



**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAMETRO  
ENGENHARIA CIVIL**

**JOSÉ FABIANO OLIVEIRA DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE COR DE UM EFLUENTE TÊXTIL  
SINTÉTICO ATRAVÉS DO PROCESSO ELETROLÍTICO**

**FORTALEZA  
2022**

JOSÉ FABIANO OLIVEIRA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE COR DE UM EFLUENTE TÊXTIL  
SINTÉTICO ATRAVÉS DO PROCESSO ELETROLÍTICO

Artigo TCC apresentado ao curso de Bacharel em Engenharia Civil do Centro Universitário Fametro - UNIFAMETRO – como requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob a orientação do prof.º Dr. Jefferson Pereira Ribeiro.

FORTALEZA

2022

JOSÉ FABIANO OLIVEIRA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE COR DE UM EFLUENTE TÊXTIL  
SINTÉTICO ATRAVÉS DO PROCESSO ELETROLÍTICO

Artigo TCC apresentado no dia 10 de junho de 2022 como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil a Faculdade Metropolitana da Grande Fortaleza – FAMETRO – tendo sido aprovado pela banca examinadora composta pelos professores abaixo:

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.º Dr. Jefferson Pereira Ribeiro  
Orientador – Centro Universitário Fametro (UNIFAMETRO)

---

Prof. Me. Igor Ramos Alves  
Membro interno – Centro Universitário Fametro (UNIFAMETRO)

---

Prof. Dr. Ari Clecius Alves de Lima  
Membro externo - Ari Clecius Alves de Lima (NUTEC)

*Primeiramente a Deus por estar sempre presente nos momentos mais difíceis  
mostrando o caminho contra o desânimo.  
A minha família, em especial minha esposa e filha que servem de motivação para  
que a dura caminhada de trabalho e estudo seja amenizada com sorrisos e beijos no  
fim de cada dia.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente Deus por me dar sempre forças para continuar nessa caminhada com o desejo de sempre ser melhor que no dia anterior.

Aos meus pais que nunca tiveram oportunidades de terminar os estudos, mas que sempre me mostraram o caminho a seguir para ser uma pessoa digna de ser cidadão.

A minha esposa Jacqueline Santos e filha Alice Santos que sempre estão me esperando com sorrisos e carinho, e é isso que me revigora para a batalha do dia a dia entre estudos e trabalho.

Aos amigos da turma do “blocão da engenharia” e de tantos outros da faculdade pelos momentos de aprendizado que passamos juntos, e em especial a Luana Kelly, Raimundo Nonato, Edvar Aguiar, Jairo Ivo, Maryanne Pinto que estiveram sempre presentes com alegria e sabedoria que contagia a todos nos momentos mais complicados.

Ao meu orientador Jefferson Pereira, que soube de forma competente e com grande dedicação direcionar esse e tantos estudos e pesquisas realizadas nos últimos anos, que sempre se mostrou motivado a continuar mesmo nos momentos mais difíceis, demonstrando o grande profissional e parceiro que é.

*“Aqueles que passam por nós, não vão sós, não nos deixam sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós.”*

*O Pequeno Príncipe*

# AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE COR DE UM EFLUENTE TÊXTIL SINTÉTICO ATRAVÉS DO PROCESSO ELETROLÍTICO

José Fabiano Oliveira dos Santos<sup>1</sup>

## RESUMO

A água é essencial para todas as espécies, no entanto as atividades humanas, seja industrial ou não, geram resíduos muitas vezes com efeitos na água. Processos têxteis são caracterizados pelo elevado consumo de água e geração de efluente com expressiva coloração. Em virtude deste elevado potencial poluidor, uma atuação responsável pelas indústrias é essencial. No presente estudo, foi avaliado a influência da remoção de cor de um efluente têxtil sintético contendo o corante Reactive Blue 19 em diferentes concentrações (0,05, 0,1 e 0,15 g.L<sup>-1</sup>) em três faixas de pHs (5, 7 e 9). Os eletrodos imersos na mistura foram ligados a uma fonte de tensão variável e corrente constante que foi mantida em 3,15 amperes, novas coletas eram feitas a cada 10 minutos por um período de 1 hora. Para a concentração 0,1 g.L<sup>-1</sup>, o pH 5 proporcionou uma maior eficiência de remoção do corante Reactive Blue 19, em torno de 80%, quando foram avaliados os pHs (7 e 9) ficou 65,35% e 62,65% respectivamente. Na concentração de 0,15 g.L<sup>-1</sup>, todos os pHs geraram uma baixa taxa de remoção, ficando em média abaixo de 57%. A remoção de cor foi mais eficiente para o pH 5 em todas as concentrações, a turbidez das amostras aumentou após 10 minutos de tratamento, na menor concentração de corante todas as faixas de pH geraram ao final dos 60 minutos mais de 10 NTU, para a concentração de 0,1 g.L<sup>-1</sup>, apenas o pH 5 finalizou com 18,77 NTU ficando bem distante dos outros pHs que ficaram abaixo de 10 NTU. Através dos resultados obtidos neste trabalho, em escala de bancada, verificou-se que é possível utilizar a técnica de eletrofloculação no tratamento de efluente têxtil devido a boa eficiência da remoção de cor do corante reactive blue 19.

**Palavras-chave:** Efluente Têxtil. Eficiência de Remoção. Reactive Blue 19.

---

<sup>1</sup> Graduando do curso de Engenharia Civil pelo Centro Universitário Fаметro – UNIFAMETRO.

## ABSTRACT

Water is essential for all species, however human activities, whether industrial or not, generate waste often with effects on water. Textile processes are characterized by high water consumption and effluent generation with expressive coloration. Due to this high polluting potential, responsible action by industries is essential. In the present study, the influence of color removal from a synthetic textile effluent containing the Reactive Blue 19 dye at different concentrations (0.05, 0.1 and 0.15 g.L<sup>-1</sup>) in three pH ranges (5, 7 and 9). The electrodes immersed in the mixture were connected to a source of variable voltage and constant current that was maintained at 3.15 amperes, new collections were made every 10 minutes for a period of 1 hour. For the concentration of 0.1 g.L<sup>-1</sup>, the pH 5 provided a greater removal efficiency of the Reactive Blue 19 dye, around 80%, when the pHs (7 and 9) were evaluated, it was 65.35% and 62.65 % respectively. At a concentration of 0.15 g.L<sup>-1</sup>, all pHs generated a low removal rate, on average below 57%. Color removal was more efficient for pH 5 at all concentrations, the turbidity of the samples increases after 10 minutes of treatment, at the lowest dye concentration all pH ranges generate more than 10 NTU at the end of 60 minutes, for the concentration of 0.1 g.L<sup>-1</sup>, only pH 5 ended up with 18.77 NTU, far from the other pHs that were below 10 NTU. Through the results obtained in this work, on a bench scale, it was verified that it is possible to use the electroflocculation technique in the treatment of textile effluent due to the good efficiency of color removal of the reactive blue 19.

**Key words:** Textile Effluent. Removal Efficiency. Reactive Blue 19.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama esquemático de uma célula de eletrocoagulação de dois eletrodos de escala de bancada.....	14
Figura 2 – Eletrolise da água.....	15
Figura 3 – Pesagem do corante Reactive Blue 19 para 0,15 g.L-1 .....	16
Figura 4 – Reator em funcionamento no experimento. ....	17
Figura 5 – Eléttodos inseridos na mistura .....	18
Figura 6 – Coletas de amostras em 60 minutos .....	19
Figura 7 – Amostra de cor inicial e remoção de cor após 60 minutos.....	20

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – % Remoção de Cor para os pH e as concentrações de corante. ....	20
Gráfico 2 – Variação dos pHs para 0,05 g.L <sup>-1</sup> .....	22
Gráfico 3 – Variação dos pHs para 0,1 g.L <sup>-1</sup> .....	22
Gráfico 4 – Variação dos pHs para 0,15 g.L <sup>-1</sup> .....	23
Gráfico 5 – Variação de Turbidez para 0,05 g.L <sup>-1</sup> e pHs. ....	24
Gráfico 6 – Variação de Turbidez para 0,1 g.L <sup>-1</sup> e pHs .....	24
Gráfico 7 – Variação de Turbidez para 0,15 g.L <sup>-1</sup> e pHs. ....	25
Gráfico 8 – Variação de Condutividade para 0,05 g.L <sup>-1</sup> e pHs. ....	26
Gráfico 9 – Variação de Condutividade para 0,1 g.L <sup>-1</sup> e pHs. ....	27
Gráfico 10 – Variação de Condutividade para 0,15 g.L <sup>-1</sup> e pHs. ....	27

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
2.1. A Indústria Têxtil e seus Efluentes .....	12
2.2. Processo Eletrolítico.....	13
3. METODOLOGIA.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
5. CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS.....	29

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a sobrevivência de todas as espécies, em especial aos seres humanos, no entanto todas as atividades humanas, sejam elas industriais ou não, resultam na geração de resíduos muitas vezes com efeitos diretamente na água.

Os processos têxteis são caracterizados pelo elevado consumo de água e pela geração de grandes volumes de efluentes com expressiva coloração devido à presença de corantes intermediários e outras substâncias químicas auxiliares que ao serem lançadas diretamente no corpo hídrico danificam a vida aquática presente no meio. Por este elevado potencial poluidor se faz extremamente necessária uma atuação responsável por parte das indústrias (SOTTORIVA, 2002).

Os efluentes gerados pela indústria têxtil vão variando à medida que a pesquisa e o desenvolvimento produzem novos reagentes, novos processos, novos maquinários e técnicas, tudo isso diretamente aliado à demanda do consumidor (RIBEIRO, 2017).

