



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

NATÁLIA KÁREN GABOARDI

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO ELETRODO DE SUCATA DE ALUMÍNIO NO
PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO DO AZUL DE METILENO EM
EFLUENTE SINTÉTICO**

ERECHIM

2022

NATÁLIA KÁREN GABOARDI

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO ELETRODO DE SUCATA DE ALUMÍNIO NO
PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO DO AZUL DE METILENO EM
EFLUENTE SINTÉTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Erechim, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Gean Delise Leal Pasquali

Coorientador(a): Prof^a. Dr^a. Adriana Dervanoski

ERECHIM

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Gaboardi, Natália Káren

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO ELETRODO DE SUCATA DE ALUMÍNIO NO PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO DO AZUL DE METILENO EM EFLUENTE SINTÉTICO / Natália Káren Gaboardi.

-- 2022.

58 f.:il.

Orientadora: Doutora em Engenharia Química Gean Delise Leal Pasquali

Co-orientadora: Doutora em Engenharia Química Adriana Dervanoski

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Erechim,RS, 2022.

1. processo eletroquímico. 2. sucata de alumínio. 3. corante sintético. 4. oxidação avançada. 5. efluente. I. Pasquali, Gean Delise Leal , 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).

NATÁLIA KÁREN GABOARDI

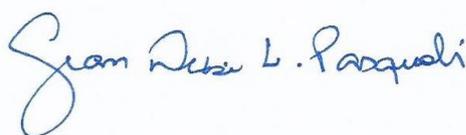
**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO ELETRODO DE SUCATA DE ALUMÍNIO NO
PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO DO AZUL DE METILENO EM
EFLUENTE SINTÉTICO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção de grau
de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária
da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

15/08/2022

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dra. Gean Delise Leal Pasquali
Orientadora

Prof^a. Dra. Clarissa Dalla Rosa
UFFS – Erechim



Prof^a. Dra. Helen Treichel
UFFS - Erechim

Dedico este trabalho a mim, que nos momentos mais difíceis não desisti. Dedico também aos meus pais, família e amigos que nunca deixaram de me apoiar e acreditar em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e força para continuar nos momentos mais difíceis. Ao Santo Expedito que sempre esteve comigo nas causas justas e urgentes.

Agradeço a minha família, em especial meu namorado Jaison, meus pais Josiane e Odimar, meus avós e meus sogros por todo apoio que me deram, sendo meu ombro amigo, meu alicerce, minha base, por estarem sempre ao meu lado, e principalmente por me entregar o melhor e maior presente do mundo, o amor!

Um agradecimento especial a minha irmã Antonella, que eu nunca pensei em amar tanto alguém como amo ela e por me mostrar que as coisas mais bonitas, são as mais simples e todas aquelas que fazem nosso coração transbordar ou se “teletransportar”.

Aos meus amigos e colegas, agradeço imensamente por todo apoio, por compartilharem momentos bons e ruins ao meu lado, cada um com seu jeito diferente, a qual faz com que meu coração se preencha de alegria. Em especial agradeço ao meu colega e amigo Leonardo que desde o começo esteve presente e permaneceu na minha vida, me apoiando, aconselhando e sendo a minha luz sempre que precisei.

Um agradecimento especial a minha orientadora Gean que quando entrei em contato com ela para realizar esse trabalho, eu disse que tinha medo, medo de não conseguir, medo de não dar tempo, mas ela pegou na minha mão e como uma mãe me mostrou que eu ia conseguir e fez dar certo.

À minha coorientadora Adriana por todos os ensinamentos que me passou, pelo apoio neste trabalho e por não medir esforços sempre que precisei.

Ao meu amigo Gabriel por toda ajuda nesse trabalho, pelos ensinamentos e palavras que me fizeram acreditar que seria possível.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram com esse trabalho e estiveram presente nessa etapa e também na minha vida, eu me sinto uma pessoa repleta de amor e com muita gratidão por ter amigos que posso chamar de família.

Muito obrigado a todos vocês!

RESUMO

Neste trabalho foi realizado a aplicação do processo de eletrocoagulação/peroxidação para o tratamento de efluente sintético contendo o corante azul de metileno, aplicando como eletrodos sucata de alumínio. Foram investigadas 4 variáveis: concentração do corante, concentração do cloreto de sódio, concentração do peróxido de hidrogênio e tempo de reação. Para a realização dos ensaios utilizou-se um reator eletroquímico contendo 0,8 L de efluente sintético, onde o mesmo ficou em constante agitação, com o emprego de eletrodos de alumínio conectados a uma fonte elétrica a 30,6 V, com densidade de corrente variando de 1,30 à 4,90 A. Para a investigação da influência das variáveis foi utilizado o Planejamento Fatorial Box -Behnken. O software Statistica versão 12 foi usado para tratamento de dados obtidos no planejamento. As variáveis de resposta avaliadas foram a remoção da concentração de corante perante a influência da concentração de cloreto de sódio e peróxido de hidrogênio, também foi verificada a remoção de carbono orgânico total (COT), a qual observou-se que sofre influência direta e positiva pela concentração de cloreto de sódio e do corante aplicado no tratamento, com melhor remoção nos pontos extremos do planejamento, e também foi avaliada a geração de lodo que sofre influência direta e positiva com o tempo de reação, e com o peróxido de hidrogênio de forma direta e negativa. Os resultados obtidos mostraram que quanto maior a concentração do corante e a adição de cloreto de sódio, maior é a remoção de COT e a geração de lodo. Outro comportamento observado foi o efeito da concentração de peróxido de hidrogênio e do tempo de reação aplicado no tratamento. Quanto maior o tempo de reação, maior a concentração hidróxidos gerados, que reagem com o corante precipitando na forma de lodo. Através dos resultados obtidos neste estudo foi possível verificar que o tratamento eletroquímico/oxidativo apresenta potencial para a aplicação no tratamento de efluentes contendo corantes, sendo uma tecnologia promissora no tratamento de águas residuárias com esta característica, visto que, obteve-se estas remoções na ordem de 83% para a concentração do corante, 73% para remoção de carbono orgânico total.

Palavras-chave: Processo eletroquímico; corante sintético; efluente; oxidação avançada.

ABSTRACT

In this work, the electrocoagulation/peroxidation process was applied to the treatment of synthetic wastewater containing the dye methylene blue, using aluminum scrap as electrodes. Four variables were investigated: dye concentration, sodium chloride concentration, hydrogen peroxide concentration, and reaction time. An electrochemical reactor containing 0.8 L of synthetic effluent was used for the tests, where it was kept in constant agitation, with the use of aluminum electrodes connected to a 30.6 V electric source, with current density varying from 1.30 to 4.90 A. To investigate the influence of the variables, Box-Behnken Factorial Planning was used. The software Statistica version 12 was used for data treatment obtained in the planning. The response variables evaluated were the removal of dye concentration under the influence of sodium chloride and hydrogen peroxide concentration, the removal of total organic carbon (TOC) was also verified, which was observed to suffer direct and positive influence by the concentration of sodium chloride and dye applied in the treatment, with better removal at extreme points of planning, and was also evaluated the generation of sludge that suffers direct and positive influence with the reaction time, and with hydrogen peroxide in a direct and negative way. The results obtained showed that the higher the concentration of the dye and the addition of sodium chloride, the greater is the removal of TOC and the generation of sludge. Another behavior observed was the effect of the concentration of hydrogen peroxide and the reaction time applied to the treatment. The longer the reaction time, the higher the concentration of hydroxides generated, which react with the dye precipitating in the form of sludge. Through the results obtained in this study it was possible to verify that the electrochemical/oxidative treatment presents a potential for application in the treatment of effluents containing dyes, being a promising technology in the treatment of wastewater with this characteristic, since it was obtained these removals in the order of 83% for the concentration of dye, 73% for removal of total organic carbon.

Keywords: Electrochemical process; synthetic dye; effluent; advanced oxidation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura química do corante azul de metileno.	2
Figura 2 - Placas de alumínio utilizadas como eletrodos no processo de eletrocoagulação/ peroxidação do corante azul de metileno no efluente sintético.	7
Figura 3 – Esquema do reator eletroquímico usado no processo de eletrocoagulação/peroxidação do corante azul de metileno em efluente sintético.	8
Figura 4 – Percentual de remoção da concentração do corante azul de metileno em efluente sintético.	12
Figura 5 - Diagrama de Pareto para remoção da concentração do corante azul de metileno presente no efluente sintético.	15
Figura 6 - Superfície de resposta para a interação das variáveis “peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂) versus o cloreto de sódio (NaCl)” para remoção da concentração corante em porcentagem.	16
Figura 7 - Remoção do COT das amostras do efluente sintético contendo azul de metileno tratado por eletrocoagulação/ peroxidação.	17
Figura 8 - Diagrama de Pareto para remoção de carbono orgânico total aplicado a eletrocoagulação/ peroxidação do efluente sintético contendo corante azul de metileno.	20
Figura 9 - Superfície de resposta para a integração das variáveis “cloreto de sódio (NaCl) versus a concentração de corante” para a remoção de carbono orgânico total através do processo de eletrocoagulação/ peroxidação.	21
Figura 10 - Geração de lodo no processo de eletrocoagulação/ peroxidação do corante azul de metileno em efluente sintético usando eletrodos de sucata de alumínio.	22
Figura 11 - Diagrama de Pareto para a geração de lodo no processo de eletrocoagulação/ peroxidação do corante azul de metileno em efluente sintético usando eletrodos de sucata de alumínio.	25
Figura 12 – Superfície de resposta para a integração das variáveis “peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂) versus o tempo” para a geração de lodo no processo de eletrocoagulação/ peroxidação do corante azul de metileno em efluente sintético usando eletrodos de sucata de alumínio.	26

