANATA, L.; SALCEDO, A. M.; SUBTIL, E. L.; COELHO, L. H. Effect of aluminum sulfate and cationic polymer addition in the mixed liquor of a submerged membrane bioreactor (SMBR): sludge characteristics and orthophosphate removal in batch experiments. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 36, p. 693-703, 2019.

GUARATINI, C. L.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química nova**, v. 23, p. 71-78, 2000.

HOONG, H. N. J.; ISMAIL, N. Removal of dye in wastewater by adsorption-coagulation combined system with Hibiscus sabdariffa as the coagulant. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2018. p. 01008.

HOWE, K. J.; HAND, W. H.; CRITTENDEN, J. C., TRUSSELL, R. R., TCHOBANOGLOUS, G. **Principles of water treatment**. Cengage Learning, 2017. <http://dx.doi.org/10.17159/wsa.2020.v46i2.8246>.

IHADDADEN, S.; ABERKANE, D.; BOUKERROUI, A.; ROBERT, D. Removal of methylene blue (basic dye) by coagulation-flocculation with biomaterials (bentonite and *Opuntia ficus indica*). **Journal of Water Process Engineering**, v. 49, p. 102952, 2022.

ILOAMAEKE, I. M.; NNAJI, N. J.; OKPALA, E. C.; EBOATU, A. N.; ONUKBU, T. U. *Mercenaria mercenaria* shell: Coagulation-flocculation studies on colour removal by response surface methodology and nephelometric kinetics of an industrial effluent. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v. 9, n.4, p. 105715-10532. 2021.

IMHOFF, K. R. **Die Entwicklung der Abwasserreinigung und des Gewässerschutzes seit 1868**; Das Gas und Wasserfach, v. 120. 1979

INGELSSON, M.; YASRI, N.; ROBERTS, E. P. Electrode passivation, faradaic efficiency, and performance enhancement strategies in electrocoagulation—A review. **Water Research**, v. 187, p. 116433, 2020.

ISLAM, M. R.; MOSTAFA, M. G. Characterization of textile dyeing effluent and its

treatment using polyaluminum chloride. **Applied Water Science**, v. 10, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01204-4>

KADAM, A. A.; KULKARNI, A. N.; LADE, H. S.; GOVINDWAR, S. P. Exploiting the potential of plant growth promoting bacteria in decolorization of dye Disperse Red 73 adsorbed on milled sugarcane bagasse under solid state fermentation. **Int. Biodeterior. Biodegrad.** 86, 364–371, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.10.012>

KADAM, A. A.; LADE, H. S.; LEE, D. S.; GOVINDWAR, S. P. Zinc chloride as a coagulant for textile dyes and treatment of generated dye sludge under the solid-state fermentation: Hybrid treatment strategy. **Bioresource technology**, 176, 38-46, 2015. [10.1016/j.biortech.2014.10.137](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.137)

KAMIWADA, W. Y.; ANDRADE, P. V.; REIS, A. G. Emprego do cloreto de polialumínio em estudos de tratabilidade de água de abastecimento via coagulação, floculação e sedimentação. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, p. 667-676, 2020.

KUMAR, P.; PRASAD, B.; MISHRA, I. M.; CHAND, S. Decolorization and COD reduction of dyeing wastewater from a cotton textile mill using thermolysis and coagulation. **Journal of hazardous materials**, v. 153, n. 1-2, p. 635-645, 2008.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; DO AMARAL, A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 2022.

LACH, C.; PAULI, C.; COAN, A.; SIMIONATTO, E.; KOSLOWSKI, L. Investigating the process of electrocoagulation in the removal of azo dye from synthetic textile effluents and the effects of acute toxicity on *Daphnia magna* test organisms. **Journal of Water Process Engineering**, 45, 102485, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102485>

LARA, P. A.; RODRÍGUEZ, D. C.; PEÑUELA, G. A. Application of coagulation by sweep for removal of metals in natural water used in dairy cattle. **Afinidad**, v. 73(576), 2016. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/318425/408594>

LIAKOU, S., PAVLOU, S., LYBERATOS, G. Ozonation of azo dyes. **Water Science and Technology**, v.35, n. 4, p. 279-286, 1997.