Quando os efluentes têxteis sem nenhum tratamento são descartados diretamente nas águas superficiais, isso pode vir a modificar a coloração natural do corpo hídrico e assim provocar também formação de espumas na superfície. Essa espuma tem o potencial de reduzir em uma grande proporção a transferência de oxigênio através da superfície do rio limitando a capacidade de autodepuração<sup>2</sup> da corrente, como é o caso da espuma estável que se forma ao contato de tensoativos não iônicos na relação de 0,4 a 1 mg/L, de acordo com Gardner e Borne (1978).

Existem grandes diversidades de procedimentos físicos, químicos e biológicos acessíveis para realizar o tratamento de águas residuais originários das variadas atividades humanas, a finalidade desses variados tratamentos é possibilitar a transferência de fase do material do efluente de interesse e se possível, alterar os agentes com alta toxicidade em compostos inertes trazendo vários benefícios ao corpo hídrico e diretamente aos animais que depende dele (CERQUEIRA *et al.*, 2011).

De acordo com Rajeshwar *et al.* (1994), os benefícios de usar técnicas eletrolíticas incluem além de outros: compatibilidade ambiental, versatilidade, eficiência de energia, segurança, seletividade, acessibilidade à automatização e

---

<sup>2</sup> Capacidade de um rio, lago ou lagoa de restaurar suas características ambientais naturalmente, devido à decomposição de poluentes.

eficácia de custo. Além disso, os processos eletrolíticos permitem reações mais rápidas e controladas, esses sistemas ao utilizarem somente elétrons facilitam o tratamento de água não havendo a necessidade de usar produtos químicos e microrganismos.

Além da preocupação com o reuso da água devemos também procurar implantar cada vez mais a cultura do tratamento e reaproveitamento dos recursos hídricos que estão cada vez mais tornando-se finitos, levando a compreender que o tratamento do efluente têxtil tem enorme relevância, por isso o presente estudo teve como objetivo investigar o efeito do uso da eletrofloculação na eficiência da remoção de cor, variação do pH, condutividade e turbidez em relação a concentração de  $\text{g.L}^{-1}$  do corante Reactive Blue 19, visando o reuso desse efluente têxtil dentro do próprio processo industrial.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. A Indústria Têxtil e seus Efluentes**

A partir da segunda metade do século 19, foram implantadas as primeiras indústrias têxteis no Brasil, esse segmento foi cada vez mais evoluindo e com isso, a indústria têxtil vem cada vez mais se tornando um dos maiores mercados de exportação e importação em vários países, sendo responsável atualmente por grande parte da economia dos países desenvolvidos e principal atividade econômica de alguns países em desenvolvimento (RIBEIRO, 2017).

A indústria têxtil vem ao longo dos anos apresentando grande evolução em tecnologias incorporando cada vez mais novos produtos e tipos mais modernos de corantes (UEDA, 2006). E embora a indústria têxtil seja um grande gerador de empregos e promova crescimento da economia, deve-se sempre tomar os devidos cuidados com os danos que os efluentes descartados de maneira inadequada podem ocasionar no meio ambiente, o que pode em determinados casos provocar alterações irreversíveis no meio onde este poderá ser lançado.

Inicialmente os corantes eram provenientes de fontes vegetais e/ou animais o que lhes davam características naturais e assim o meio ambiente conseguia degradar essas sobras de materiais do tingimento, no entanto como esses corantes promoviam baixa eficiência em relação a fixação nas fibras, percebeu-se a

necessidade de um tipo de corante que fixasse melhor e gerasse uma cor mais intensa e duradoura, e dessa forma veio o desenvolvimento do corante sintético.

Por causa da eficiência e vantagens como estabilidade à luz, distribuição uniforme, alto grau de fixação e resistência ao processo de lavagem, os corantes sintéticos ganharam cada vez mais destaque na indústria têxtil o que facilitou o processo de tingimento, no entanto por serem produzidos de forma sintética essas substâncias não são degradadas pela natureza o que pode criar um grande problema se descartados diretamente sem tratamento nos corpos hídricos (RIBEIRO, 2017).

Os efluentes gerados na indústria têxtil são caracterizados por serem bastante coloridos, por causa da presença de compostos químicos (corantes) que não se fixam na fibra do tecido durante o processo de tingimento, segundo Galindo *et al.* (2001) a perda de corante durante processo de tingimento pode chegar a 15%, daí justifica-se a necessidade de tratamento dos corantes utilizados pelas indústrias têxteis antes do lançamento desse efluente no corpo hídricos que além de mudar a cor do rio a qual foi descartado, carregam também uma quantidade elevada de sólidos suspensos, pH flutuante, uma temperatura maior do que a natural do corpo hídrico, grande demanda química de oxigênio (DQO) e alta concentração de metais pesados como Cromo (Cr) Níquel (Ni) e Cobre (Cu).

## **2.2. Processo Eletrolítico**

Existem vários tipos de tratamento que podem ser aplicados aos efluentes têxteis antes desses serem lançados no corpo hídrico, ou mesmo que possa ser aplicado tratamento para que a própria empresa de tingimento possa reutilizar essa água em um novo processo. No entanto, como os corantes usados na indústria são bastante solúveis na água os processos tradicionais que envolve a filtração, a coagulação e a flotação acabam por tornar-se tratamentos com pequena eficiência na remoção de corantes dissolvidos (RIBEIRO, 2017).

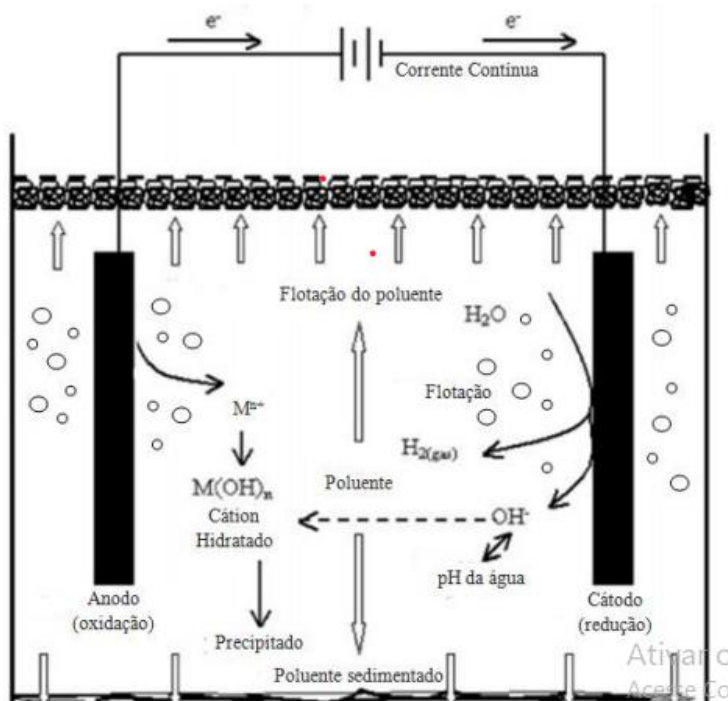
Devido a isso, os processos eletrolíticos vêm cada vez mais se destacando por sua maior eficiência na remoção de poluentes orgânicos dissolvidos ou suspensos, porque a eficiência se dá exatamente pela rápida oxidação, coagulação e flotação mecanismos diretamente envolvidos no processo.

Um processo eletrolítico bastante utilizado é a eletrofloculação, também conhecido como eletrocoagulação, esse é um processo que desestabiliza poluentes emulsificados, ou em suspensão, em meio aquoso (AQUINO NETO *et al.*, 2011).

A eletrofloculação é uma técnica eletroquímica que é muito utilizada gerando resultados satisfatórios e, que cada vez mais vem ganhando importância no tratamento de diversos tipos de efluentes. A técnica consiste na geração de agente coagulante devido à dissolução eletrolítica do ânodo, a eletroflotação gera microbolhas oxigênio e hidrogênio, as quais são responsáveis pela flotação dos coágulos formados (CRESPILHO e REZENDE, 2004).

A partir da aplicação de uma tensão elétrica gerada nos eletrodos que compõem a célula de eletrocoagulação, os íons metálicos que compõem os eletrodos utilizados como ânodos representam uma opção a utilização de sais metálicos ou polímeros que também desestabilizariam as emulsões e suspensões contidas no efluente (HAKIZIMANA *et al.*, 2017).

Figura 1 – Diagrama esquemático de uma célula de eletrocoagulação de dois eletrodos de escala de bancada

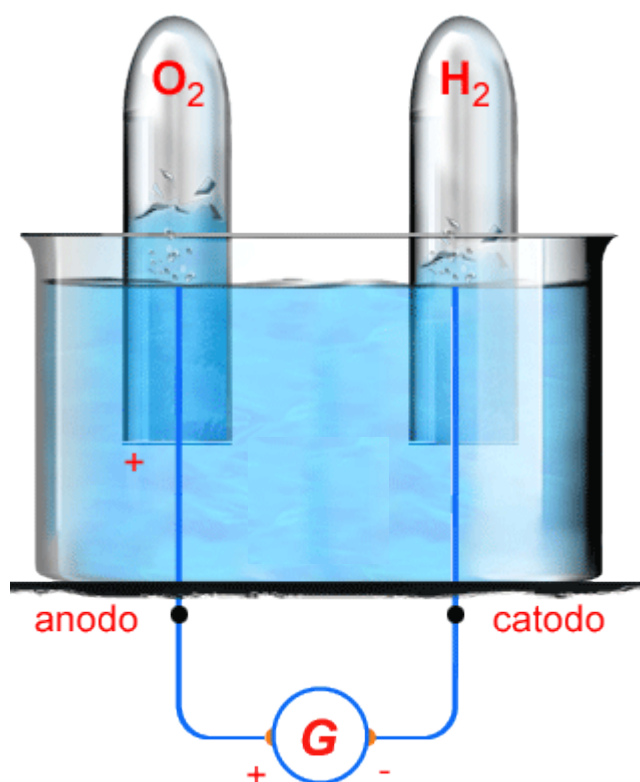


Fonte: Adaptação de Mollah *et al.* (2004).