Figura 13 - Curva Padrão Espectrofotometrica UV-vis.....	34
Figura 14 - Curva padrão DQO	35
Figura 15 - Remoção DQO (%)	37
Figura 16 - Monitoramento da Redução das Placas	39
Figura 17 - Monitoramento do pH antes e após o processo.....	41
Figura 18 - Monitoramento da Corrente antes e após a eletrocoagulação.....	43
Figura 19 - Monitoramento de H ₂ O ₂ antes e após o tratamento.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades do corante azul de metileno.....	2
Tabela 2 - Variáveis avaliadas no processo de eletrocoagulação/peroxidação do azul de metileno em efluente sintético, com valores reais e codificações.	10
Tabela 3 - Matrix do planejamento experimental realizada conforme metodologia Fatorial Box-Behnken.	10
Tabela 4 - ANOVA para remoção da cor do corante azul de metileno presente em efluente sintético.	13
Tabela 5 - ANOVA para a remoção de carbono orgânico total do azul de metileno presente em efluente sintético.	18
Tabela 6 - ANOVA para geração de lodo.	23
Tabela 7 - Concentração e Absorbância sem Peróxido de Hidrogênio.....	34
Tabela 8 - Padrões da Curva DQO.....	35
Tabela 9 - Análise DQO.....	35
Tabela 10 - Monitoramento do Desgaste das Placas de Alumínio	37
Tabela 11 - Monitoramento do pH	39
Tabela 12 - Monitoramento da Corrente	41
Tabela 13 - Monitoramento da Voltagem.....	43
Tabela 14 - Monitoramento do Peróxido de Hidrogênio.....	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	6
2.1	OBJETIVO GERAL	6
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3	MATERIAIS E MÉTODOS	7
3.1	ELETRODOS DE ALUMÍNIO	7
3.2	EFLUENTE SINTÉTICO	7
3.3	REATOR ELETROQUÍMICO	8
3.4	METODOLOGIA ANALÍTICA	8
3.5	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	9
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	12
4.1	REMOÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO CORANTE	12
4.1.1	Análise Estatística	13
4.2	REMOÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL - COT	17
4.2.1	Análise Estatística	18
4.3	GERAÇÃO DE LODO	22
4.3.1	Análise Estatística	23
5	CONCLUSÃO	27
6	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	28
	REFERÊNCIAS	29
	APÊNDICE I	34

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos os problemas ambientais têm se agravado continuamente, sendo que este efeito pode estar relacionado fortemente com o crescimento populacional e industrial (MENDONÇA, 2005). Dentre as diversas indústrias que causam impactos ao meio ambiente encontram-se às indústrias têxteis, estas vem crescendo no mesmo sentido, sendo uma atividade de grande importância na economia brasileira (MAMAN, 2019).

Para a área ambiental essas indústrias são classificadas como causadoras de grandes impactos, já que as mesmas geram grandes quantidades de efluentes com alto potencial poluidor. O Brasil é o segundo maior fabricante mundial de jeans e o quinto maior produtor de produtos têxteis (ABIT, 2019), ao qual estima-se que grande parte da poluição têxtil vem das etapas de tingimento (PAZDZIOR et al., 2019).

O descarte de efluentes de diversas indústrias tem representado um grande problema ambiental de poluição hídrica, tanto a nível nacional quanto mundial. Os efluentes têxteis em específico, chamam a atenção devido a possibilidade de liberação de corantes naturais e ou sintéticos no meio ambiente, caso estes sejam descartados de forma indevida (MAMAN, 2019).

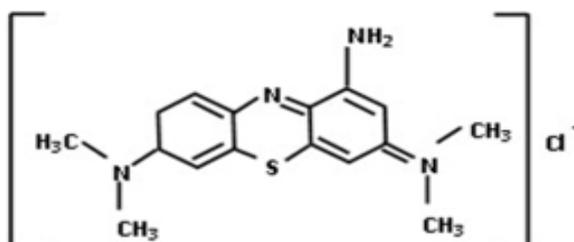
Esses corantes nos corpos d'água interferem no equilíbrio do ecossistema aquático, pois reduzem a emissão de luz, causando problemas relativos à fotossíntese o que pode afetar diretamente a fauna e flora deste meio (LALNUNHLIMI et al., 2016; ALMEIDA et al. 2019).

A composição de um efluente têxtil varia conforme as operações empregadas e o tipo de tecido utilizado. Entre todos os efluentes, um dos mais complexos que podem ser descartados são os que contém corantes. Estima-se que de 10 a 50% dos corantes são perdidos diretamente no efluente, sendo altamente tóxicos, mutagênicos e extremamente recalcitrantes (PEREIRA et al., 2012; PEREIRA et al., 2020).

Todos os efluentes não tratados que contém corantes tendem a ser muito coloridos e possuem altas quantidades de contaminantes. O corante azul de metileno é muito utilizado no tingimento de roupas (MAMAN, 2019) e a exposição a este corante

pode causar diversos problemas para a saúde humana. A Figura 1 apresenta a estrutura química do corante azul de metileno.

Figura 1 - Estrutura química do corante azul de metileno.



Fonte: Mohamed S et al., 2013.

Dependendo das alterações feitas no processo produtivo, os corantes apresentam muitas características negativas, uma delas sendo possível ver a olho nu que é a cor intensa, porém muitas outras características necessitam de equipamentos especiais para analisar, como pH (CERQUEIRA et al., 2009), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Carbono Orgânico Total (COT) (LIMA et al., 2015).

Geralmente esses efluentes possuem também grande quantidade de nitrogênio, fenóis, ferro e outros metais. Todos estes compostos citados influenciam diretamente no ecossistema aquático e microbiano, além de que as altas concentrações de DQO e DBO podem vir a desregular o oxigênio presente no meio (CHAKRABORTY, 2014; SIRIRERKRATANA et al., 2019), e assim dificultar o processo de autodepuração deste sistema aquático. A Tabela 1 apresenta as características do corante azul de metileno que será o contaminante utilizado neste estudo.

Tabela 1 - Propriedades do corante azul de metileno.

Propriedades	Valor
Índice de Cores (CI)	52015
Nome comercial	Azul de Metileno
Aspecto	Pó
Comprimento de onda máximo (λ_{max}) (nm)	665

Fórmula química	$C_{16}H_{18}N_3OS \cdot 3H_2O$
Massa molar	373,9 ($g\ mol^{-1}$)

Fonte: Dinâmica Química Contemporânea Ltda, 2020.

Os corantes são utilizados na etapa de tingimento dos tecidos, sendo um dos focos das tecnologias voltadas ao tratamento de efluentes deste tipo de indústria, já que nesta etapa é consumido de 100 até 180 litros de água por quilo, ao qual pode variar do tipo de tecido (MORAES, 2013). Por esses motivos vem crescendo de forma positiva as pesquisas e a utilização de meios para o tratamento destes efluentes.

Entre as diversas tecnologias encontra-se a eletrocoagulação que se tornou um método atraente na remoção desses contaminantes, visto a possibilidade de remoção e mineralização tendo uma eficiência aumentada quando combinado com agentes oxidantes primários como o H_2O_2 (MOHAMED et al., 2013).

A eletrocoagulação é um processo no qual ocorre a formação de flocos de hidróxidos metálicos dentro dessas águas residuais. Estes flocos se formam pela eletro dissolução do metal, esse processo compreende a geração *in situ* de coagulantes com a dissolução do ânodo de sacrifício. O ânodo é comumente feito de alumínio ou ferro (CHEN, 2004). Os íons metálicos reagem com o cátodo gerando íons OH^- . Essa reação produz hidróxidos insolúveis que absorvem os poluentes e os eliminam da solução por complexação ou por atração eletrostática, seguida de coagulação (DALVAND et al., 2011).

Sendo muito estudada para vários tratamentos, a eletrocoagulação possui uma diversidade em relação a sua aplicação, ao qual oferece alta eficiência utilizando equipamentos de fácil operação, simples e compactos (BENAZZI, 2013), sendo aplicada principalmente no ramo industrial que vai desde produção de azeite (UN et al., 2006), para agroindústria que são voltadas a matérias primas provenientes da agricultura, aquicultura, silvicultura e pecuária (DROGUI et al., 2008), além das indústrias no ramo vestuário como têxtil e couro (BHASKAR, 2008; MURUGANANTHAN et al., 2004).

A eletrocoagulação possui uma eficiência elevada e se baseia nos princípios de processos eletroquímicos, onde o efluente a ser tratado passa por eletrodos, que são placas posicionadas paralelas entre si e alimentadas por uma corrente elétrica

contínua. Várias reações acontecem ao nível dos eletrodos, reduzindo os poluentes por oxidação, coagulação, floculação e sedimentação ou flotação. Os eletrodos de sacrifício geram íons metálicos, através do potencial elétrico aplicado, os quais hidrolisam e formam um agente coagulante (CRESPILHO et al., 2004; URTIAGA et al., 2009; KISMIR et al., 2011; MOUSSA, 2016; RUSDIANASARI et al., 2017).

Este tratamento de efluente têxtil, tem se mostrado um método de baixo custo, ao qual é possível dessa forma reduzir os danos ambientais causados pelos corantes. Porém o grande problema é que quase todos esses processos produzem lodo, que devem ser analisados e tratados para sua possível aplicação ou afins, onde somente o rejeito depois de esgotadas todas possibilidades de recuperação ou utilização sejam destinados a aterros sanitários (FERRAZ, 2019).

Há diversos motivos pelo uso do método de eletrocoagulação que possui muitas vantagens significativas, que vão desde equipamentos simples e de fácil operação e automação, menor tempo de retenção, altas velocidades de sedimentação, desidratação mais fácil, menor quantidade de lodo devido ao menor teor de água (MOLLAH et al., 2001).

Existem diversos outros métodos que são muito estudados para tratar efluentes que vão desde adsorção ao qual utilizam como adsorvente resíduos agrícolas, resíduos indústrias, cascas de alimentos e carvão ativado, sendo este o material mais utilizado (SHARMA et al., 2011), e no geral comparando com outras técnicas a adsorção é superior em termos de custos, simplicidade, funcionamento entre outras (CHOY et al., 2000).

Outra técnica muito utilizada é a biodegradação, onde utiliza-se micro-organismos para converter uma molécula complexa em uma molécula simples (BURATINI, 2008), porém como os corantes têxteis são produzidos para resistir a diversos agentes oxidantes, além da exposição a luz, água e sabões (CERQUEIRA, 2006), o que torna a biodegradação menos receptiva (GILI, 2015).

Os corantes sintéticos que estão presentes nos efluentes de origem têxtil não podem ser exterminados com tratamentos convencionais (MEHRJOUEI et al., 2015), por esse motivo vem crescendo de forma positiva a utilização de processos eletroquímicos, para remediar esses problemas (BORBA, et al., 2010).

A eletrocoagulação permite a desestabilização do efluente pela sua oxidação eletrolítica e coagulação (MOLLAH et al., 2004), que juntamente com a adição de radicais hidroxila, tende a reagir com o poluente, gerando íons orgânicos e gás

carbônico (ESTRADA et al., 2012), ou seja, ocorre uma reação de redução e oxidação mediante a redução dos eletrodos metálicos que podem ser de alumínio ou ferro, formando hidróxidos metálicos que ao precipitarem podem agregar ou remover os poluentes presentes nesse efluente (MOLLAH et al., 2001; ZOSKI, 2007; BOUHEZILA et al., 2011; RUSDIANASARI et al., 2017).