LIU, Y.; TAN, Y.; CHENG, Z.; LIU, S.; REN, Y.; CHEN, X.; SHEN, Z. Quantitative structure-activity relationship (QSAR) guides the development of dye removal by coagulation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 438, p. 129448, 2022.

MACEDO, K. R. Métodos de tratamento de efluentes gerados pela indústria têxtil: uma revisão bibliográfica. **Repositório da UFERSA**. 2019. <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/425f85d5-ed0f-4338-ab46-acbeb569f2cb>

MANENTI, D. R.; MÓDENES, A. N.; SOARES, P. A.; BOAVENTURA, R. A.;

PALÁCIO, S. M.; BORBA, F. H.; VILAR, V. J. Biodegradability and toxicity assessment of a real textile wastewater effluent treated by an optimized electrocoagulation process. **Environmental technology**, v. 36, n. 4, p. 496-506, 2015.

MANN, T. Die Entwicklung der Abwassertechnik und die Wasserreinigung. **Chemie in unsere Zeit**, v. 2, p. 87-95, 1991.

MARCONDES, J. Tratamento de efluentes. **Fema-Fundação Educacional do Município de Assis-Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis-Campos José Santilli Sobrinho**. Assis-SP, p. 49, 2012.

MARQUEZ, A. A.; CORENO, O.; NAVA, J. L. Removal of brilliant green tannery dye by electrocoagulation. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 911, p. 116223, 2022.

MARTINS, J. E. C. A.; ELIEZER F. A. N.; RIBEIRO, P. J.; DE LIMA, A. C. A.; DE SOUZA, F.W.; OLIVEIRA, A. G.; VIDAL, C. B.; NASCIMENTO, R. F. Evaluation of the Toxicity of Textile Effluent Treated by Electrocoagulation. **Water Practice and Technology** 18 (4), 930-46, 2023. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.049>

MAZZUTTI, E. A.; KLAMT, R. A.; FARO, V. P. Study of the hydro-mechanical behavior of a stabilized soil with water treatment plant sludge for application in sanitary landfills. **Soils and Rocks**, v. 46, 2023. <https://doi.org/10.28927/SR.2023.011222>

MCYOTTO, F.; WEI, Q.; MACHARIA, D.; HUANG, M.; SHEN, C.; CHOW, C. Effect of dye structure on color removal efficiency by coagulation. **Chemical Engineering Journal** (Lausanne, Switzerland : 1996), 405, 126674, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126674>

MELLO, E. J. R. **Tratamento de Esgoto Sanitário**. 2007. 99p. Monografia (Pós-Graduação) – Engenharia Sanitária – UNUMINAS, MG, Uberlândia, 2007.

MENG, X.; WU, J.; KANG, J.; GAO, J.; LIU, R.; GAO, Y.; HU, Y. Comparison of the reduction of chemical oxygen demand in wastewater from mineral processing using the coagulation–flocculation, adsorption and Fenton processes. **Minerals Engineering**, 128, 275-283, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.09.009>

MERIÇ, S.; SELÇUK, H.; BELGIORNO, V. Acute toxicity removal in textile finishing wastewater by Fenton's oxidation, ozone and coagulation–flocculation processes. **Water Research**, v. 39, n. 6, p. 1147-1153, 2005.

MOMENI, M. M.; KAHFOROUSHAN, D.; ABBASI, F.; GHANBARIAN, S. Using chitosan/CHPATC as coagulant to remove color and turbidity of industrial wastewater: optimization through RSM design. **Journal of Environmental Management**, v. 211, p. 347-355, 2018.

MONTEIRO, M. S.; DE FARIAS, R. F.; CHAVES, J. A. P.; SANTANA, S. A.; SILVA,

H. A.; BEZERRA, C. W. Wood (*Bagassa guianensis* Aubl) and green coconut mesocarp (*cocos nucifera*) residues as textile dye removers (Remazol Red and Remazol Brilliant Violet). **Journal of environmental management**, 204, 23-30, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.033>

MOREIRA, D. A.; DE SOUZA, J. A. R.; SILVA, É. L.; GONÇALVES, J. M.; REZENDE, D. C. V.; OLIVEIRA, W. M.; REZENDE, J. G. F. Biossorção de metais pesados pela casca de ovo de galinhas poedeiras. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 7, p. 289-295, 2018.