De maneira geral o processo de eletrofloculação acontece da seguinte forma: coagulação, floculação, flotação e/ou sedimentação. A coagulação acontece

quando são liberados na solução cátions metálicos e estes combinam-se com as partículas carregadas negativamente movidas para o ânodo causando sua desestabilização, no mesmo momento acontece a oxidação e redução da molécula da água, onde no catodo é produzido o gás hidrogênio ( $H_2$ ) e no anodo o gás oxigênio ( $O_2$ ) conforme figura abaixo. (MOLLAH *et al.*, 2004).

Figura 2 – Eletrolise da água



Fonte: Compra no exterior, 2022.

Os gases produzidos promovem a clarificação do efluente (eletroflotação), que gera microbolhas de oxigênio no anodo e hidrogênio no catodo que sobem à superfície colidindo e sendo adsorvidas pelos flocos, levando por arraste as partículas e impurezas em suspensão promovendo dessa forma a clarificação do efluente.

Uma vez na superfície do reator essas impurezas podem ser retiradas da mistura através de raspagem, sucção, etc. (CRESPILHO; REZENDE, 2004). A eficiência da flotação depende do tamanho das bolhas e também da mistura das mesmas com o efluente. Geralmente bolhas com menores tamanhos promovem maiores áreas superficiais de contato, resultando em melhor eficiência no processo de separação.



Na eletrofloculação é usado pares de placas metálicas condutoras ligadas a uma fonte externa de energia, as placas metálicas condutoras são conhecidas como eletrodos de sacrifício, esses eletrodos podem ser produzidos do mesmo ou de diferentes materiais (MOLLAH *et al.*, 2001). Contudo, na grande maioria os materiais aplicados nesse tratamento tanto no anodo quanto no catodo são iguais, segundo Silva (2002) isso se deve principalmente às seguintes razões:

- Eletrodos iguais sofrem desgastes de forma uniforme, o que simplifica as intervenções de substituição dos mesmos;
- Eletrodos iguais, feitos de mesmo material, têm mesmo potencial de eletrodo;
- Eletrodos de diferentes materiais pode tornar o custo mais elevado.

### 3. METODOLOGIA

O experimento foi realizado no Laboratório de Química do Centro Universitário da Fаметro – Unifametro, inicialmente foram preparadas soluções do corante Reactive Blue 19 nas concentrações de  $0,05 \text{ g.L}^{-1}$ ,  $0,1 \text{ g.L}^{-1}$  e  $0,15 \text{ g.L}^{-1}$  pesados em uma balança de precisão para três faixas de pHs sendo eles 5 na faixa mais ácida, 7 na faixa neutra e 9 na faixa alcalina.

Figura 3 – Pesagem do corante Reactive Blue 19 para  $0,15 \text{ g.L}^{-1}$

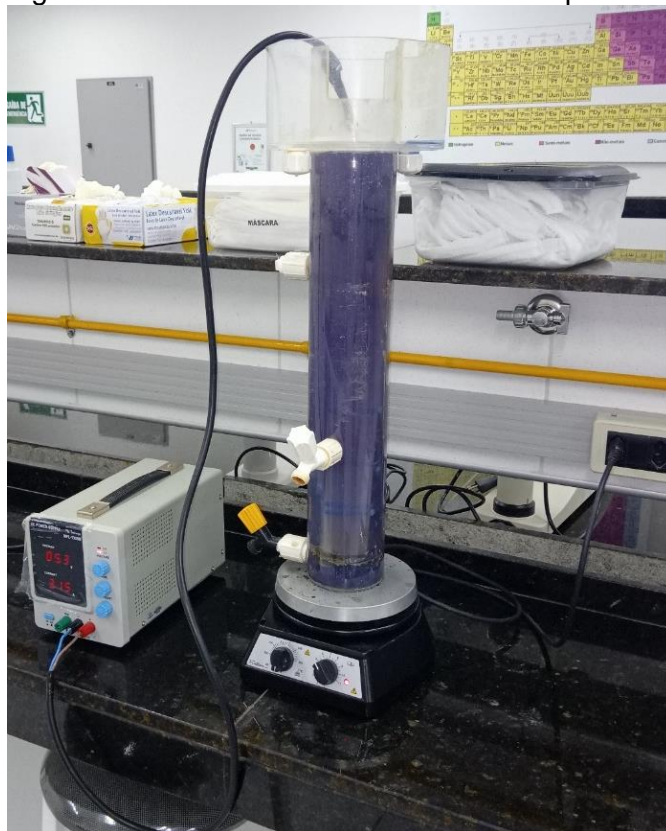


Fonte: Do autor, 2022.

Para esse estudo foi confeccionado um reator em acrílico cilíndrico com dimensões de 60,0 cm de altura e 10,0 cm de diâmetro, resultando num volume total útil de 4,710 cm<sup>3</sup>, este foi construído em acrílico para facilitar a visualização do processo.

De acordo com Maia (2014) o formato cilíndrico do reator evita que sejam criados ângulos muito fechados que dificultaria uma maior interação entre as espécies envolvidas no processo eletrolítico.

Figura 4 – Reator em funcionamento no experimento.



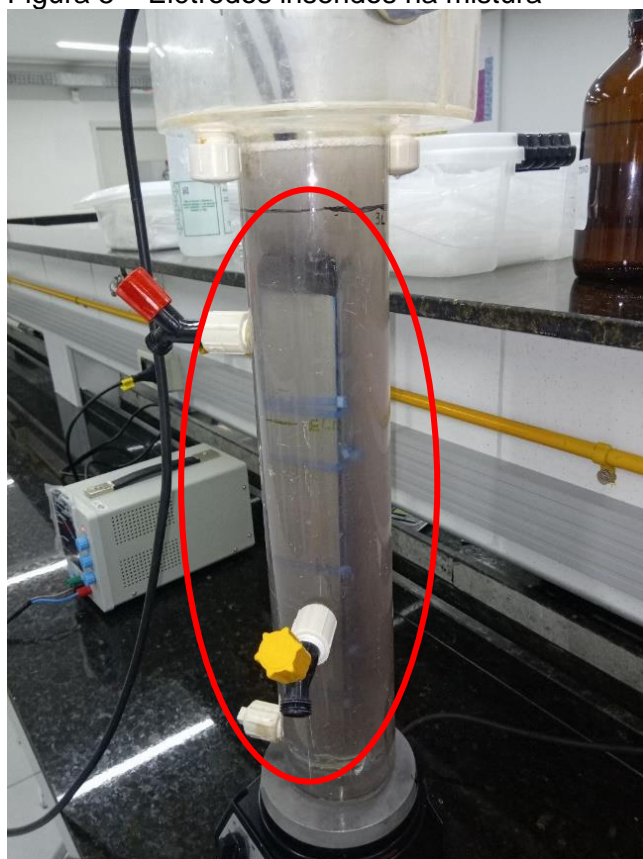
Fonte: Do autor, 2022.

Dentro do reator foi adicionado 3L de solução contendo o corante previamente pesado, o pH inicial da solução foi ajustado através das soluções de ácido clorídrico, HCl P.A. 10% (v/v), e hidróxido de sódio, NaOH P.A. 10% (p/v).

Foram confeccionados ainda conjuntos de 4 eletrodos em aço inox 304 com espaçamentos de 1,0 mm e medindo 5,0 x 40,0 x 0,3 cm, ligados eletricamente por um arranjo bipolar em paralelo à uma fonte de alimentação Minipa DC MPL1303M que foi mantida a uma tensão variável e corrente constante de 3,15A (amperes).

Antes de imersão dos eletrodos foi retirada uma amostra inicial para as análises de pH, Cor, Condutividade e Turbidez através de um analisador de pH (ANALION PM608), Espectrofotômetro (BEL PHOTONICS), Condutivímetro (QUIMIS) e Turbidímetro, HI93703 (HANNA INSTRUMENTOS) respectivamente, e após os eletrodos estarem imersos na mistura e iniciado o processo, novas coletas foram feitas a cada 10 minutos por um período de 1 hora totalizando 7 (sete) amostras por combinação de pH e concentração de corante.