Atualmente estes métodos eletroquímicos ganharam força na área de tratamento de efluentes desenvolvidos para remediação de águas residuais, visto que são métodos considerados simples, ecológicos e econômicos, pois se utiliza do processo de coagulação como base para a remoção dos contaminantes (LIMA, 2004; BAHÉ, 2014).

Devido ao alto custo de outras tecnologias e com necessidade de utilizar métodos eficientes e baratos (ELAZZAUI et al., 2017), a eletrocoagulação se mostra eficiente para remover vários tipos de poluentes, ao qual pode ser utilizado como eletrodos placas de alumínio, que ao se precipitar formam hidróxidos de alumínio (SHEN et al., 2003; MOLLAH et al., 2004).

O alumínio é o segundo elemento metálico mais numeroso do planeta Terra, sendo muito utilizado para aplicações de engenharia a partir do final do século XIX (UNGUREANU et al., 2007), é um metal resistente a corrosão, leve, condutor e não ferroso, ao qual com o aumento da utilização do mesmo, tem sido desenvolvidos melhorias nas propriedades mecânicas e novas ligas de alumínio com composições mais específicas (TOTTEN et al., 2003).

O principal problema do alumínio além da sucata é que ele tende a ser muito reativo com outros elementos e essa reação ocorre de forma natural (METSON, 2011), dessa forma para melhorar essa situação está sendo utilizada a sucata do alumínio e a reciclagem do mesmo em vários processos, ao qual visa diminuir custos, diminuir a quantidade dele presente em aterros e também prologar a utilização dele de recurso não renovável para esgotá-los (CAPUZZI et al., 2018).

Sob este contexto o presente trabalho tem como intuito avaliar o potencial do eletrodo de sucata de alumínio na remoção do corante azul de metileno através do processo de eletrocoagulação/peroxidação de efluente contendo o corante sintético azul de metileno.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial da aplicação de sucata de alumínio como eletrodo no processo de eletrocoagulação do corante azul de metileno em efluente sintético.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a concentração do corante azul de metileno, concentração do eletrólito cloreto de sódio, do peróxido de hidrogênio e tempo de reação no desempenho do processo de eletrocoagulação.
- Determinar a remoção da concentração de corante, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Carbono Orgânico Total (COT) no efluente sintético contendo azul de metileno.
- Examinar o desgaste dos eletrodos de alumínio durante o tratamento desse efluente e a quantidade de lodo produzido durante o processo.
- Monitorar a influência de densidade de corrente elétrica.
- Investigar a influência do uso de um agente oxidante primário peróxido de hidrogênio (H_2O_2) de forma conjunta no processo de eletrocoagulação para o tratamento do efluente sintético.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ELETRODOS DE ALUMÍNIO

A coleta do eletrodo de alumínio foi realizada na empresa Furgotche Furgões, situada no município de Getúlio Vargas no estado do Rio Grande do Sul. As dimensões estudadas foram de 6 cm x 3 cm x 3 mm. Após o corte as mesmas foram pesadas e armazenadas em pares, para serem aplicadas como eletrodos no processo de remoção de azul de metileno do efluente sintético. A Figura 2 apresenta as placas de alumínio utilizadas como eletrodos no processo de eletrocoagulação de azul de metileno do efluente sintético.

Figura 2 - Placas de alumínio utilizadas como eletrodos no processo de eletrocoagulação/ peroxidação do corante azul de metileno no efluente sintético.



Fonte: Autoria Própria

3.2 EFLUENTE SINTÉTICO

O efluente sintético de azul de metileno foi preparado em diferentes concentrações conforme a literatura (50 mg L⁻¹ a 150 mg L⁻¹) (SOMASIRI et al., 2010), sendo preparado utilizando água destilada e o corante azul de metileno reagente PA.

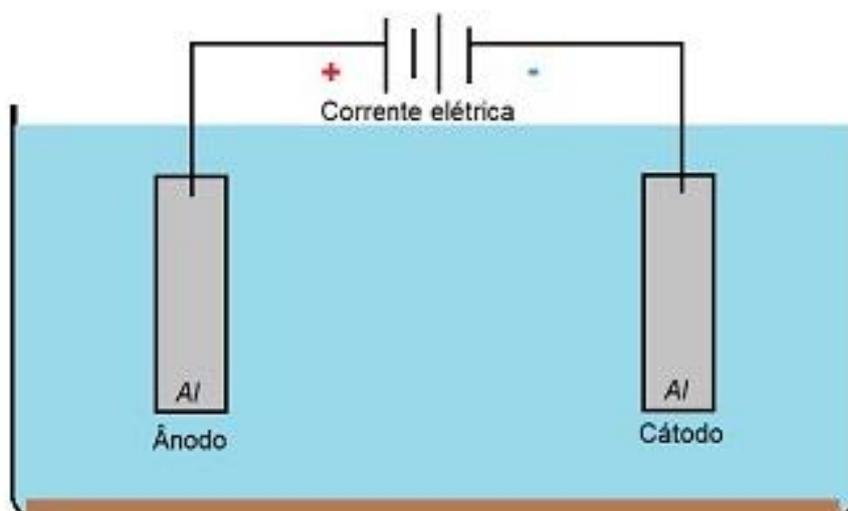
Com os limites de concentrações do corante foi realizado uma varredura nono espectrofotômetro para reconhecimento do pico de absorção do corante sendo o comprimento de onda escolhido de 665 nm, onde se obteve a melhor absorção para as análises de concentração.

3.3 REATOR ELETROQUÍMICO

O reator eletroquímico (Figura 3) utilizado na eletrocoagulação possuía volume total de 1 L, onde foi adicionado 0,8L do efluente sintético de azul de metileno sob agitação de 150 rpm. Os fios utilizados eram de bitola 6 mm, onde em cada fio, uma de suas pontas foram soldadas garras jacaré para prender as placas do eletrodo de alumínio (ânodo e cátodo), sendo que as placas foram fixadas a uma distância de 3 cm uma da outra (MAMAN, 2019), nas outras extremidades do fio foram adicionados cabos de engates, para conectar à fonte de energia a 30,6 V.

A densidade elétrica aplicada aos tratamentos foi apenas monitorada, a qual variou de 1,30 à 4,90 A, conforme mostrado no Apêndice I Figura 18. O tempo de reação foi de 10 a 30 minutos (MAMAN, 2019), coletando amostras do efluente antes e após o tratamento para monitorar a remoção de concentração de corante.

Figura 3 – Esquema do reator eletroquímico usado no processo de eletrocoagulação/peroxidação do corante azul de metileno em efluente sintético.



Fonte: Autoria Própria

3.4 METODOLOGIA ANALÍTICA

A cada ensaio foram analisadas amostras iniciais e finais, para as variáveis: concentração do corante, pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Carbono Orgânico Total (COT), corrente e voltagem. Além desses parâmetros também foram analisadas a produção de lodo e o desgaste dos eletrodos, ambos utilizando o Método Gravimétrico, seguindo a metodologia do Standard Methods (APHA, 2012).

Após a avaliação do sistema de forma isolada apenas com a eletrocoagulação do efluente sintético utilizando os eletrodos de alumínio, foi testado o uso de um agente oxidante primário o Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2), a fim de aumentar o potencial de oxidação do contaminante, devida a ação dos radicais hidroxil ($*OH$) possivelmente formados a partir da sua decomposição e assim melhorar a sua remoção. Sendo a análise de H_2O_2 feita através de método colorimétrico utilizando Kit móvel adquirido da Merck para análise (0,5-25mg/L e 1-100mg/L) o qual se baseia em análise colorimétrica, sendo a correção da interferência do peróxido de hidrogênio nos testes de DQO realizada (KANG et al., 1999).

Desta forma, foi feita a investigação das concentrações do H_2O_2 na faixa de 100 mg L⁻¹ a 300 mg L⁻¹(JANG et al., 2017) em conjunto com a eletrocoagulação. Todos os ensaios foram realizados em temperatura ambiente entre 20 e 25 °C.

Utilizando o pHmetro digital foi analisado o pH do efluente sintético sem ajuste, antes e após o período de tratamento eletroquímico ($5,7 \pm 0,05 - 8,7 \pm 0,05$), onde o mesmo se enquadra nos valores permitidos pela legislação para o lançamento de efluentes após o tratamento, pela Resolução CONAMA n°430, Art. 16 de 13 de maio de 2011, o mesmo deve estar entre 5 - 9, como mostrado no Apêndice I, Figura 17.

Para avaliar a remoção de Carbono Orgânico Total (COT) foi utilizando um Analisador de Carbono, marca Shimadzu (modelo TOC-L). Para quantificar a Demanda Química de Oxigênio foi utilizado o método 5520Ba do Standard Methods (APHA, 2012), dados obtidos encontram-se no Apêndice.

3.5 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Neste trabalho foi utilizado o Planejamento Fatorial Box -Behnken, no qual teve o objetivo de avaliar a influência de 4 variáveis no tratamento do efluente sintético contendo azul de metileno pelo processo de eletrocoagulação e ou eletrocoagulação /peroxidação, resultando num total de 27 experimentos. As variáveis estudadas foram: o tempo de reação, as concentrações de corante, peróxido de hidrogênio e cloreto de sódio, conforme apresentado na Tabela 2 (valores reais e codificados).

Os resultados obtidos nos experimentos para a remoção da concentração do corante, carbono orgânico total e geração de lodo foram tratados utilizando o software Statistica versão 12, ao qual foi empregado todas as variáveis analisadas, para que o mesmo apresentasse através da análise de variância, efeitos estimados e superfícies de resposta, os termos significativos para cada variável.

Tabela 2 - Variáveis avaliadas no processo de eletrocoagulação/peroxidação do azul de metileno em efluente sintético, com valores reais e codificações.

Variáveis de influência conforme codificação			
Codificado	-1	0	1
Corante (mg L⁻¹)	50	100	150
Peróxido de Hidrogênio (mg L⁻¹)	100	200	300
Tempo (minutos)	10	20	30
NaCl (g L⁻¹)	3	4	5

Fonte: Autoria Própria

A Tabela 3 apresenta a matriz do planejamento experimental do tipo Box-Behnken, sendo mesmo composto por 27 ensaios, contendo 3 pontos centrais.

Tabela 3 - Matrix do planejamento experimental realizada conforme metodologia Fatorial Box-Behnken.