NASCIMENTO, R. F. D.; LIMA, A. C. A. D., VIDAL, C. B.; MELO, D. D. Q.; & RAULINO, G. S. C. Adsorção: aspectosteóricos e aplicações ambientais. 2ª ed. **Fortaleza: Imprensa Universitária**, 2020.

NÚÑEZ, J.; YEBER, M.; CISTERNAS, N.; THIBAUT, R., MEDINA, P.; CARRASCO, C. Application of electrocoagulation for the efficient pollutants removal to reuse the treated wastewater in the dyeing process of the textile industry. **Journal of hazardous materials**, v. 371, p. 705-711, 2019.

OBIORA-OKAFO, I. A.; ONUKWULI, O.D. Optimization of coagulation-flocculation process for colour removal from azo dye using natural polymers: response surface methodological approach. **Nigerian Journal of Technology**. Vol. 36, No. 2, 2017.

OBIORA-OKAFO, I. A.; ONUKWULI, O.D.; ELI-CHUKWU, N. C. Evaluation of bio-coagulants for colour removal from dye synthetic wastewater: characterization, adsorption kinetics, and modelling approach. **Water SA**. p. 300-312. 2020.

OLIVEIRA, A. C.; BALTAR, C. A. M. Influence of the pH regulator on the dolomite hydrophobization process. **REM-International Engineering Journal**, v. 73, p. 403-409, 2020.

OLIVEIRA, L.; REIS, D. R.; HOFFMANN, N. K. S. A. Decay process of free residual chlorine concentration affected by travel time in water distribution systems. **Revista Ambiente & Água**, v. 17, 2022.

OROZCO, M. M. D.; DE OLIVEIRA, J. G.; BIANQUI, W.; DE ANDRADE, N. L. R.; RIBEIRO, J. G. D. S.; HANAI, F. Y. Estimativa do consumo de água no processo produtivo de indústria frigorífica de bovinos em Ji-paraná/rondônia. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 5, 2021.

ÖZYONAR, F.; GÖKKUŞ, Ö.; SABUNI, M. Removal of disperse and reactive dyes from aqueous solutions using ultrasound-assisted electrocoagulation. **Chemosphere**, v. 258, p. 127325, 2020.

PALÁCIO, S. M.; PASTORIZA, M. C.; MANENTI, D. R.; BORBA, F. H.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; MÓDENES, A. N. Tratamento de efluente de cromagem por eletrocoagulação com eletrodo de aço inoxidável e eletrodo misto de aço inoxidável e alumínio. **Engevista**, V. 15, n. 3. p. 248-254, 2013.

PARAMESWARI, K; VIJILA, M.; J, P. Statistical Modelling of a Comparative Phytotoxicity Study of Treated Yellow 10Gw Dye Solution With Copper and Aluminum in Electrocoagulation Process. **Nature Environment and Pollution Technology**, v. 20, n. 5, p. 2149-2156, 2021.

PASCHOAL, F. M. M.; TREMILIOSI-FILHO, G. Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais. **Química Nova**, v. 28, p. 766-772, 2005.

PATHAK, A.; KHANDEGAR, V.; KUMAR, A. Statistical Investigation in Conjunction with a Box–Behnken Design for the Removal of Dyes Using Electrocoagulation. *Journal of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste*, 26(2), **Journal of hazardous, toxic and radioactive waste**, v. 26 (2), 2021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000679](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000679)

PAUL, J.; KADAM, A. A.; GOVINDWAR, S. P.; KUMAR, P.; VARSHNEY, L. An insight into the influence of low dose irradiation pretreatment on the microbial decolouration and degradation of Reactive Red-120 dye. **Chemosphere**, v. 90, n. 4, p. 1348-1358, 2013.

PEDROSO, C. R.; SOUZA, J. B. D.; KOVALSKI, T.; VIDAL, C. M. D. S.; MARTINS, K. G. Inativação de microrganismos indicadores de contaminação fecal por radiação ultravioleta e avaliação dos fenômenos de fotorreativação e recuperação no escuro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 987-994, 2018.

PEREIRA, A. F. S. **Aplicação da eletroflotação no tratamento de efluente na indústria têxtil**. 90 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2007.

PEREIRA, Luciana; ALVES, Madalena. Dyes—environmental impact and remediation. **Environmental protection strategies for sustainable development**, p. 111-162, 2012.