Figura 5 – Eléttodos inseridos na mistura

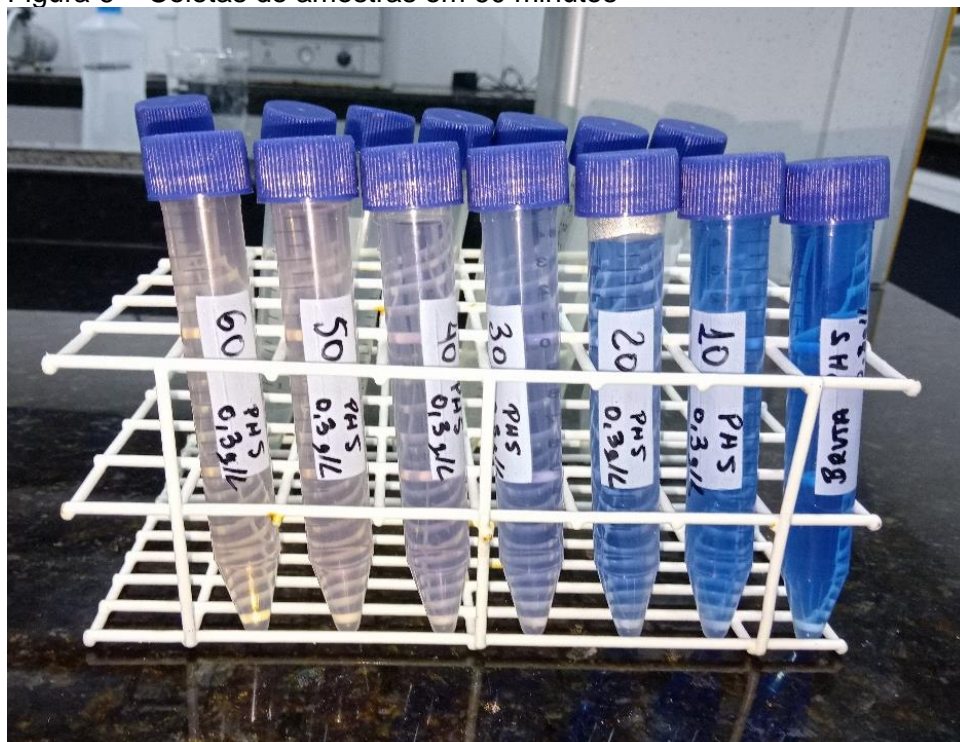


Fonte: Do autor, 2022.

O processo foi realizado com agitação para que deixasse a mistura mais homogênea, assim foi utilizado um agitador magnético de marca Fisatom 752A e uma barra magnética para agitação, que além de deixar a mistura homogênea, essa agitação contribuiu também para a formação de coágulos através do contato do contaminante com o agente coagulante formado no processo.

No presente estudo as medições dos parâmetros estudados foram realizadas logo após a coleta, dessa forma não foi medido nenhum parâmetro após a sedimentação dos coágulos.

Figura 6 – Coletas de amostras em 60 minutos



Fonte: Do autor, 2022.

Para o cálculo da porcentagem (%) da eficiência de remoção da cor foi utilizado a fórmula mostrada abaixo onde  $M_i$  = Medição inicial e  $M_f$  = Medição final.

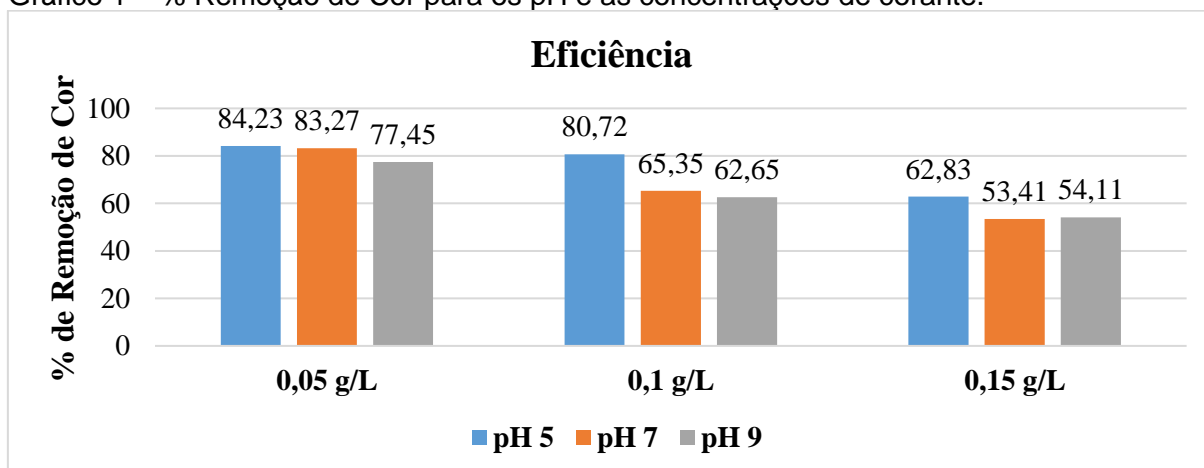
$$ef = \left( \frac{M_i - M_f}{M_i} \right) \times 100$$

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico 1 abaixo mostra a porcentagem (%) de remoção de cor para cada concentração de corante nas três faixas de pH 5, 7 e 9, percebe-se que na menor concentração  $0,05 \text{ g.L}^{-1}$  de corante nas faixas de pH 5 e 7 houve uma maior remoção de cor de 83% em 60 minutos de tratamento, na faixa de pH 9 apesar de apresentar uma boa eficiência ficou um pouco abaixo das outras faixas.



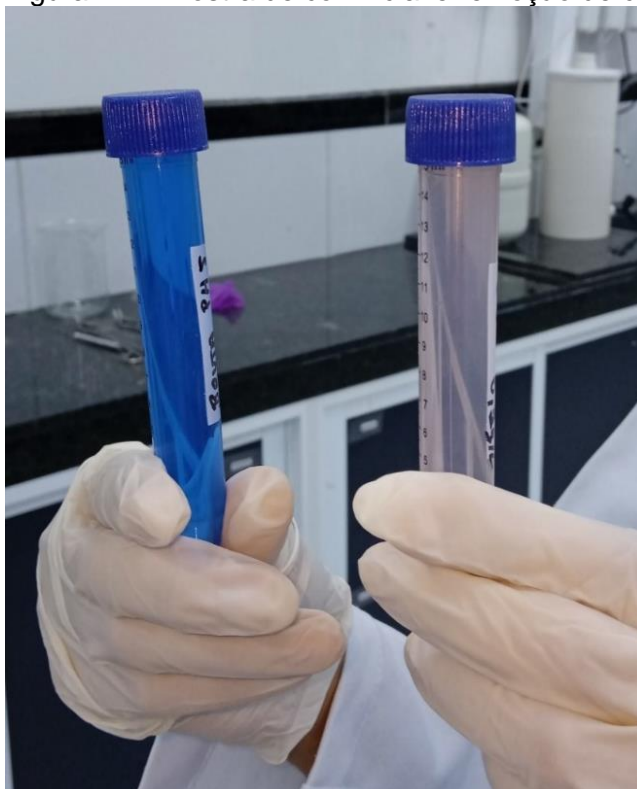
Gráfico 1 – % Remoção de Cor para os pH e as concentrações de corante.



Fonte: Do autor, 2022.

Para a concentração  $0,05 \text{ g.L}^{-1}$ , todos os pH geraram uma boa taxa de remoção de cor chegando a quase 82% na média, para a concentração de  $0,1 \text{ g.L}^{-1}$ , o sistema eletrolítico em pH mais ácido conseguiu uma boa remoção do corante Reactive Blue 19, finalizando na faixa de 80% o que ficou bem evidenciado quando foram analisados os pH neutro e alcalino ficando em 65,35% e 62,65%, respectivamente.

Figura 7 – Amostra de cor inicial e remoção de cor após 60 minutos.



Fonte: Do autor, 2022.

Na concentração de  $0,15 \text{ g.L}^{-1}$ , todos os pHs analisados geraram uma baixa taxa de remoção do corante ficando em média abaixo de 57%.

No presente estudo, percebe-se que quando o pH é mais ácido a remoção do corante é bem mais eficiente, e que mesmo em uma maior concentração de corante onde a remoção não foi tão eficaz como por exemplo em  $0,15 \text{ g.L}^{-1}$ , o pH inicial 5 tornou a remoção mais eficiente do que os outros chegando em 62,83%.

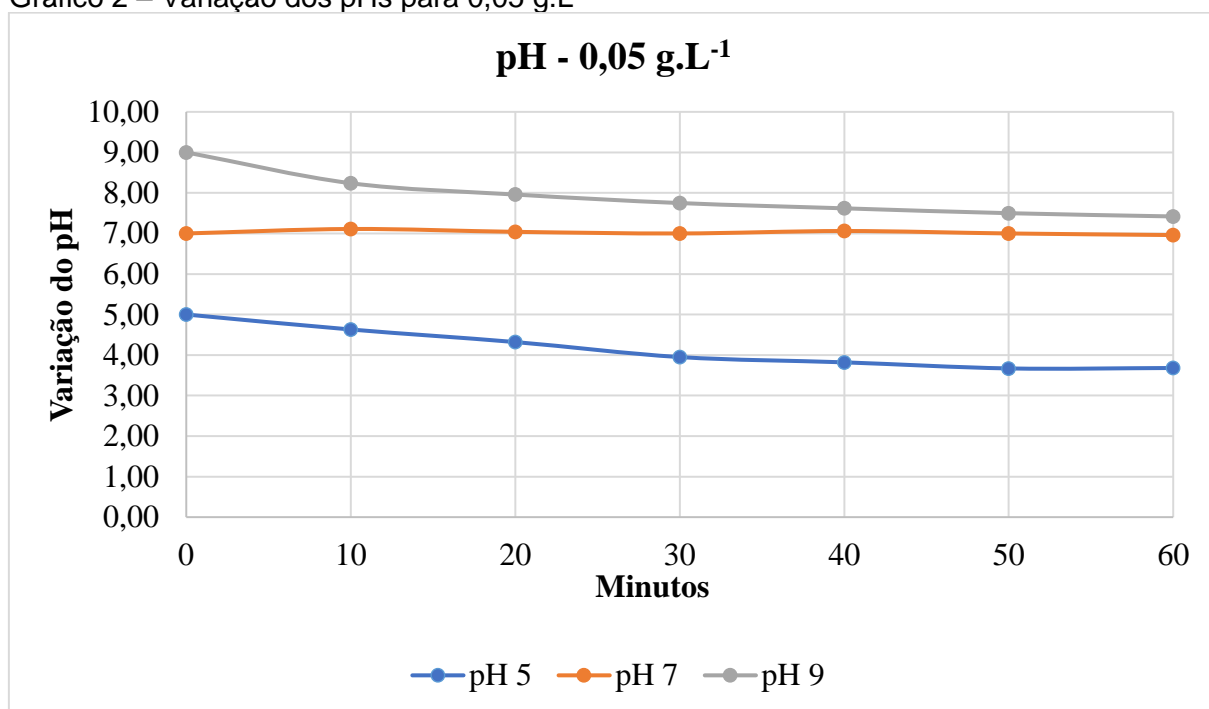
Corroborando com o presente estudo, Ribeiro (2017) observou uma eficiência de remoção de cor para o mesmo corante Reactive Blue 19 de 87% em apenas 30 minutos de testes, no seu estudo o autor associou essa rápida eficiência possivelmente a maior condutividade elétrica que o efluente do seu estudo apresentou e associou as elevadas concentrações de sais na solução.