EXPERIMENTOS	CORANTE (mg L⁻¹)	H₂O₂ (mg L⁻¹)	TEMPO (minutos)	NaCl (g L⁻¹)
1	50	100	20	4
2	150	100	20	4
3	50	300	20	4
4	150	300	20	4
5	100	200	10	3
6	100	200	30	3
7	100	200	10	5
8	100	200	30	5
9	50	200	20	3
10	150	200	20	3

11	50	200	20	5
12	150	200	20	5
13	100	100	10	4
14	100	300	10	4
15	100	100	30	4
16	100	300	30	4
17	50	200	10	4
18	150	200	10	4
19	50	200	30	4
20	150	200	30	4
21	100	100	20	3
22	100	300	20	3
23	100	100	20	5
24	100	300	20	5
25	100	200	20	4
26	100	200	20	4
27	100	200	20	4

Fonte: Autoria Própria

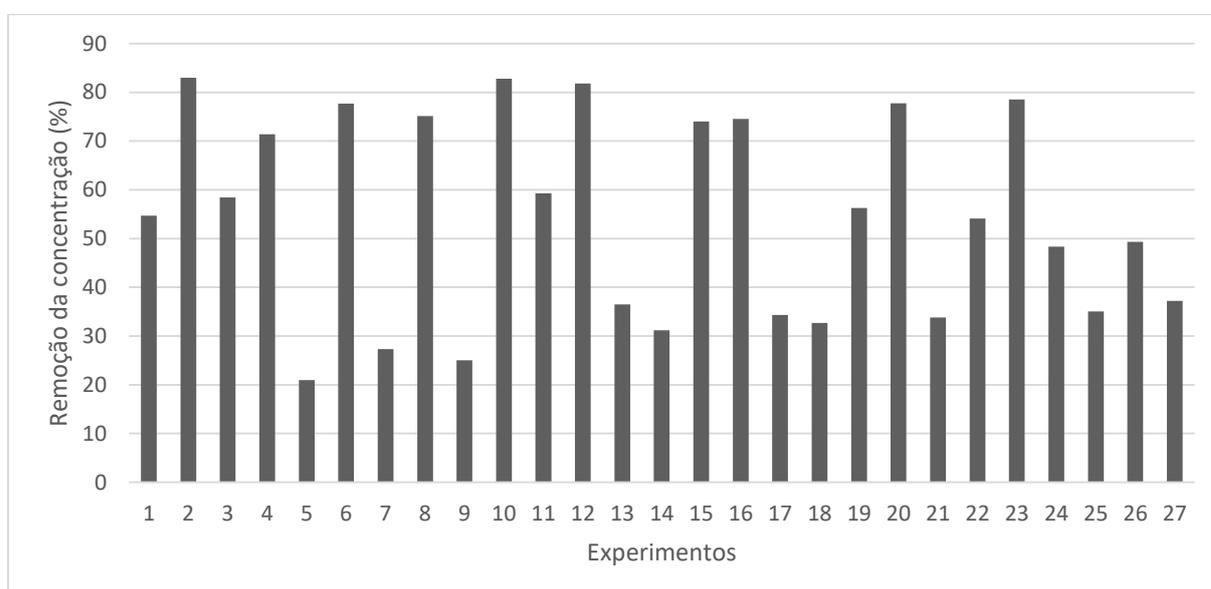
Todos os experimentos foram realizados no Laboratório de Efluentes e Resíduos - LAER da Universidade Federal da Fronteira Sul. As análises das variáveis de resposta foram realizadas em triplicatas, e os 3 pontos centrais obtidos no planejamento foram utilizados para calcular o erro experimental.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 REMOÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO CORANTE

Os resultados de remoção da concentração do corante azul de metileno presente no efluente sintético através do processo de eletrocoagulação/ peroxidação variaram entre $20,9 \pm 0,5$ a $82,9\% \pm 0,5$. A Figura 4 apresenta o percentual de remoção da concentração do corante do efluente sintético contendo o azul de metileno após a aplicação do tratamento, onde obteve-se uma remoção superiores a 60% em 10 ensaios.

Figura 4 – Percentual de remoção da concentração do corante azul de metileno em efluente sintético.



Fonte: Autoria Própria

Na Figura 4 foi possível verificar os experimentos que obtiveram os melhores resultados de remoções acima de 82%, também aqueles que obtiveram resultados inferiores a 30% de remoção da concentração de corante.

Pode-se notar que as remoções na ordem de $\pm 80\%$ acontecem justamente nos ensaios com maiores níveis de concentração de corante (150 mg L^{-1}), e com tempo de tratamento de 20 minutos, também se observou nestes ensaios um desgaste acentuado dos eletrodos, este desgaste pode estar associado a densidade de corrente. No entanto, não se pode afirmar isto, visto que, este parâmetro foi apenas monitorado durante as reações.

Nos experimentos (2, 10 e 12) com remoções superiores a 82% a concentração inicial de corante foi de 150 mg L^{-1} , o tempo foi de 20 minutos, o desgaste das placas

foi acima de 0,43 gramas e a densidade de corrente monitorada foi de 2,06 até 4,87A. Estes resultados sugerem que tanto a concentração do contaminante em estudo quanto tempo reacional são fatores determinantes no desempenho do processo de eletrocoagulação/ peroxidação avaliado.

Já para os experimentos (5, 7 e 9), obteve-se remoções inferiores a 30% a concentração inicial de corante nestes ensaios variou de 50 à 100 mg L⁻¹, o tempo de 10 a 20 minutos, o desgaste das placas variou entre 0,14 a 0,23 g. A densidade de corrente monitorada foi de 1,32 até 3,57 A. Todos os resultados referentes ao desgaste dos eletrodos e densidade de corrente podem ser encontrados no Apêndice I, Figura 16 a 18.

4.1.1 Análise Estatística

Os resultados obtidos após a aplicação da análise de variância (ANOVA) para a remoção da concentração do corante, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - ANOVA para remoção da cor do corante azul de metileno presente em efluente sintético.

FATORES	SS	Df	MS	F	p -valor
(1) Corante (L)	1663,38	1	1663,377	17,0622	0,0014
Corante (Q)	928,90	1	928,899	9,5282	0,0094
(2)H₂O₂ (L)	42,32	1	42,321	0,4341	0,5224
H₂O₂ (Q)	623,81	1	623,812	6,3988	0,0264
(3) Tempo (L)	5308,33	1	5308,325	54,4505	0,0000
Tempo (Q)	3,30	1	3,300	0,0339	0,8571
(4) NaCl (L)	482,02	1	482,023	4,9444	0,0461
NaCl (Q)	232,77	1	232,775	2,3877	0,1482
1*2	58,93	1	58,935	0,6045	0,4519
1*3	133,83	1	133,829	1,3728	0,2641
1*4	310,07	1	310,070	3,1806	0,0998

2*3	8,56	1	8,559	0,0878	0,7721
2*4	637,42	1	637,421	6,5384	0,0251
3*4	19,98	1	19,980	0,2050	0,6588
Erro	1169,87	12	97,489		
Total SS	11202,82	26			

SS = Soma dos quadrados; df=Graus de liberdade; MS= Quadrados médios; F= Razão de F calculado 7,350963, em relação ao valor de F tabelado 2,637124; *= Interação linear entre os fatores. Fonte: Autoria Própria

A concentração de corante foi um dos fatores que afetou de forma direta tanto linear quanto quadrática a remoção da concentração do contaminante, já para o tempo o efeito linear foi um dos fatores que afetou consideravelmente de forma positiva o desempenho do processo de eletrocoagulação/ peroxidação. Quanto a concentração do cloreto de sódio, a mesma apresentou significância no termo linear, já o agente oxidante primário peróxido de hidrogênio não apresentou influência em relação ao termo linear para a reação de eletrocoagulação/ peroxidação, mas sim no termo quadrático.

Com relação a remoção da concentração do corante azul de metileno, os termos significativos foram aqueles que apresentaram um p-valor menor que 0,05, ou seja, menor que 5%. Logo após, foi realizado o cálculo para as estimativas dos efeitos desses fatores e todas as suas interações foram ajustadas através do modelo matemático apresentado abaixo, ao qual o valor de R² foi 0,8955.

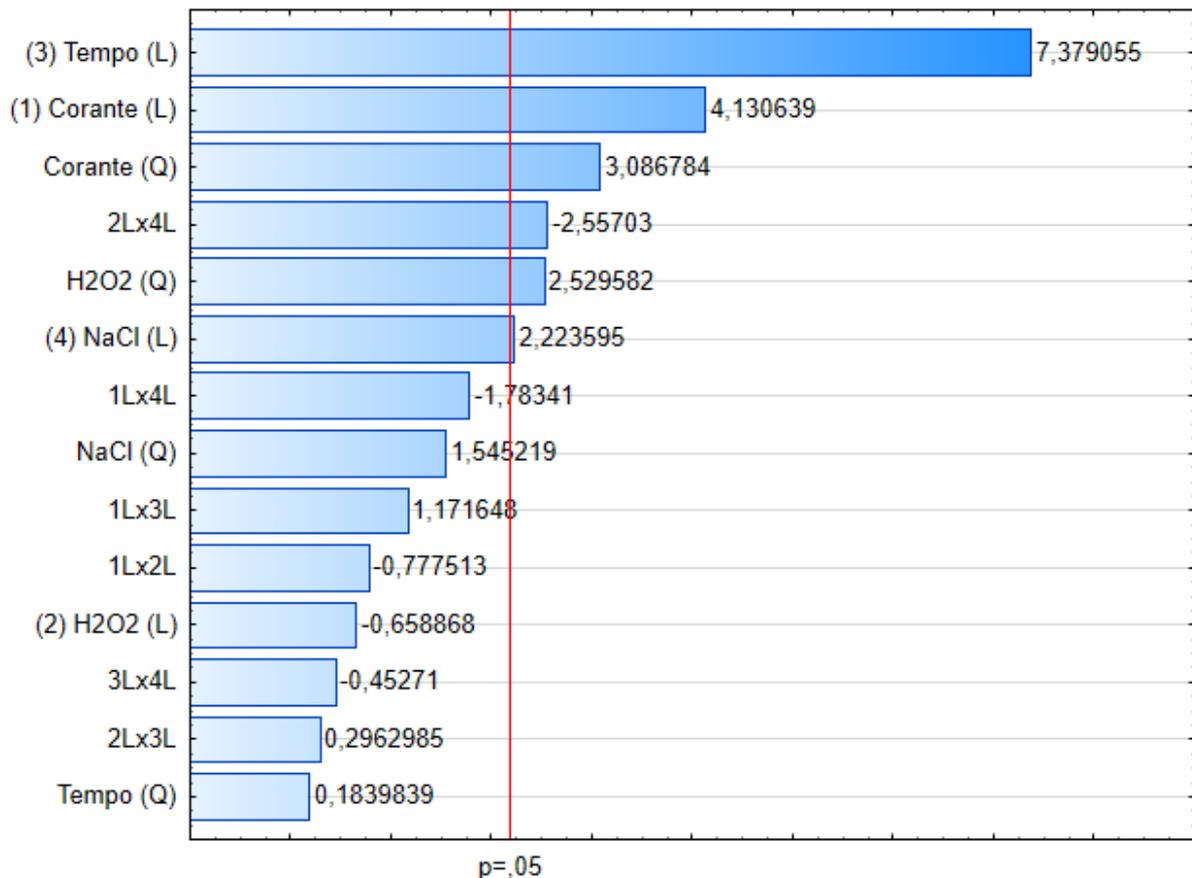
$$\begin{aligned}
 [R. \text{COR}] = & 17,452066666666 + 0,10107708333333x + 0,0010815020833333x^2 \\
 & + 0,8121000000003y + 6,6064583333332y^2 - 0,0007676899999999 \\
 & * 100x - 0,176088 * 100y + 0,0014627750000001 * 20x - 0,126236xy \\
 & - 0,223495 * 20y + 84,3566667
 \end{aligned}$$

A partir dos efeitos, percebeu-se que a remoção da concentração do corante através do processo da eletrocoagulação/ peroxidação foi influenciada de forma direta e positiva pelo tempo e pela concentração do corante, ambos de forma linear. Verificou-se também que o aumento da concentração de cloreto de sódio na reação e a diminuição da concentração de peróxido de hidrogênio, resultou em um efeito

positivo na remoção da concentração do corante presente no efluente sintético após o tratamento aplicado.