PERNG, Yuan Shing; BUI, Manh Ha. The feasibility of Cassia fistula gum with polyaluminium chloride for the decolorization of reactive dyeing wastewater. **Journal of the Serbian Chemical Society**, v. 80, n. 1, p. 115-125, 2015.

PERNITSKY, D. J.; EDZWALD, J. K. Selection of alum and polyaluminum coagulants: principles and applications. **Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA**, v. 55, n. 2, p. 121-141, 2006.

PERNITSKY, D. J.; EDZWALD, J. K. Solubility of polyaluminium coagulants. **Journal**

**of Water Supply: Research and Technology—AQUA**, v. 52, n. 6, p. 395-406, 2003.

PETRIS, A.; GONÇALVES, M. J.; RORATTO, P. A.; GOULART, J. A. G. Physicochemical, microbiological and parasitological characterization of the filter backwash water from a water treatment plant of Blumenau-SC and alternatives for treatment and reuse. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, 2019.

PIANTÁ, C. A. V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do Sulfato de alumínio no tratamento de água**. 78f. Monografia (Programa de Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

RIBEIRO, J. V. M; ANDRADE, P. V.; REIS, A. G. Moringa oleifera seed as a natural coagulant to treat low-turbidity water by in-line filtration. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, 2019.

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

RICK, F. M.; DA SILVA, L. F. F.; DE ARAÚJO, A. J. G. **A saga dos piolhos na América do Sul**. *Ciência hoje*, v 31, p 34-40. 2001.

RINAUDO, M. Chitin and chitosan: Properties and applications. **Progress in Polymer Science**, v. 31, n. 7, p. 603–632, 2006. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0079670006000530>. Acesso em: 16 de Fev. 2023.

ROBINSON, T.; MCMULLAN, G.; MARCHANT, R.; NIGAM, P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. **Bioresour Technol.**, 77: 247-255. 2001.

RODRIGUES, C. S. D.; CARABINEIRO, S. A. C.; MALDONADO-HÓDAR, F. J.; MADEIRA, L. M. Wet peroxide oxidation of dye-containing wastewaters using nanosized Au supported on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. **Catalysis Today**, v. 280, p. 165-175, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2016.06.031>

ROSA, C. M. Análise da aplicabilidade do método de espectrofotometria UV/VIS de calibração específica para monitoramento online e in situ do efluente bruto de uma ETE. Florianópolis, Santa Catarina. **Repositório da UFSC**, 2020. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/211996/TCC\\_CaioMatosRosa\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/211996/TCC_CaioMatosRosa_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

SCHALLEMBERGER, J. B.; LIBARDI, N.; PUERARI, R. C.; MATIAS, W. G.; NAGEL-HASSEMER, M. E. Effect of Spent Mushroom Substrate on Azo Dye Removal and Effluent Treatment. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 66: e23210843, 2023. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2023210843>



SENEDA, R. M.; GARCIA, G. F.; REIS, A. G. Cinética da floculação: um estudo comparativo no uso do cloreto de polialumínio com alta e baixa basicidade e o Sulfato de alumínio. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 283-290, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190297>

SHI, B.; LI, G.; WANG, D.; FENG, C.; TANG, H. Removal of direct dyes by coagulation: The performance of preformed polymeric aluminum species. **Journal of Hazardous Materials**, p. 567–574, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.076>

SIGNORELLI, S. C. M. **Aplicação da eletrofloculação no tratamento de água contaminada com corantes têxteis**. 2021. 1 recurso online (77 p.) Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP.

SILVA, G. H. R.; DANIEL, L. A. Desinfecção de efluente anaeróbico com o uso de ozônio/cloro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, p. 279-288, 2015.

SINGH, Z.; CHADHA, P. Textile industry and occupational cancer. **Journal of Occupational Medicine and Toxicology**, v. 11, p. 1-6, 2016.

STONE, C.; WINDSOR, F. M.; MUNDAY, M.; DURANCE, I. Natural or synthetic—how global trends in textile usage threaten freshwater environments. **Science of the Total Environment**, v. 718, p. 134689, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134689>

STONE, Catherine et al. Natural or synthetic—how global trends in textile usage threaten freshwater environments. **Science of the Total Environment**, v. 718, p. 134689, 2020.