Para Can *et.al* (2006), o pH inicial da solução exerce importante função no processo de eletrocoagulação, visto que a oxidação dos eletrodos juntamente com a especiação dos hidróxidos é bastante depende da condição do pH.

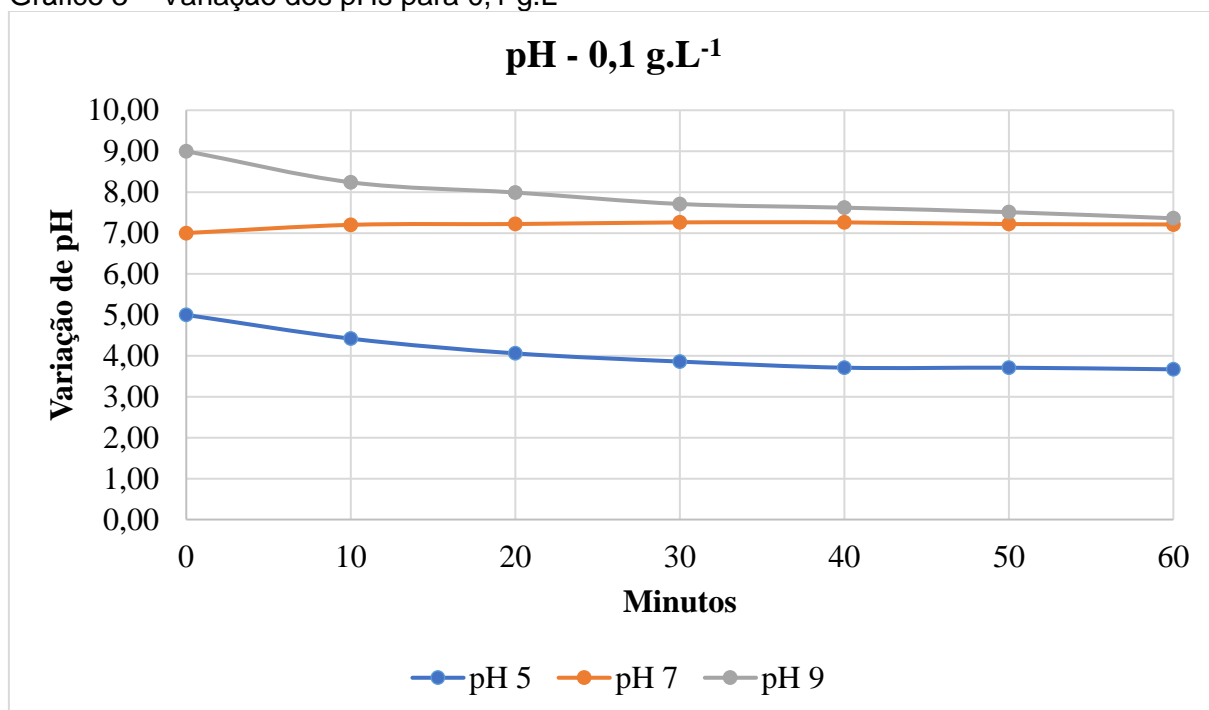
Uma justificativa para uma menor eficiência da remoção de cor na maior concentração de  $\text{g.L}^{-1}$  pode ser observado nos estudos de Nandi *et al.* (2013), o autor compreendeu que a eficiência de remoção de cor é afetada de forma negativa quanto maior for a concentração de corante na amostra, isso ocorre devido a quantidade de coagulantes que são formados durante o processo eletrolítico ser insuficiente para a adsorção de todas as moléculas dos corantes em solução.

Apesar de afirmarem que a eficiência de remoção de cor depende significativamente do pH inicial, Ghanbari e Moradi (2015) dessemelhante ao presente estudo encontraram em condições ácidas uma menor eficiência do processo eletrolítico devido a formação de ferro ( $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ ) que são mais solúveis em meio ácido que em meio neutro ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$  e  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ).

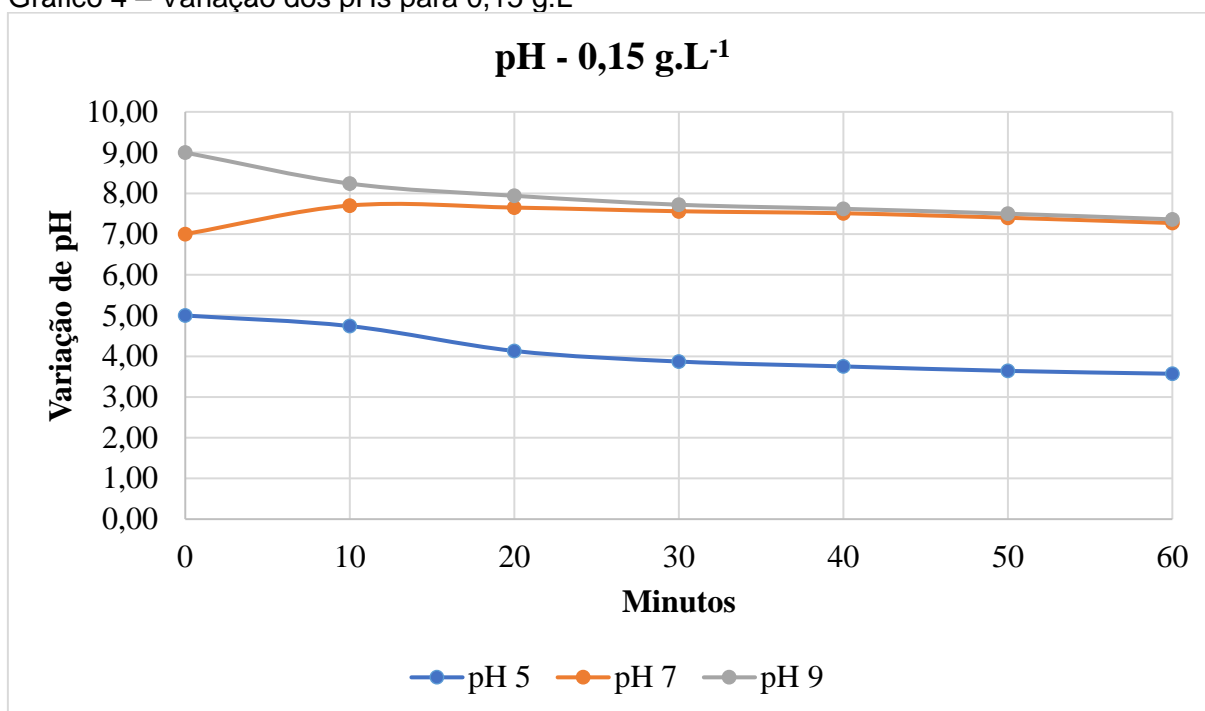
Os gráficos 2, 3 e 4 mostram as variações do pH para  $0,05 \text{ g.L}^{-1}$ ,  $0,1 \text{ g.L}^{-1}$ , e  $0,15 \text{ g.L}^{-1}$ .

Gráfico 2 – Variação dos pHs para 0,05 g.L<sup>-1</sup>

Fonte: Do autor, 2022.

Gráfico 3 – Variação dos pHs para 0,1 g.L<sup>-1</sup>

Fonte: Do autor, 2022.

Gráfico 4 – Variação dos pHs para 0,15 g.L<sup>-1</sup>

Fonte: Do autor, 2022.