A Figura 5 apresenta o Diagrama de Pareto que tem por intuito mostrar os termos com influência significativa e os não significativos para a remoção da concentração do corante presente no efluente sintético para o tratamento de eletrocoagulação/ peroxidação nas condições avaliadas.

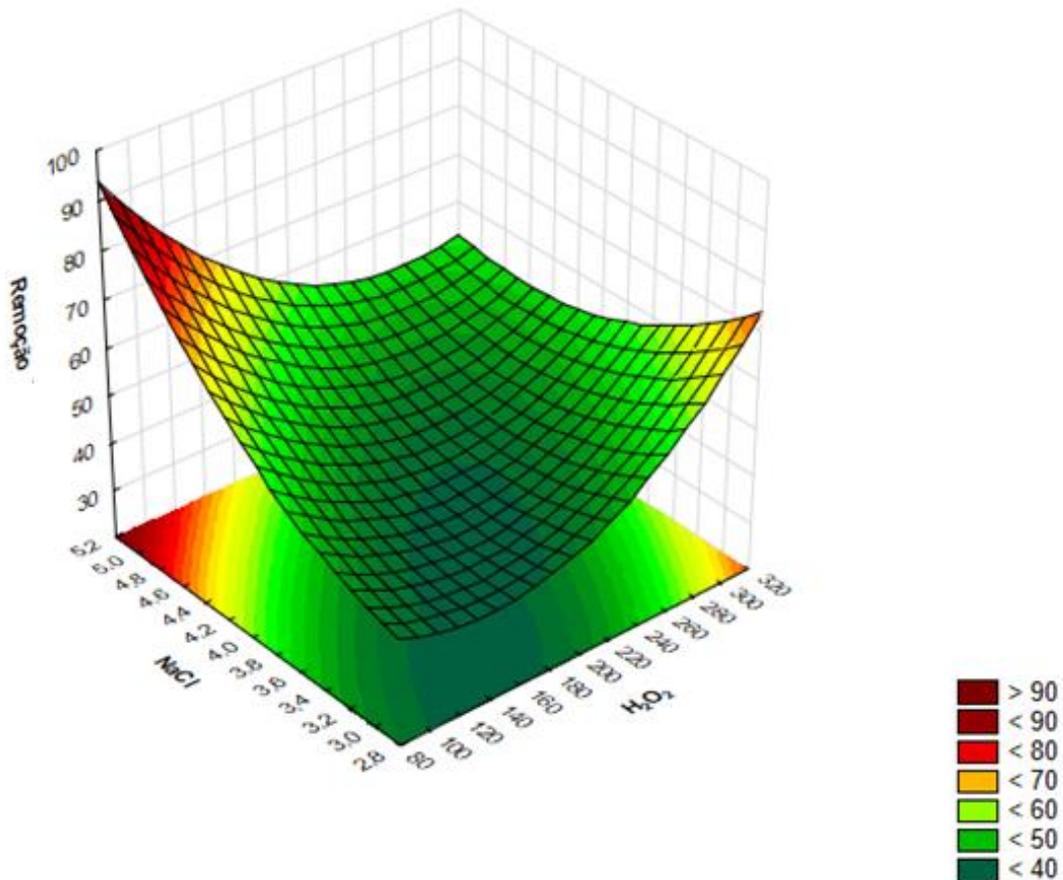
Figura 5 - Diagrama de Pareto para remoção da concentração do corante azul de metileno presente no efluente sintético.



Fonte: Autoria Própria

Ainda observando a Tabela 5, como o $F_{cal} > F_{tab}$ foi possível construir a superfície de resposta para a remoção da concentração do corante azul de metileno tratado pela eletrocoagulação/ peroxidação, onde obteve-se uma interação entre cloreto de sódio e peróxido de hidrogênio, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Superfície de resposta para a interação das variáveis “peróxido de hidrogênio (H_2O_2) versus o cloreto de sódio ($NaCl$)” para remoção da concentração corante em porcentagem.



Fonte: Autoria Própria

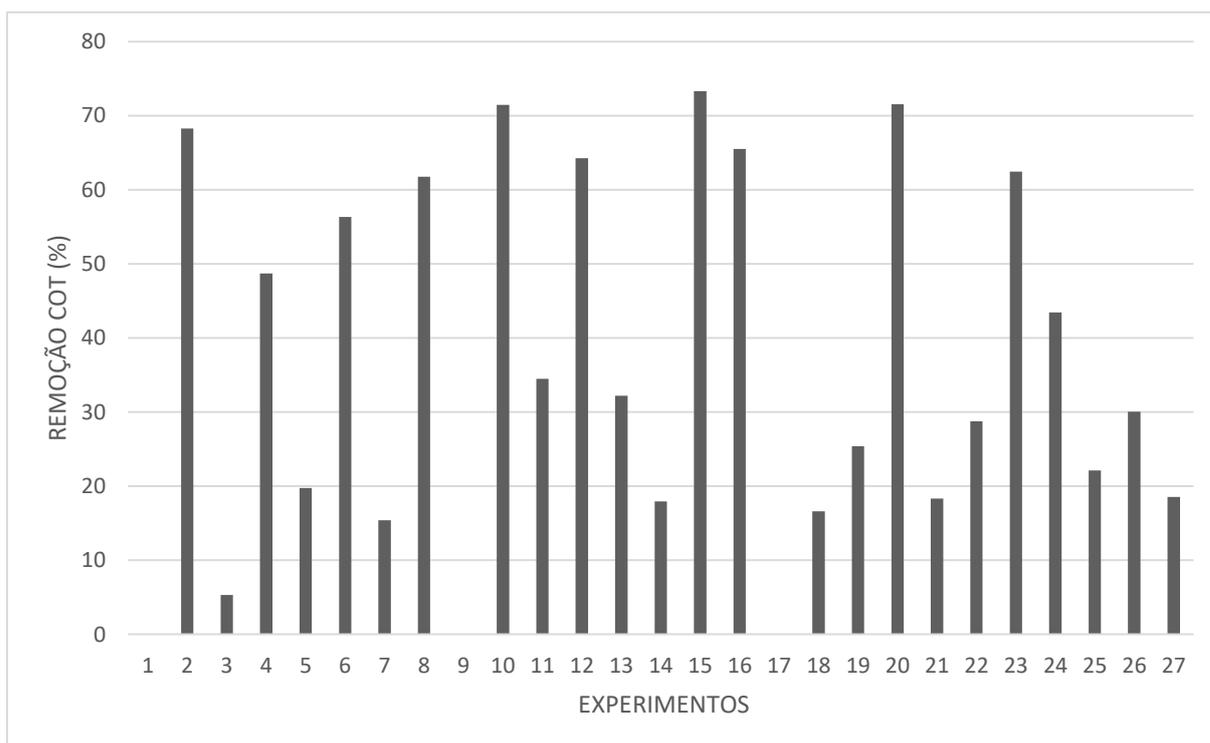
Através da Figura 6 foi possível observar a relação entre a concentração do peróxido de hidrogênio utilizada nos ensaios e a concentração do cloreto de sódio. Analisando a superfície de resposta nota-se que os mesmos competem entre si, enquanto o sal é utilizado para aumentar a condutividade do efluente a ser tratado, e assim conduzir corrente elétrica de forma mais efetiva, o peróxido é utilizado para aumentar o potencial de oxidação do contaminante, devida a ação dos radicais hidroxil ($*OH$), que são formados a partir da sua decomposição (CRESPILO et al., 2004).

Dessa forma as concentrações utilizadas são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a concentração de $NaCl$ e menor de H_2O_2 , maior foi a remoção da concentração do corante, e também quanto menor a concentração de $NaCl$ e maior de H_2O_2 , ocorre a maior remoção do corante azul de metileno. Todos os resultados foram analisados sobre um nível de confiança maior que 95%.

4.2 REMOÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL - COT

A Figura 7 apresenta o percentual de remoção de carbono orgânico total nos experimentos realizados, onde observou-se uma variação do percentual de remoção de 0 à 73% \pm 0,05.

Figura 7 - Remoção do COT das amostras do efluente sintético contendo azul de metileno tratado por eletrocoagulação/ peroxidação.



Fonte: Autoria Própria

O percentual de remoção do carbono orgânico total após a aplicação do tratamento de eletrocoagulação/ peroxidação, como mostra a Figura 7 teve uma remoção de COT superior a 30% em 48% dos ensaios realizados, 41% destes obtiveram remoções menores que 30%, e 11% desses experimentos não obtiveram remoção.

A remoção de COT foi influenciada pela concentração de corante e também pela concentração de cloreto de sódio aplicada na reação. Nos níveis de concentração superiores utilizados tanto para o corante (100 -150 mg L⁻¹), quanto para o sal (4 - 5 g L⁻¹), notou-se através dos resultados de COT que estas condições propiciam a mineralização do efluente em estudo potencializando a remoção do carbono orgânico total. Isso pode estar ocorrendo, devido ao fato de o corante agir como um eletrólito, além do NaCl que contém cloro poder estar auxiliando na desinfecção do efluente, e

assim diminuindo a quantidade de compostos orgânicos presentes ali (CRESPILHO et al., 2004).