SZYGULA, A.; GUIBAL, E.; PALACÍN, M. A.; RUIZ, M.; SASTRE, A. M. Removal of an anionic dye (Acid Blue 92) by coagulation–flocculation using chitosan. **Journal of Environmental Management**, p. 2979-2986. 2009.

TANVEER, R.; YASAR, A.; TABINDA, A.; IKHLAQ, A.; NISSAR, H.; NIZAMI, A. Comparison of ozonation, Fenton, and photo-Fenton processes for the treatment of textile dye-bath effluents integrated with electrocoagulation. **Journal of Water Process Engineering**, v. 46, p. 102547, 2022.

TONES, A.; EYNG, E.; ZEFERINO, C.; FERREIRA, S.; ALVES, A.; FAGUNDES-KLEN, M.; SEHN, E. Spectral deconvolution associated to the Gaussian fit as a tool for the optimization of photovoltaic electrocoagulation applied in the treatment of textile dyes. **The Science of the Total Environment**, 713, 136301, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136301>

TORRES, N. H.; SOUZA, B. S.; FERREIRA, L. F. R.; LIMA, A. S., DOS SANTOS, G. N.; CAVALCANTI, E. B. Real textile effluents treatment using coagulation/flocculation followed by electrochemical oxidation process and ecotoxicological assessment. **Chemosphere**, v. 236, p.

124309, 2019.

TRANKER, V. O fitoplâncton no entorno da reserva biológica Marinha do Arvoredo, Santa Catarina. **Repositório do Instituto Federal de Santa Catarina**, 2021. Tese de Doutorado. <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2165>

TREVIZANI, J. L. B.; CARVALHO, K. Q. D.; PASSIG, F. H.; SCHIAVON, G. J.; PEREIRA, I. C.; SILVA-MEDEIROS, F. V. D. Determinação da cinética de ozonização de efluente têxtil na remoção de cor e matéria orgânica. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, 2019.

UNNISA, S. A.; BI, S. Z. Carica papaya seeds effectiveness as coagulant and solar disinfection in removal of turbidity and coliforms. **Applied Water Science**, v. 8, p. 1-8, 2018.

VIJAYARAGHAVANA, G.; SHANTHAKUMARA, S. Removal of Sulphur Black Dye from its Aqueous Solution Using Alginate from Sargassum sp. (Brown Algae) as a Coagulant. **Environmental Progress & Sustainable Energy**. Vol. 34, N° 5, p. 1427-1435. 2015.

WANG, Y.; LI, J.; QIAO, P.; JING, L.; SONG, Y.; ZHANG, J.; CHEN, Q.; HAN, Q. Screening and application of a new aptamer for the rapid detection of Sudan dye III. **European journal of lipid science and technology**, v. 120, n. 6, p. 1700112, 2018.

WANG, Z.; HU, W.; KANG, Z.; HE, X.; CAI, Z.; DENG, B. Arsenate adsorption on iron-impregnated ordered mesoporous carbon: Fast kinetics and mass transfer evaluation. **Chemical Engineering Journal**, v. 357, p. 463-472, 2019.

WEI, N.; ZHANG, Z.; LIU, D.; WU, Y.; WANG, J.; WANG, Q. Coagulation behavior of polyaluminum chloride: Effects of pH and coagulant dosage. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 23, n. 6, p. 1041-1046. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2015.02.003>. 2015.

XAVIER, C. S. F.; VIEIRA, F. F.; ALVES, M. P.; DE SOUSA, J. T. Utilização do bagaço de cana-de-açúcar na adsorção de corantes têxteis em soluções aquosas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e59110716974-e59110716974, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16974>

YASRI, N., HU, J.; KIBRIA, M. G.; ROBERTS, E. P. Electrocoagulation separation processes. In: **Multidisciplinary Advances in Efficient Separation Processes**. American Chemical Society, 2020. p. 167-203.

YUKSEL, E.; GURBULAK, E., EYVAZ, M. Decolorization of a reactive dye solution and treatment of a textile wastewater by electrocoagulation and chemical coagulation: Techno-economic comparison. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 31 (4), 524-535, 2012. <https://doi.org/10.1002/ep.10574>

ZHANG, Z.; WANG, J.; LIU, D., LI, J.; WANG, X.; SONG, B.; SONG, Y. Hydrolysis of polyaluminum chloride prior to coagulation: Effects on coagulation behavior and implications

for improving coagulation performance. **Journal of Environmental Sciences**, v. 57, p. 162-169, 2017.