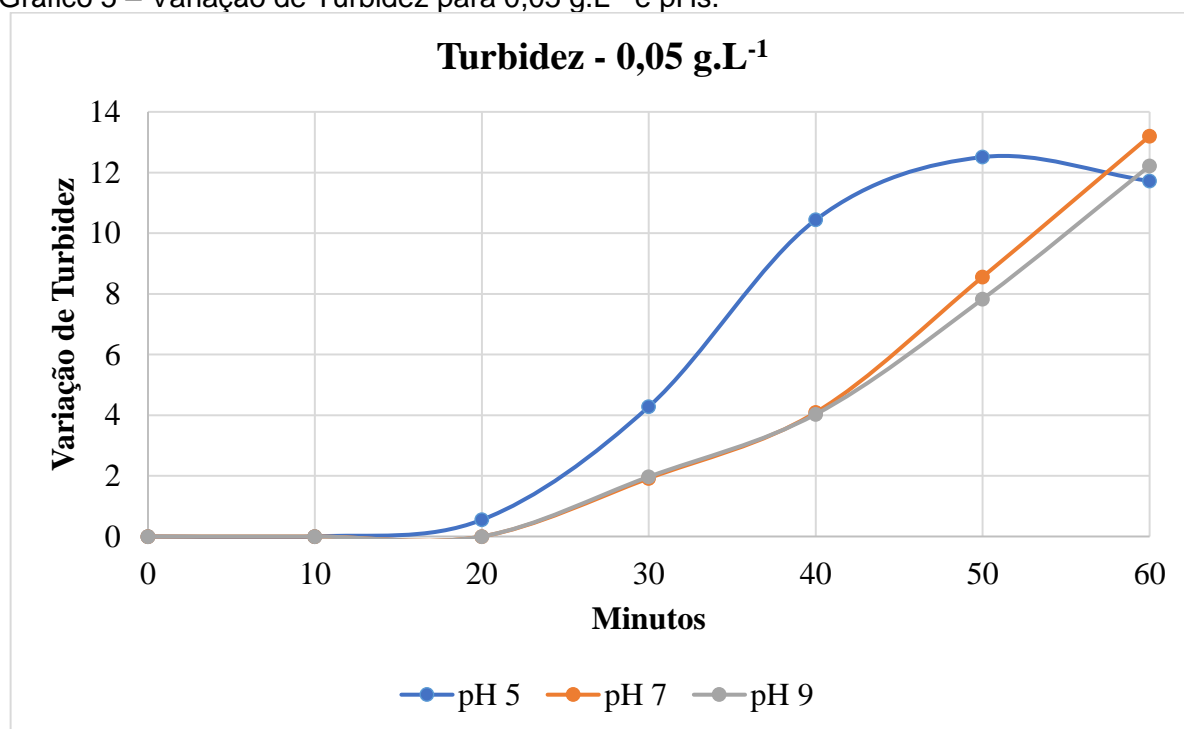
Percebe-se que em todas as concentrações, o pH 9 e 5 diminuiu ao final dos 60 minutos onde o pH alcalino se tornou neutro, mas o pH ácido se tornou ainda mais ácido, e o pH 7 se manteve praticamente dentro da mesma faixa.

O efeito do pH da água ou efluente na eletrofloculação está refletido pela eficiência da corrente, tendo como vantagem a capacidade de neutralizar o pH, bem como a solubilidade de hidróxidos metálicos. A potência consumida é mais alta no pH neutro, do que em condições ácidas ou alcalinas devido a variação da condutividade. Quando a condutividade é alta, o efeito do pH não é significativo (CHEN, 2004).

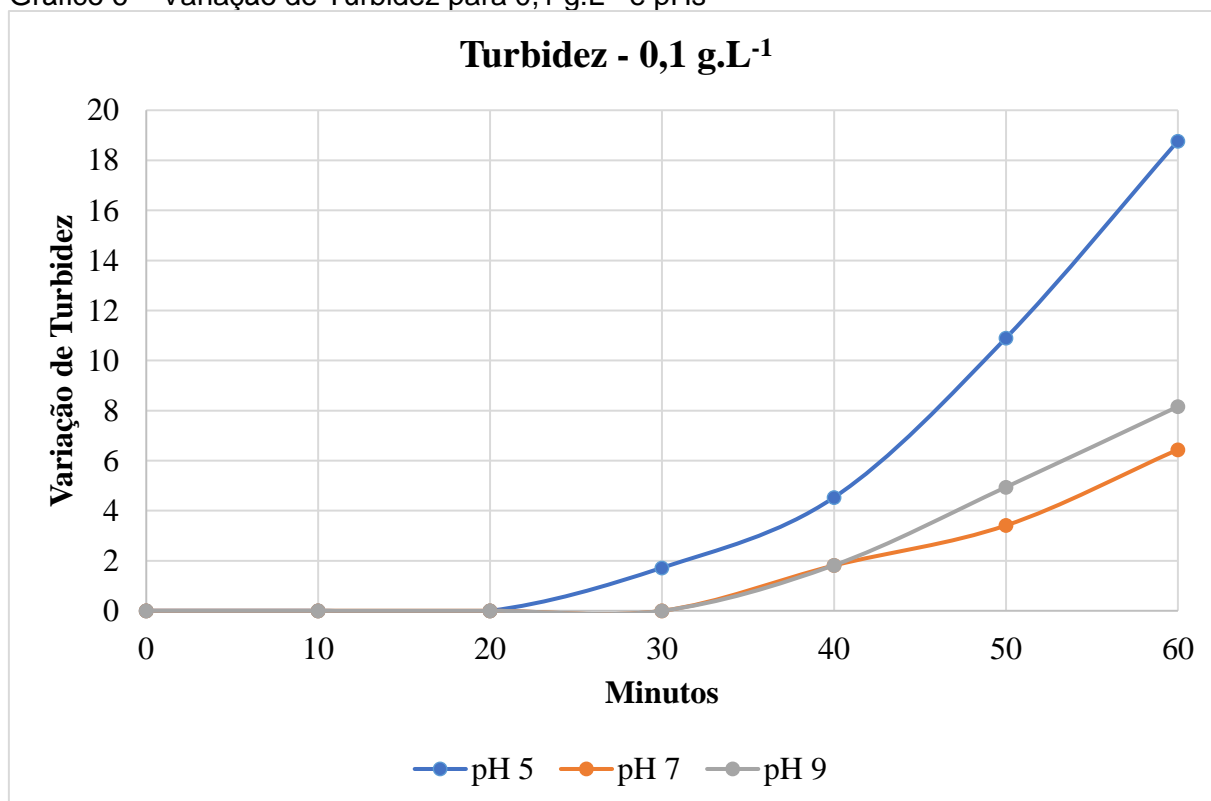
Para Cerqueira (2006) uma das maiores vantagens da eletrofloculação é sua capacidade de neutralizar o pH do efluente, caso este esteja acima ou abaixo de 7, diferentemente do que não aconteceu nesse estudo onde o pH ácido se tornou mais ácido em todas as concentrações do corante.

Os gráficos 5, 6 e 7 mostram as variações de Turbidez para 0,05 g.L<sup>-1</sup>, 0,1 g.L<sup>-1</sup>, e 0,15 g.L<sup>-1</sup>, respectivamente e nas três faixas de pH.

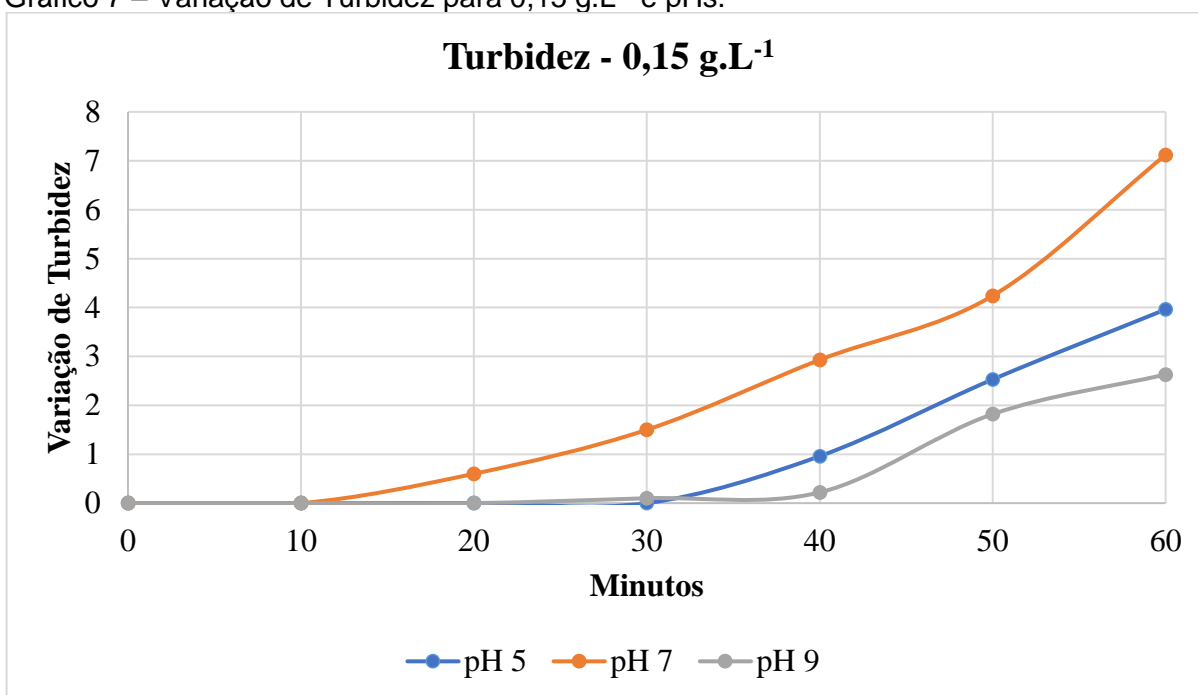


Gráfico 5 – Variação de Turbidez para 0,05 g.L<sup>-1</sup> e pHs.

Fonte: Do autor, 2022.

Gráfico 6 – Variação de Turbidez para 0,1 g.L<sup>-1</sup> e pHs

Fonte: Do autor, 2022.

Gráfico 7 – Variação de Turbidez para 0,15 g.L<sup>-1</sup> e pHs.

Fonte: Do autor, 2022.