4.2.1 Análise Estatística

Os resultados obtidos após a aplicação da análise de variância (ANOVA) para a remoção de carbono orgânico total, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - ANOVA para a remoção de carbono orgânico total do azul de metileno presente em efluente sintético.

FATORES	SS	Df	MS	F	p -valor
(1) Corante (L)	6631,10	1	6331,099	50,6015	0,0000
Corante (Q)	10,80	1	10,797	0,0863	0,7740
(2)H ₂ O ₂ (L)	167,57	1	167,569	1,3393	0,2697
H ₂ O ₂ (Q)	402,75	1	402,750	3,2190	0,0980
(3) Tempo (L)	5291,03	1	5291,027	42,2887	0,0000
Tempo (Q)	311,14	1	311,142	2,4868	0,1408
(4) NaCl (L)	633,49	1	633,486	5,0632	0,0440
NaCl (Q)	556,90	1	556,905	4,4511	0,0566
1*2	154,64	1	154,644	1,2360	0,2880
1*3	217,81	1	217,809	1,7408	0,2117
1*4	433,74	1	433,738	3,4667	0,0873
2*3	10,57	1	10,567	0,0845	0,7763
2*4	216,87	1	26,874	1,7334	0,2126
3*4	23,94	1	23,940	0,1913	0,6696
Erro	1501,40	12	125,117		
Total SS	15861,49	26			

SS = Soma dos quadrados; df=Graus de liberdade; MS= Quadrados médios; F= Razão de F calculado 8,198114, em relação ao valor de F tabelado 2,637124; *= Interação linear entre os fatores.
Fonte: Autoria Própria

Observando a Tabela 5, para a remoção de carbono orgânico total, as variáveis que foram significativas são a concentração de corante, em seguida o tempo da reação e logo depois a concentração do cloreto de sódio, onde todas as variáveis atuam de forma positiva e linear no estudo.

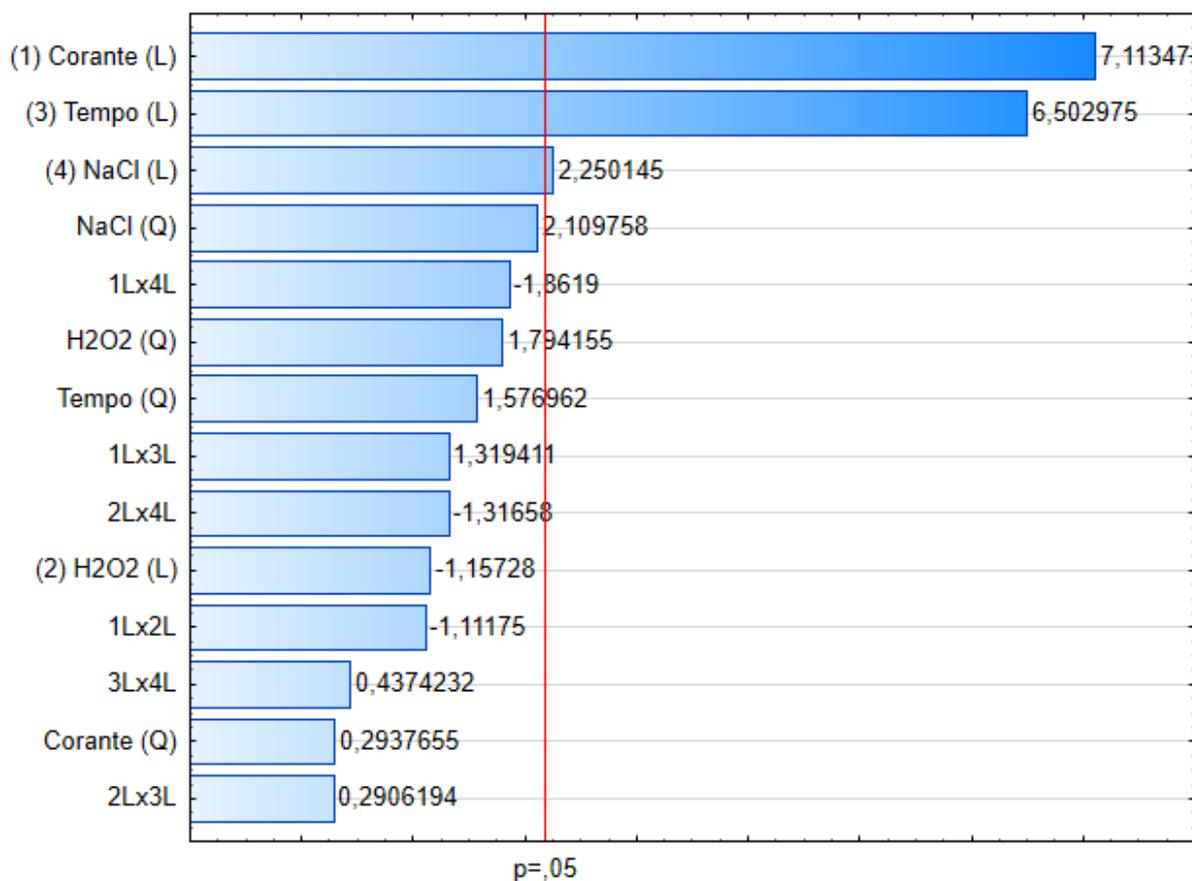
Como forma de representar o tratamento destes dados foi realizado o modelo matemático demonstrado abaixo, ao qual estima os efeitos dos fatores para as interações, onde o valor de R^2 foi 0,9053.

$$\begin{aligned}
 [\text{R. COT}] = & 37,046836292162 + 1,1321587932145x + 0,00056914025650791x^2 \\
 & - 43,822859035274y + 10,218594629528y^2 - 0,0012435590314842 \\
 & * 200x + 0,014758352194096 * 20x - 0,20826371003897xy \\
 & - 0,073633231377907 * 200y + 0,24464125282877 * 20y - 2,601201
 \end{aligned}$$

A partir do modelo apresentado percebe-se que para a remoção do Carbono Orgânico Total os efeitos que influenciam o percentual de remoção são basicamente o tempo ao qual essa reação foi submetida, a concentração do corante, e principalmente a quantidade de cloreto de sódio que foi adicionada no tratamento por eletrocoagulação/ peroxidação.

A Figura 8, apresenta o Diagrama de Pareto para a remoção do carbono orgânico total, ao qual nela pode-se observar quais parâmetros agem com influência significativa e não significativa na reação de eletrocoagulação/ peroxidação para a remoção de COT.

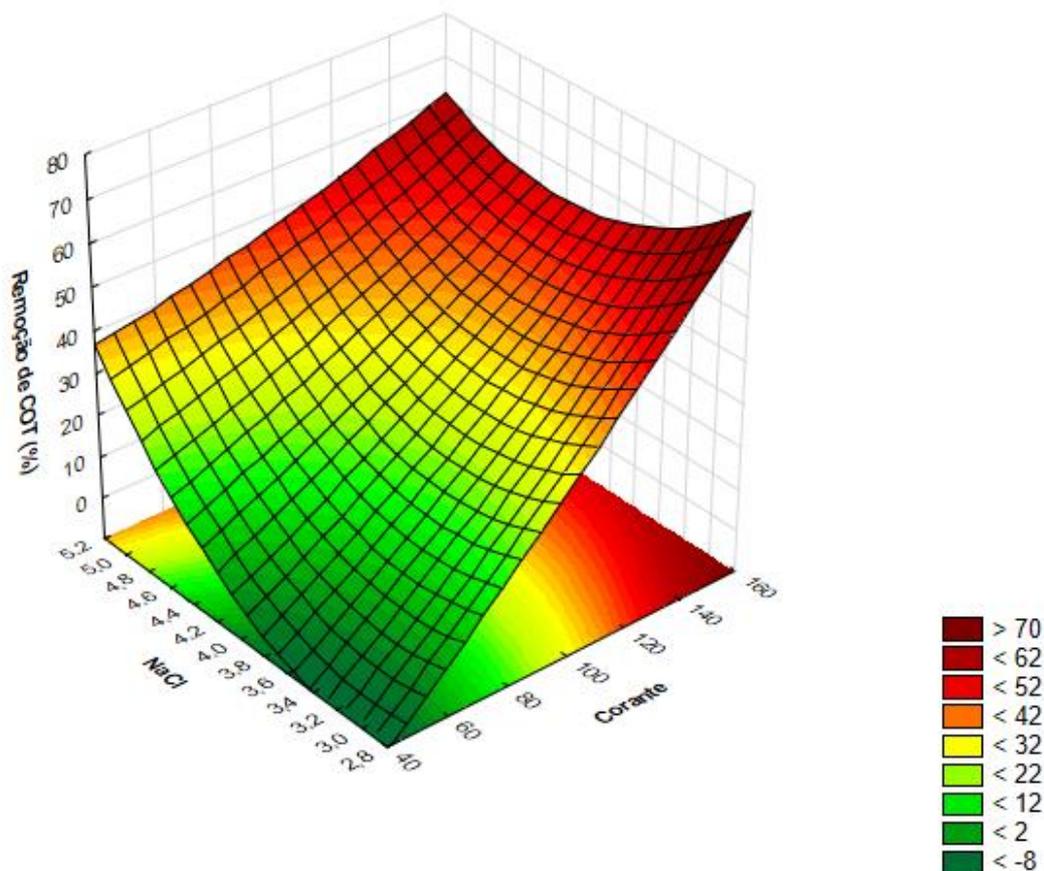
Figura 8 - Diagrama de Pareto para remoção de carbono orgânico total aplicado a eletrocoagulação/ peroxidação do efluente sintético contendo corante azul de metileno.



Fonte: Autoria Própria

A Figura 9 apresenta a superfície de resposta gerada para a remoção do Carbono Orgânico Total ($F_{cal} > F_{tab}$), na pode-se observar a relação entre as variáveis corante e cloreto de sódio, onde quanto maior a concentração delas, maior a remoção de COT.

Figura 9 - Superfície de resposta para a integração das variáveis “cloreto de sódio (NaCl) versus a concentração de corante” para a remoção de carbono orgânico total através do processo de eletrocoagulação/ peroxidação.



Fonte: Autoria Própria

Através da superfície de resposta (Figura 9) foi possível verificar a relação entre o cloreto de sódio e a concentração de corante, ao qual as melhores condições encontradas estão nos pontos extremos do planejamento, pois quanto maior a concentração do corante com a adição de NaCl maior foi a remoção de COT.