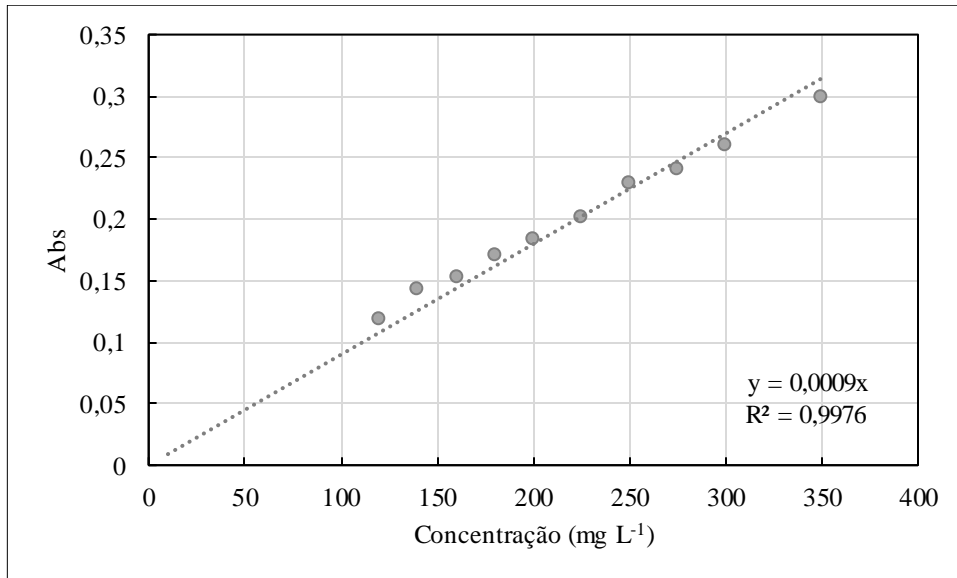
ZOLLINGER, H. **Color chemistry: syntheses, properties, and applications of organic dyes and pigments**. New York, 1991.

LIBRALATO, G., PRATO, E., MIGLIORE, L., CICERO, A. M.; MANFRA, L. A review of toxicity testing protocols and endpoints with *Artemia* spp. **Ecological indicators**, v. 69, p. 35-49, 2016

LEWAN, L.; ANDERSSON, M.; MORALES-GOMEZ, P. The use of *Artemia salina* in toxicity testing. **Alternatives to Laboratory Animals**, v. 20, n. 2, p. 297-301, 1992.

## APÊNDICE

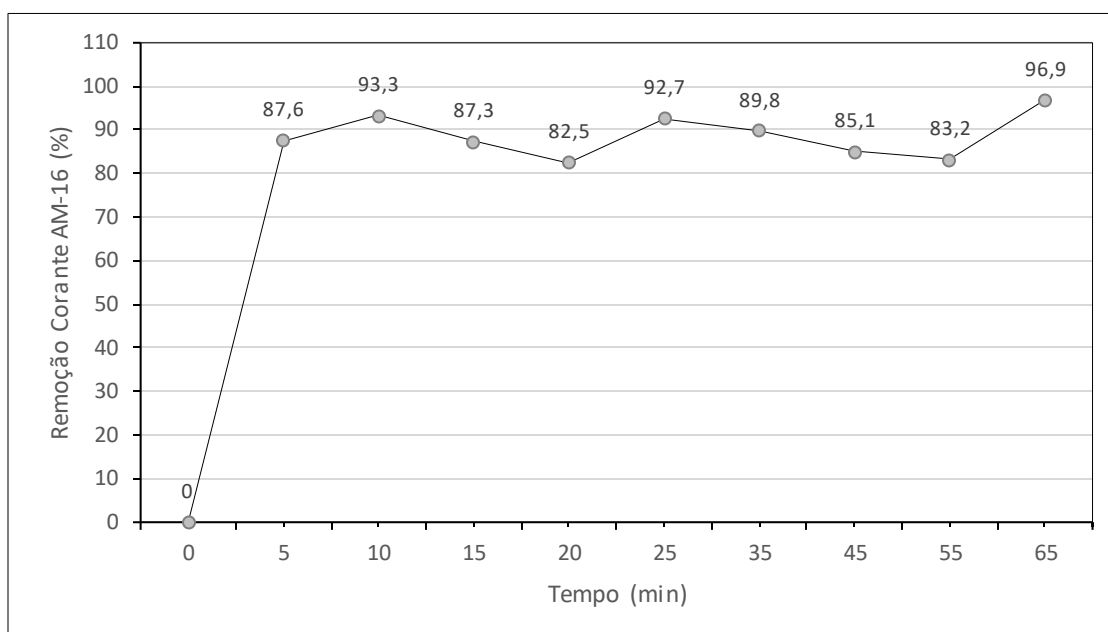
### 1) Curva de calibração para a análise de concentração do corante AM-16