Percebe-se que em todos os gráficos a turbidez das amostras só começa a aumentar após 10 minutos de tratamento, na menor concentração de corante todas as faixas de pH geram ao final dos 60 minutos mais de 10 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*). Para a concentração de 0,1 g.L<sup>-1</sup>, apenas o pH 5 finalizou com 18,77 NTU ficando bem distante dos outros pHs que ficaram abaixo de 10 NTU. Para a concentração de 0,15 g.L<sup>-1</sup>, todos os valores finais de turbidez ficaram mais baixo, chegando somente a 3,96 NTU para o pH 5, 7,12 NTU para o 7 e 2,63 NTU para o pH 9 mais alcalino.

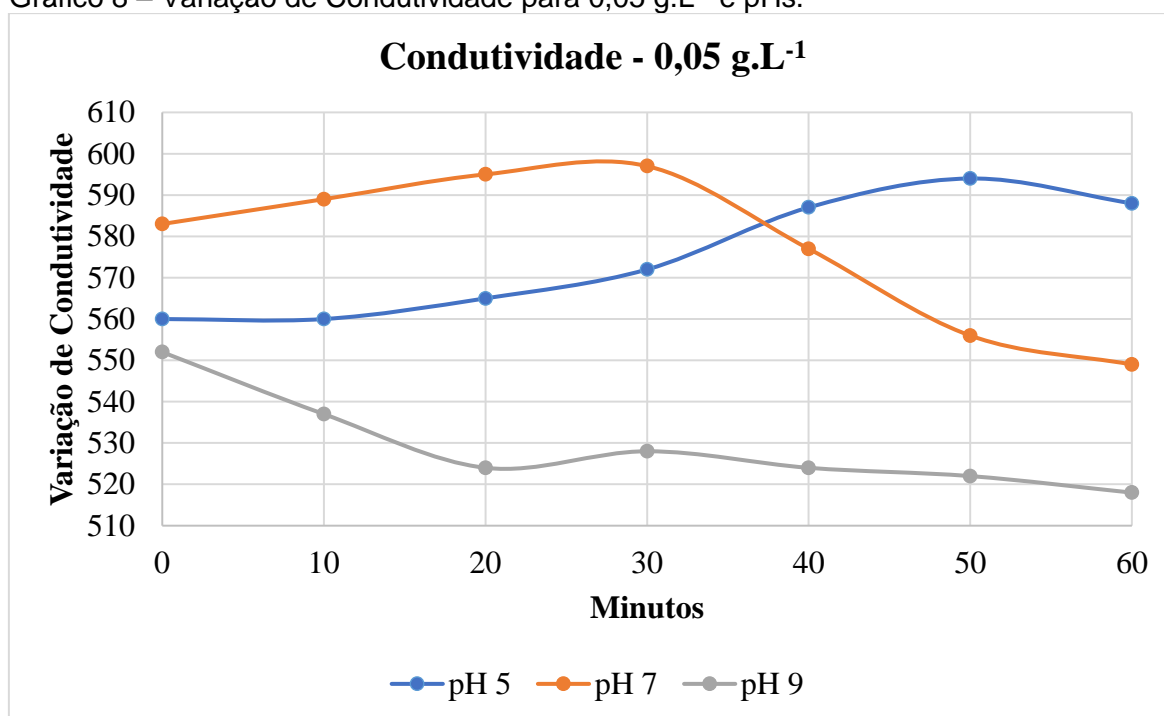
Nesse estudo a turbidez foi medida logo após a coleta da amostra, pois buscava-se avaliar o comportamento da mesma durante o processo eletrolítico, e não da etapa de sedimentação. Percebe-se que o aumento da turbidez acontece devido às moléculas do corante que estavam totalmente dissolvidos inicialmente na amostra começar a se coagular ficando suspensas na amostra. Apesar do presente estudo não avaliar a turbidez após o processo de sedimentação, sabe-se que ao acontecer essa sedimentação a turbidez da água irá diminuir consideravelmente.

A turbidez está relacionada à presença de material sólido em suspensão (silte, argila e sílica), material orgânico e inorgânico finamente divididos (que podem estar associados a um material coloidal), microrganismos e algas. Ribeiro (2017) que

também se preocupou em medir a eficiência do processo antes da sedimentação, corrobora com a presente pesquisa onde mostra que houve um aumento da turbidez.

O processo de dissolução anódica do eletrodo de ferro e a formação da espécie coagulante  $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$ , é responsável pelo processo de adsorção dos sólidos suspensos (turbidez), proporcionando a diminuição dos valores de turbidez (KOBYA *et al.* 2016).

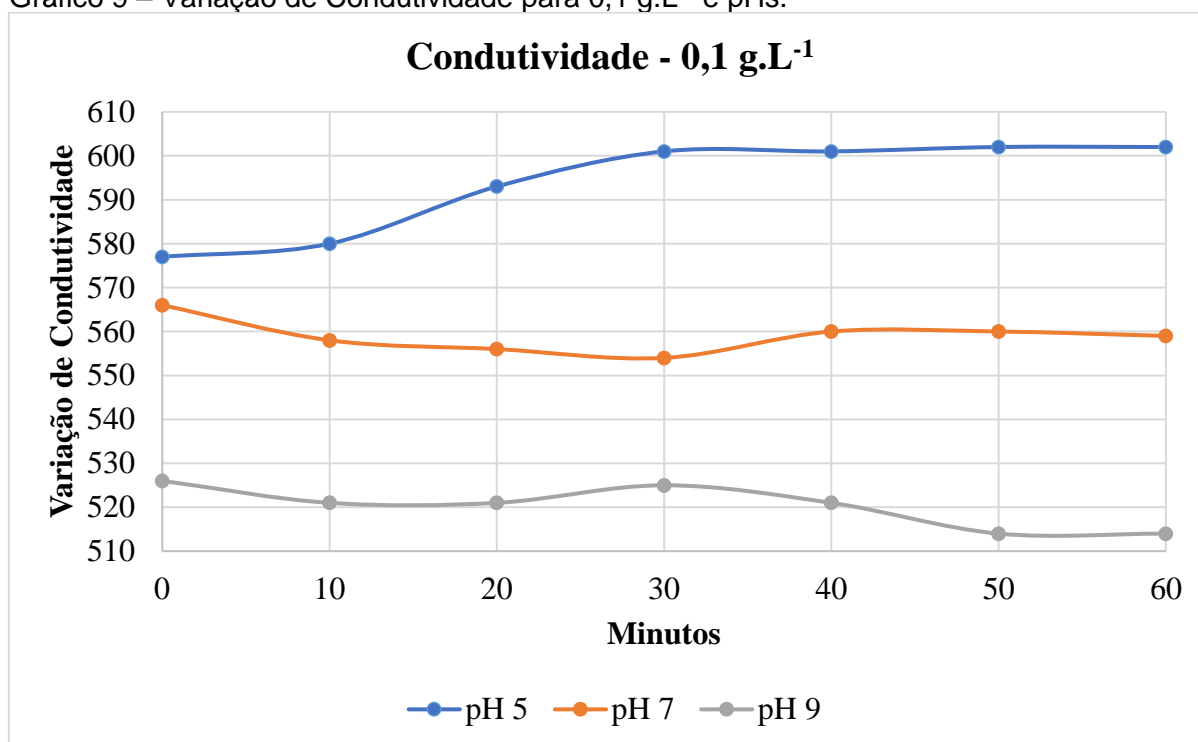
Gráfico 8 – Variação de Condutividade para  $0,05 \text{ g.L}^{-1}$  e pHs.



Fonte: Do autor, 2022.

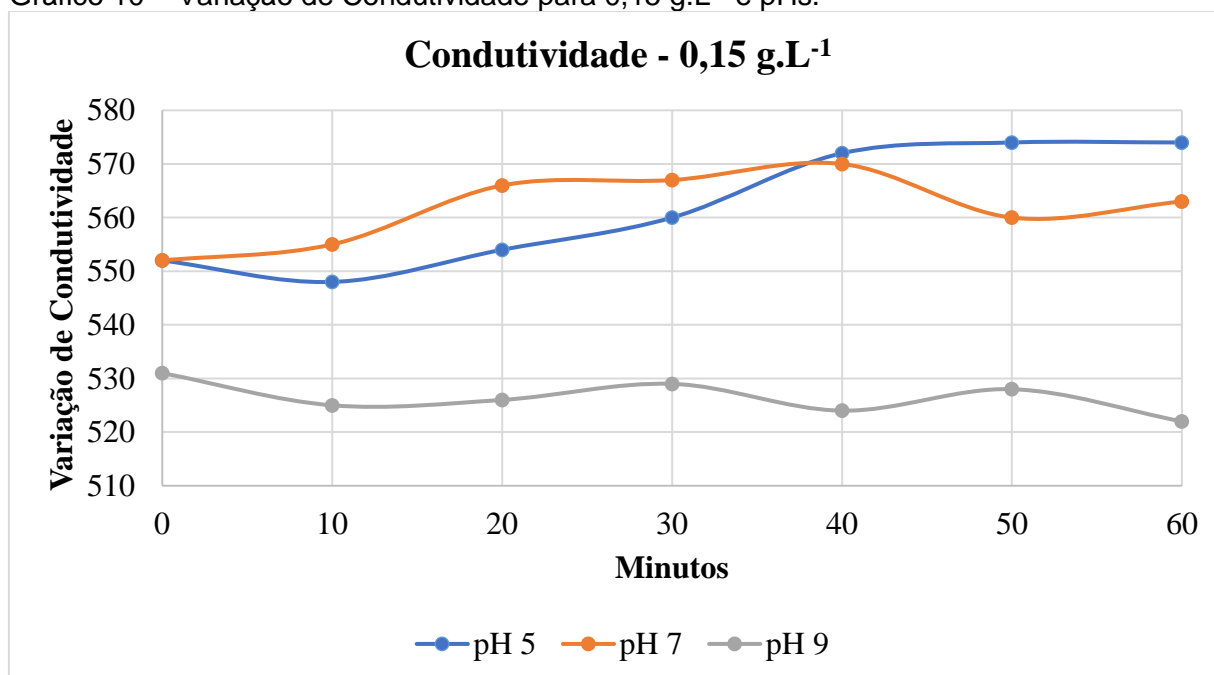
O gráfico 8 mostra que a condutividade no pH 7 aumentou logo após o início do experimento chegando a  $597 \text{ mS/cm}$  e após os 30 minutos começou a diminuir de forma bastante significativa terminando aos 60 minutos com o valor de  $549 \text{ mS/cm}$ , algo parecido aconteceu com a condutividade do pH 5, no entanto, o aumento se deu de forma mais demorada e diminuiu após os 50 minutos terminando com um valor de  $588 \text{ mS/cm}$ , após o pico se dá no valor de  $594 \text{ mS/cm}$ .