Isso ocorre porque quando se aumenta a concentração de corante na reação e junto com a adição de NaCl, está sendo introduzida uma quantidade de eletrólitos (cloreto de sódio) que pela formação de cloro irá auxiliar na redução do ânodo das placas de alumínio (CRESPILHO et al., 2004), formando hidróxido de alumínio ao qual precipita quando reage com o azul de metileno, assim quanto maior a concentração de corante, maior é a precipitação, ou seja, maior é a geração de lodo.

A adição do cloreto de sódio estabelece um aumento na condutividade, diminuindo a consumo de energia (MANSOURS et al., 2006), a presença do NaCl na

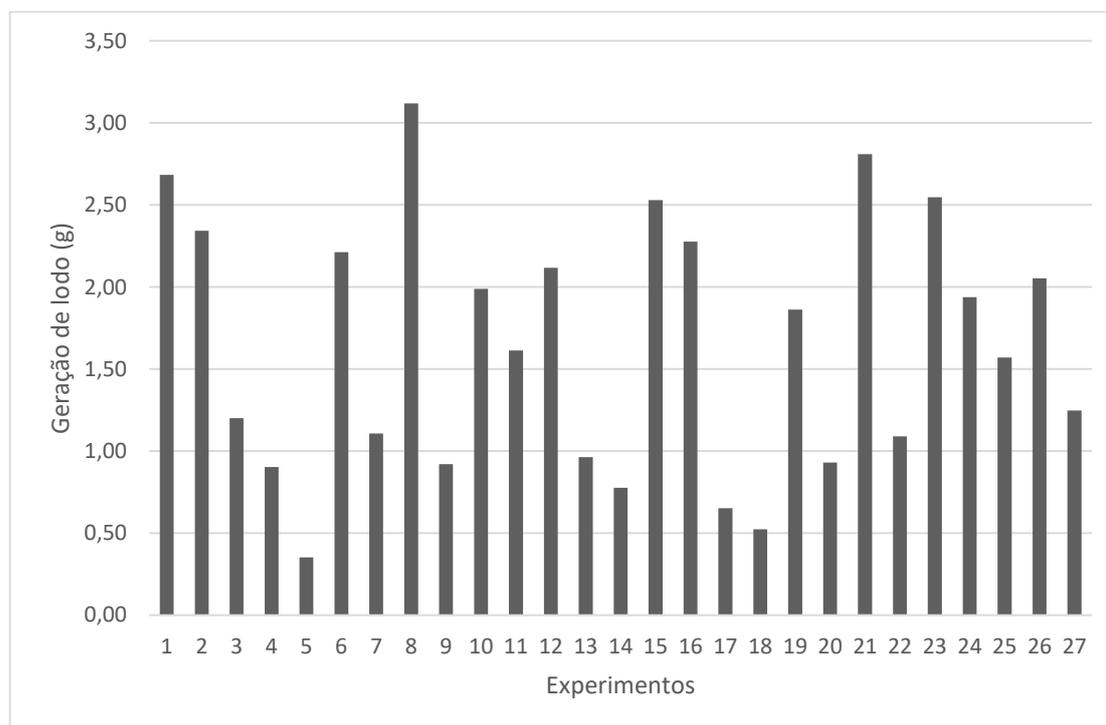
solução diminui a camada de passivação e aumenta a eficiência da eletrocoagulação na remoção do poluente, isso ocorre devido ao ataque do íon cloreto na superfície do metal alumínio (GUOHUA, 2004).

Dessa forma é possível perceber que com uma maior concentração de corante, ocorre a maior remoção do carbono orgânico total após a eletrocoagulação. Todos estes resultados foram analisados sobre um nível de confiança maior que 95%.

4.3 GERAÇÃO DE LODO

A Figura 10 apresenta os resultados da produção de lodo no processo de eletrocoagulação do azul de metileno em efluente sintético. Em cada um dos ensaios foi realizado cálculos para determinar a quantidade de lodo gerado, os quais variaram de 0,5 a 3,1 g ($\pm 0,05$), após o processo de eletrocoagulação/ peroxidação do corante.

Figura 10 - Geração de lodo no processo de eletrocoagulação/ peroxidação do corante azul de metileno em efluente sintético usando eletrodos de sucata de alumínio.



Fonte: Autoria Própria

A Figura 10 apresenta os resultados para a geração de lodo em cada um dos experimentos, nos quais notou-se que o tempo e a concentração de peróxido de hidrogênio, são parâmetros cruciais para os resultados encontrados. Nesse caso

quanto maior a concentração de H_2O_2 e menor o tempo de contato, menor será a geração de lodo.

Na Figura 10 observa-se que a produção do lodo teve um aumento significativo quando a corrente do processo foi superior a 4,8 A, dessa forma houve um maior desgaste das placas de alumínio, onde o hidróxido de alumínio precipitou formando lodo.

Em outros trabalhos utilizando eletrodos de ferro ou alumínio na eletrocoagulação, a formação de lodo está diretamente ligada a densidade de corrente aplicada (ZODI et al., 2009; CHEN 2004). Assim a quantidade de lodo que foi gerada pelo processo de eletrocoagulação/ peroxidação foi proporcional a quantidade de corrente que foi submetida a reação (BENER, 2019). A Figura 18 referente ao monitoramento da corrente aplicada nos ensaios, está localizada no Apêndice I.

4.3.1 Análise Estatística

A Tabela 6 apresenta a ANOVA para a geração do lodo no processo de eletrocoagulação/ peroxidação do corante azul de metileno em efluente sintético usando eletrodos de sucata de alumínio.

Tabela 6 - ANOVA para geração de lodo.

FATORES	SS	Df	MS	F	p -valor
(1) Corante (L)	0,00133	1	0,001331	0,0051	0,9442
Corante (Q)	0,30466	1	0,304656	1,1670	0,3013
(2)H₂O₂ (L)	2,70399	1	2,703986	10,3573	0,0074
H₂O₂ (Q)	0,48500	1	0,485000	1,8577	0,1979
(3) Tempo (L)	6,10086	1	6,100856	23,3686	0,0004
Tempo (Q)	0,45768	1	0,457679	1,7531	0,2102
(4) NaCl (L)	0,78377	1	0,783772	3,0022	0,1088
NaCl (Q)	0,39196	1	0,391962	1,5014	0,2440
1*2	0,00042	1	0,000422	0,0016	0,9686
1*3	0,16116	1	0,161162	0,6173	0,4473

1*4	0,07958	1	0,079580	0,3048	0,5910
2*3	0,00108	1	0,001079	0,0041	0,9498
2*4	0,30897	1	0,308969	1,1835	0,2980
3*4	0,00580	1	0,005799	0,0222	0,8840
Erro	3,13284	12	0,261070		
Total SS	15,73654	26			

SS = Soma dos quadrados; df=Graus de liberdade; MS= Quadrados médios; F= Razão de F calculado 3,448363, em relação ao valor de F tabelado 2,637124; *= Interação linear entre os fatores. Fonte: Autoria Própria

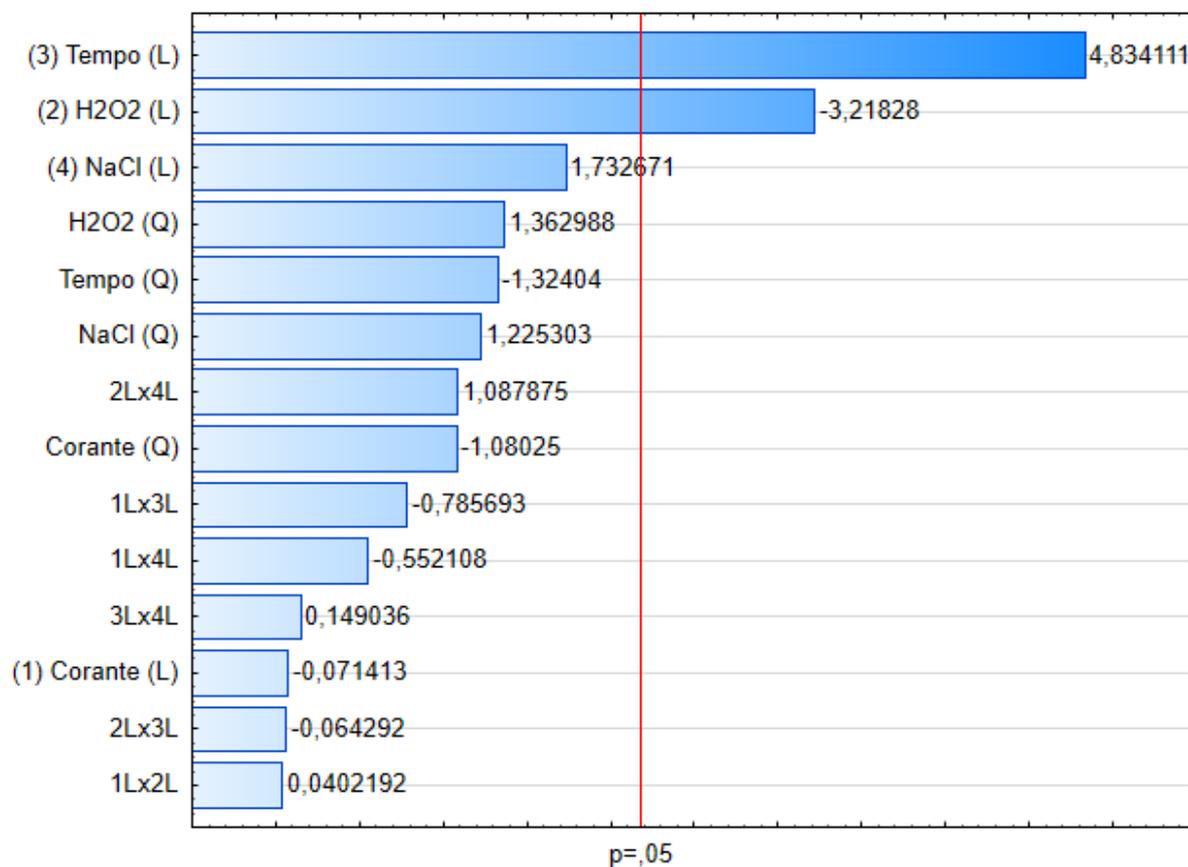
Analisando a Tabela 6, com relação a geração de lodo após o processo de eletrocoagulação/ peroxidação, os termos significativos são o peróxido de hidrogênio e o tempo, sendo que os dois afetam de forma linear, e nesse caso o tempo é um dos fatores que mais afeta de forma considerável a reação, pois quanto maior o tempo, maior é o desgaste dos eletrodos, aumentando assim a quantidade de hidróxido de alumínio que após reagir com o corante precipitam, gerando lodo (DANESHVAR et al., 2007).