### 2) Testes preliminares usados para a escolha do polímero (floculação)

	<b>Polímero (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>pH inicial</b>	<b>pH final</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Corante AM (mg L<sup>-1</sup>)</b>
<b>Catiônico (PC)</b>	0,1	7,0	9,2	0,06	4,44
	0,3	7,0	8,8	0,14	6,67
	0,5	7,0	8,6	0,15	12,22
<b>Aniônico (PA)</b>	0,1	7,0	8,6	0,18	16,67
	0,3	7,0	8,5	0,10	6,67
	0,5	7,0	8,5	0,17	13,33

3) Resultados do teste cinético de remoção do corante AM-16 para a avaliação do tempo necessário para o tratamento por eletrocoagulação.



4) Tabela de remoção da turbidez no efluente sintético por processo PAC-18% e  $Al_2(SO_4)_3$

Ensaio	Concentração inicial ( $mg L^{-1}$ ) Corante AM-16	PAC 18%			$Al_2(SO_4)_3$		
		Turbidez inicial (UND)	Turbidez final (UND)	Remoção de turbidez (%)	Turbidez inicial (UND)	Turbidez final (UND)	Remoção de turbidez (%)
1	200	77	0,62	99,19	11,3	0	99,9
2	200	91	0,31	99,66	11,7	0	99,9
3	200	85	0,52	99,39	13,9	0	99,9
4	200	56	0,22	99,61	14,6	0	99,9
5	200	56	1,51	97,30	27	5,2	81
6	200	80	0,78	99,03	17,7	11,2	37
7	200	73	0,13	99,82	12,4	12,2	2
8	200	89	0,15	99,83	12,9	11,3	12
9	300	121	2,1	98,26	15,9	13,4	16
10	300	116	0,27	99,77	16,1	15,5	4
11	300	68	0,12	99,82	18,1	19,4	0
12	300	62	0,42	99,32	18,4	6	67
13	300	87	0,17	99,80	73	16	78
14	300	78	0,02	99,97	72	19,8	73
15	300	60	0,04	99,93	76	23	70
16	300	86	0,75	99,13	76	22	71
17	250	63	0,53	99,16	16,4	10,3	37
18	250	72	0,58	99,19	17,9	13,6	24
19	250	125	0	100	15,8	13,1	17
20	250	137	0,01	99,99	15,1	5,6	63
21	250	147	0,02	99,99	15,2	8,5	44

22	250	129	11,4	91,16	46	15,6	66
23	150	117	0,59	99,50	11,7	4,4	62
24	350	120	0,41	99,66	19,2	8	58
25	250	104	0,17	99,84	16,7	10,2	39
26	250	89	0,1	99,89	15,3	15,3	0
27	250	54	0,1	99,81	17,2	10,8	37
28	250	88	0,21	99,76	14,8	0,39	97

5) Tabela de remoção da turbidez no efluente sintético por processo de eletrocoagulação.

Ensaio	Concentração inicial corante AM-16 (mg L <sup>-1</sup> )	Turbidez inicial (UND)	Turbidez final (UND)	Remoção de Turbidez (%)
1	300	152	0	99,9
2	200	130	0	99,9
3	300	146	1	99,32
4	200	95	0	100
5	250	112	0	100
6	250	113	1	99,12
7	250	112	1	99,11
8	250	124	0	99,9
9	250	122	0	99,9
10	150	90	0	99,9
11	350	152	0	99,9

6) Tabela com os dados de mortalidade do microcrustáceo *Artemia salina* exposto ao efluente sintético bruto e tratados por processo de coagulação/floculação utilizando o PAC-18%.