A condutividade do pH 9 se comportou de maneira bem diferente no teste de  $0,05 \text{ g.L}^{-1}$ , desde o início do teste a condutividade começou a diminuir partindo de  $552 \text{ mS/cm}$ , chegando a  $518 \text{ mS/cm}$  aos 60 minutos.

Gráfico 9 – Variação de Condutividade para 0,1 g.L<sup>-1</sup> e pHs.

Fonte: Do autor, 2022.

A condutividade dos pHs 7 e 9 diminuíram ao fim do experimento como mostra o gráfico 6 acima, ao contrário disso o pH 5 aumentou bastante partindo de 577 mS/cm e chegando aos 60 minutos com o valor de 602 mS/cm.

Gráfico 10 – Variação de Condutividade para 0,15 g.L<sup>-1</sup> e pHs.

Fonte: Do autor, 2022.

O gráfico 10 mostra que a condutividade do pH 5 deu uma pequena diminuída logo após o início e aos 10 minutos começou a aumentar, a condutividade do pH 7 aumentou desde o início e após os 40 minutos mostrou uma leve diminuição terminando em 563 mS/cm, após chegar a 570 mS/cm no ponto de maior elevação da condutividade.

A condutividade do pH 9 novamente se comportou de maneira diferente no teste de 0,15 g.L<sup>-1</sup>, onde desde o início a condutividade diminuiu apesar de se dá de forma bem insignificante partindo de 531 mS/cm, chegando a 522 mS/cm aos 60 minutos.

A condutividade é a capacidade do efluente de conduzir corrente elétrica, sendo esta, diretamente proporcional a quantidade de íons presentes nele, dessa forma esse parâmetro pode influenciar na eficiência do processo de eletrocoagulação, pois afeta a eficiência da corrente modificando até o consumo total da energia elétrica durante todo o processo (CERQUEIRA, 2006).

A condutividade da solução depende do tipo e da concentração de eletrólitos., existem vários compostos que atuam como eletrólitos, é o caso de: NaCl, BaCl<sub>2</sub>, KCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e KI (SAHU *et al.*, 2014). Normalmente utiliza-se sal de cozinha (NaCl) para o aumento da condutividade no tratamento de águas e efluentes.

Koby *et al.* (2006) estudaram a influência da condutividade na remoção de corante laranja em efluente têxtil. No estudo foram testados vários níveis de condutividade aplicando-se NaCl como eletrólito. Foi revelado que à medida que a condutividade aumentava, a eficiência de tratamento e a voltagem diminuía. Segundo os autores, isso pode ser atribuído às mudanças que ocorrem na força iônica com a variação da condutividade do meio aquoso.

## 5. CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos neste trabalho em escala de bancada, verificou-se que é possível utilizar a técnica de eletrofloculação no tratamento de efluente têxtil devido a boa eficiência da remoção de cor do corante reactive blue 19, onde foi mais eficiente em pH mais ácido em todas as concentrações do corante. No pH 7 e 9 a eficiência diminuiu quando comparado ao pH 5, a remoção de cor diminuiu também quanto maior é a concentração de g.L<sup>-1</sup> e isso acontece devido a quantidade

de coagulantes formados serem insuficientes para a adsorção de todas as moléculas dos corantes em solução.

A turbidez começa a ser detectada a partir dos 10 minutos devido a transformação do corante que estava anteriormente dissolvido deixando-o na forma suspensa e coagulado deixando o efluente mais claro.

Os resultados adquiridos no estudo em escala piloto denotam que o processo de eletrolítico apresenta grande potencial de aplicação na indústria têxtil, no entanto, mais experimentações precisam ser realizadas com o intuito de proporcionar maior confiabilidade a ampliação do sistema desenvolvido neste estudo para uma escala de tratamento industrial.

## REFERÊNCIAS

AQUINO NETO, S; MAGRI, T. C; SILVA, G. M; ANDRADE, A. R. Tratamento de Resíduos de Corante por Eletrofloculação: Um Experimento para Cursos de Graduação em Química. **Química Nova**, v.34, n.8, p.1468-1471, 2011.

CAN, O.T.; KOBAYASHI, M.; DEMIRBAS, E.; BAYRAMOGLU, M. Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation. **Chemosphere**, v. 62, n.2, p.181-187, 2006.

CERQUEIRA, A. A. **Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis**. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2006. (Dissertação de mestrado).

CERQUEIRA, A. A.; RUSSO, C.; MARQUES, M. R. C. Avaliação do processo eletrolítico em corrente alternada no tratamento de água de produção. **Química Nova** vol.34 no.1 São Paulo, 2011.

CHEN, G. **Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment. Separation and Purification Technology**, v. 38, p.11-41, 2004.

COMPRA NO EXTERIOR. Carro movido a hidrogênio. Disponível em: <<https://compranoexterior.com.br/carro-movido-a-hidrogenio/>>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

CRESPILHO, F. N., REZENDE, M.O.O. Eletroflotação: Princípios e Aplicações. ed. 1. São Carlos: **Editora Rima**, 2004.

GALINDO, C.; JACQUES P.; KALT A. Photooxidação of the phenylazonaphtol A020 on TiO<sub>2</sub>: kinetic and mechanistic investigations. **Chemosphere**, v.45, p.997-1005, 2001.

GARDINER, K. D.; BORNE, B. J. **Textile waste waters; treatment and environmental effects**. Stevenage, Water Research Centre. 1978.

GHANBARI F.; MORADI M. A comparative study of electrocoagulation, electrochemical Fenton, electro-Fenton and peroxi-coagulation for decolorization of real textile wastewater: Electrical energy consumption and biodegradability improvement. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, n. 1, p. 499-506, 2015.

HAKIZIMANA, J. N.; GOURICH, B.; CHAFI, M.; STIRI, Y.; VIAL, C.; DROGUI, P.; NAJA, J. Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. **Desalination**, v.404, p.1–21, 2017.

KOBYA, M.; GENGEÇ, E.; DEMIRBAS, E. Operating parameters and costs assessments of a real dyehouse wastewater effluent treated by a continuous electrocoagulation process. **Chemical Engineering and Processing**, v.101, p.87–100, 2016.

KOBYA, M.; HIZ, H.; SENTURK, E.; AYDINER, C.; DEMIRBAS, E. Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation. **Desalination**, v.190, p. 201–211, 2006.

MAIA, L. G. C. **Estudo do processo de eletrocoagulação/floculação aplicado ao polimento de efluente doméstico**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração: Saneamento Ambiental) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

MOLLAH, M. Y. A.; MORKOVSKY, P.; GOMES, J. A. G.; KESMEZ, M.; PARGA, J. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. **Journal of Hazardous Materials**, B114 (1-3), p.199-210, 2004.

MOLLAH, M.Y.A.; SCHENNACH, R.; PARGA, J.R.; COCKE, D.L. Electrocoagulation (EC) - Science and applications. **Journal of Hazardous Materials**, v.84 n.1 p.29-41, 2001.

MOUSSA, D. T.; EL-NAAS, M. H.; NASSER, M.; AL-MARRI, M. J. A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. **Journal of Environmental Management**, v. 186, p. 24-41, 2017.

NANDI, B. K.; PATEL, S. Effects of operational parameters on the removal of brilliant green dye from aqueous solutions by electrocoagulation. **Arabian Journal of Chemistry**, (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.11.032>

RAJESHWAR, K., IBANEZ, J. G., SWAIN, G. M. Electrochemistry and the environment. **Journal of Applied Electrochemistry**. 24, 1077-1091, 1994.

RIBEIRO, J. P. **Tratamento de efluentes têxteis por processo eletrolítico com corrente direta pulsada em escala laboratorial e piloto visando o reuso no processo produtivo**. 2017. 170f. Tese (Saneamento Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SAHU, O.; MAZUMDAR, B.; CHAUDHARI, P. K. Treatment of wastewater by electrocoagulation: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 2397-2413, 2014.

SILVA, A. L. C., **Processo eletrolítico: Uma alternativa para o tratamento de águas residuárias**. 2002, 60f. Monografia de Especialização em Química Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SOTTORIVA, P. R. S. **Degradação de corantes reativos utilizando-se processos oxidativos avançados**. 2002. 114f. Dissertação (Ciências exatas) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Paraná, 2002.

UEDA, A.C. **Aplicação de micelas reversas na remoção de corante têxteis catiônicos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSC, Florianópolis, 2006.

WIENDL, W. G., **Processos eletrolíticos no tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro, **Editora ABES**, 1ª Ed., p. 368, 1998.