Ensaio	Concentração inicial (mg L <sup>-1</sup> ) Corante AM-16	Artemias vivas	Artemias mortas	Taxa de mortalidade (%)	Artemias vivas	Artemias mortas	Redução da taxa de mortalidade (%)
		Efluente Bruto (PAC 18%)			Efluente Tratado (PAC 18%)		
1	200	50	14	72	50	1	98
2	200	50	14	72	50	14	72
3	200	50	47	6	50	32	36
4	200	50	46	8	50	15	70
5	200	50	46	8	50	17	66
6	200	50	45	10	50	41	18
7	200	50	29	42	50	30	40
8	200	50	34	32	50	31	38
9	300	50	9	82	50	35	30
10	300	50	22	56	50	27	46
11	300	50	10	80	50	13	74
12	300	50	47	6	50	31	38
13	300	50	33	34	50	25	50
14	300	50	46	8	50	33	34
15	300	50	46	8	50	17	66
16	300	50	40	20	50	18	64
17	250	50	28	44	50	34	32

18	250	50	40	20	50	16	68
19	250	50	28	44	50	20	60
20	250	50	35	30	50	20	60
21	250	50	46	8	50	50	0
22	250	50	24	52	50	15	70
23	150	50	32	36	50	26	48
24	350	50	42	16	50	24	52
25	250	50	27	46	50	50	0
26	250	50	42	16	50	30	40
27	250	50	34	32	50	50	0
28	250	50	29	42	50	50	0

7) Tabela com os dados de mortalidade do microcrustáceo *Artemia salina* exposto ao efluente sintético bruto e tratados por processo de coagulação/floculação utilizando o  $Al_2(SO_4)_3$ .

Ensaio	Concentração inicial (mg L <sup>-1</sup> ) Corante AM-16	Artemias vivas	Artemias mortas	Taxa de mortalidade (%)	Artemias vivas	Artemias mortas	Redução da taxa de mortalidade (%)
		Efluente Bruto ( $Al_2(SO_4)_3$ )			Efluente Tratado ( $Al_2(SO_4)_3$ )		
1	200	50	21	58	50	36	28
2	200	50	34	32	50	29	42
3	200	50	29	42	50	35	30
4	200	50	22	56	50	50	0
5	200	50	50	0	50	25	50
6	200	50	48	4	50	26	48
7	200	50	40	20	50	28	44
8	200	50	21	58	50	41	18
9	300	50	38	24	50	31	38
10	300	50	40	20	50	21	58
11	300	50	47	6	50	40	20
12	300	50	50	0	50	40	20
13	300	50	35	30	50	31	38
14	300	50	41	18	50	38	24
15	300	50	15	70	50	46	8
16	300	50	24	52	50	36	28
17	250	50	31	38	50	32	36
18	250	50	30	40	50	39	22
19	250	50	43	14	50	47	6
20	250	50	40	20	50	31	38
21	250	50	42	16	50	45	10
22	250	50	41	18	50	45	10
23	150	50	33	34	50	34	32
24	350	50	40	20	50	47	6
25	250	50	35	30	50	43	14
26	250	50	34	32	50	27	46
27	250	50	45	10	50	31	38
28	250	50	31	38	50	44	12

8) Tabela com os dados de mortalidade do microcrustáceo *Artemia salina* exposto ao efluente sintético bruto e tratados por processo de eletrocoagulação.

Ensaio	Concentração inicial (mg L <sup>-1</sup> ) Corante AM-16	Artemias vivas	Artemias mortas	Taxa de mortalidade (%)	Artemias vivas	Artemias mortas	Redução da taxa de mortalidade (%)
		Efluente Bruto (Eletrocoagulação)			Efluente Tratado (Eletrocoagulação)		
1	300	20	15	25	50	27	46
2	200	20	20	0	50	29	42
3	300	50	32	36	20	6	70
4	200	20	15	25	50	14	72
5	250	50	24	52	20	8	60
6	250	20	7	65	20	9	55
7	250	20	8	60	20	7	65
8	250	50	32	36	50	14	72
9	250	50	17	66	50	17	66
10	150	50	24	52	50	19	62
11	350	50	26	48	50	24	52