Assim gerou-se um modelo matemático, que estima os efeitos desses fatores e principalmente todas as suas interações, ao qual o valor do R² foi 0,8009.

$$\begin{aligned}
 [\text{G. LODO}] = & 4,1334499999998 - 0,02780325y + 0,00003015583333333333y^2 \\
 & + 0,216679166666667x - 0,00292941666666668x^2 \\
 & + 0,000002055000000001 * 100y - 0,00040145 * 100x \\
 & - 0,000016425000000005yx + 0,00277925 * 4y + 0,0038075 * 4x \\
 & - 3,0181167
 \end{aligned}$$

A partir do modelo, percebe-se que para a geração de lodo após o processo da eletrocoagulação/ peroxidação, possui como influência direta e positiva o tempo, já a concentração do peróxido de hidrogênio linear afeta de forma negativa, mostrando que a diminuição da concentração de H₂O₂ com o passar do tempo na reação, diminui a produção de lodo. Com o intuito de analisar os termos com influência significativa e não significativa, utilizou-se o Diagrama de Pareto (Figura 11).

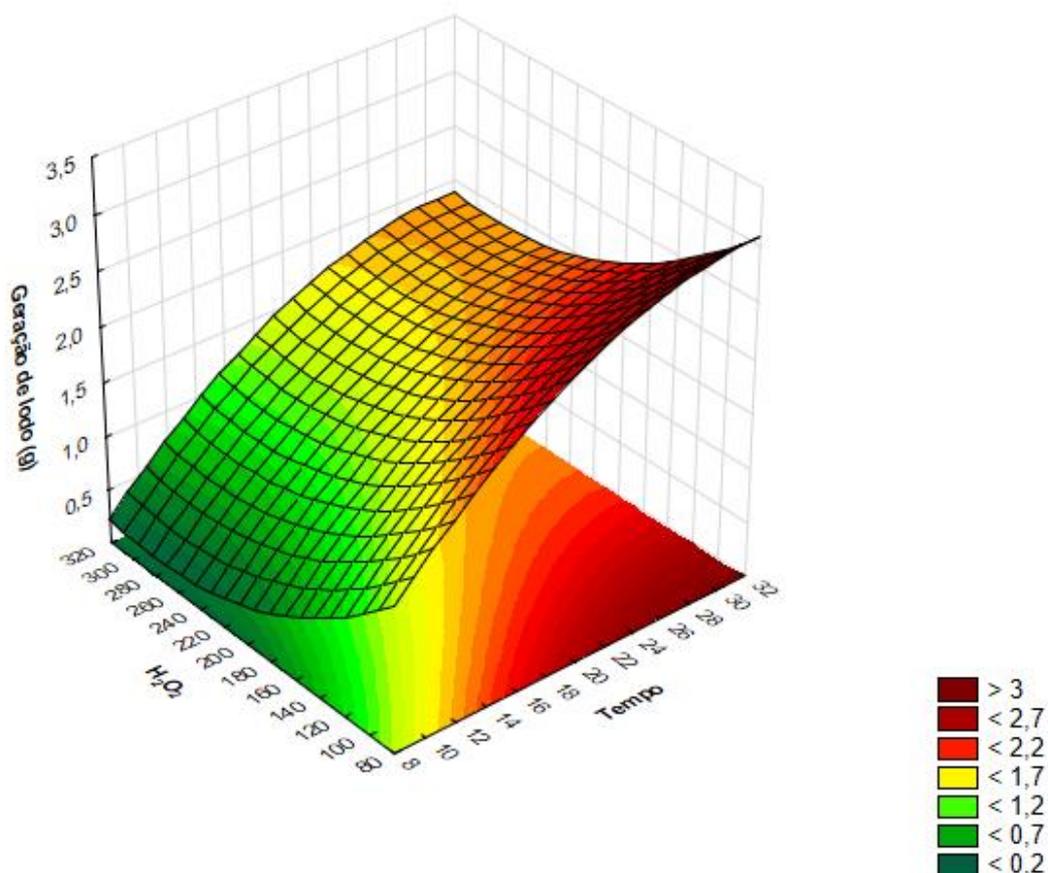
Figura 11 - Diagrama de Pareto para a geração de lodo no processo de eletrocoagulação/ peroxidação do corante azul de metileno em efluente sintético usando eletrodos de sucata de alumínio.



Fonte: Autoria Própria

Analisando a Figura 11 e a Tabela 6, a superfície de resposta (Figura 12) pode ser construída já que o $F_{cal} > F_{tab}$. A mesma tem como objetivo mostrar o comportamento dos fatores que tem influência para a geração de lodo. A Figura 12 apresenta a interação entre o peróxido de hidrogênio e o tempo de reação. Nesse caso quanto menor a concentração de H_2O_2 e maior o tempo, maior será a produção de lodo, pois quanto maior o tempo, maior é a formação de hidróxido de alumínio provenientes do desgaste das placas.

Figura 12 – Superfície de resposta para a integração das variáveis “peróxido de hidrogênio (H_2O_2) versus o tempo” para a geração de lodo no processo de eletrocoagulação/ peroxidação do corante azul de metileno em efluente sintético usando eletrodos de sucata de alumínio.



Fonte: Autoria Própria

Através da Figura 12, observa-se a relação entre o peróxido de hidrogênio e o tempo, como o H_2O_2 é utilizado para aumentar o potencial de oxidação do contaminante, a sua concentração reduzida provoca um maior consumo dos eletrodos sobre um certo período de tempo, assim produzindo mais lodo pois quanto maior o tempo, maior é a formação de hidróxido de alumínio provenientes do desgaste das placas.

A composição dos eletrodos utilizados também tem um grande efeito em relação ao tratamento, pois a escolha dos eletrodos de alumínio foi justamente por sua não toxicidade e ser de fácil disponibilidade, não sendo prejudicial ao meio ambiente e a saúde humana. Porém, não foi realizada nenhuma análise sobre a

composição destas placas quanto a sua qualidade, ao qual pode ter interferido nos resultados obtidos nos ensaios, pois depende justamente da capacidade do hidróxido de alumínio reagir com o corante e gerar lodo (DANESHVAR et al., 2007).

Outro fator importante é a corrente elétrica, pois a mesma pode auxiliar na eficiência do tratamento em relação a remoção de poluentes, mas também pode acarretar a formação de outros poluentes, afetando de forma negativa o tratamento (HAKIZINAMA et al., 2017) o qual será aplicado na reação.

A corrente elétrica quando aplicada na reação age com os eletrólitos presentes ali, e forma hidróxidos de alumínio, que quando reagem com o corante acabam precipitando-o, e assim gerando lodo. Dessa forma a quantidade de lodo que é gerada pela reação aumenta conforme a corrente que está sendo aplicada (BENER, 2019), entretanto a corrente não foi um dos parâmetros avaliados neste estudo.

Nesse caso quanto menor o tempo e menor a concentração de peróxido, há uma menor geração de lodo.

5 CONCLUSÃO

A eletrocoagulação/peroxidação do corante sintético azul de metileno utilizando como eletrodo a sucata de alumínio mostrou-se um tratamento promissor para ser utilizado na descontaminação de efluentes contendo corantes, sendo que o mesmo apresentou potencial de aplicação para efluentes desta natureza, remoções de até 83% da concentração do corante, 73% para COT e 3,2 gramas para geração de lodo.

Analisando de forma geral o tratamento, os parâmetros que influenciam para uma melhor eficiência estão ligados ao tempo de reação, pois quanto maior for o mesmo, melhor será a eficiência do tratamento em relação a remoção dos contaminantes, outro fator observado foi a quantidade utilizada de peróxido de hidrogênio e cloreto de sódio, já que os mesmos possuem influência direta na reação, pois competem entre si, fazendo com que diminuía a eficiência do tratamento.

O desgaste dos eletrodos e a composição deles, também é um parâmetro que influencia na eficiência do tratamento, pois quanto maior o tempo, ocorre um desgaste maior das placas e assim mais hidróxidos de alumínio são formados, que após reagirem com o corante precipitam, gerando lodo.

Um motivo que pode ser levado em conta para o aumento dos desgastes das placas foi a corrente elétrica, pois quanto maior for a densidade de corrente maior o desgaste das placas de alumínio, porém, neste experimento não foi avaliado o efeito

da densidade de corrente, apenas monitorado, não podendo dessa forma afirmar sobre o seu real efeito.

6 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- 1) Avaliação dos eletrodos utilizados sobre a sua composição e qualidade;
- 2) Controlar a densidade da corrente aplicada;
- 3) Utilizar apenas um dos eletrólitos, ou H_2O_2 ou $NaCl$ para entender de forma isolada o comportamento de cada um deles, ou analisá-los de forma paralela com ensaios iguais;
- 4) Analisar a toxicidade da reação inicial e final;
- 5) Analisar as características do lodo produzido.

REFERÊNCIAS

ABIT (2019) **Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecções**. Perfil do setor <<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>

A. DALVAND, M. GHOLAMI, A. JONEIDI, NM MAHMOODI. **Remoção de corante, consumo de energia e custo operacional de eletrocoagulação de águas residuais têxteis como um processo limpo**. Clean - Solo Air Água, 39 (2011), pp. 665 – 672.

ALMEIDA, E.J.R.; et al. **A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes**. Rio Claro, 2019.

APHA - Standard methods for the examination of water and wastewater. **American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation**. 2012.

BAHÉ, J.M.C.F. **Recuperação do íon amônio gerado durante a evaporação de lixiviados de aterros utilizando resinas poliméricas de troca iônica**. Tese de doutorado – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 184p., 2014.

BENER, S.; BULCA, O.; PALAS, B.; TEKIN, G.; ATALAY, S.; ERSOZ, 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, v. 129, p. 47- 54, 2019.

BENAZZI, TONI LUIS. **Otimização de um sistema de eletrofloculação em fluxo contínuo para o tratamento de efluentes líquidos das indústrias de laticínios**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, 2013.

BHASKAR G.R., KARUPPIAH M.T., LATHA S.S., PARVATHY S., PRABHAKAR S., **Treatment of wastewater from synthetic textile industry by electrocoagulation–electrooxidation**, Chem. Eng. J., v. 144, 2008.

BORBA, F.H.; MANENTI, D.R.; MÓDENES, A.N.; MORA, N.D.;

ESPINOZAQUINONES, F.R.; PALÁCIO, S.M.; YASSUE, P.H.; NASCIMENTO, R.

Avaliação da eficiência da técnica de eletro-floculação no tratamento de efluentes de indústrias de subprodutos avícolas. Estudos Tecnológicos, v. 6 n. 1, jan/abr, 2010.

BOUHEZILA, F.; HARITI, M.; LOUNICI, H. & MAMERI, N. **Treatment of the OUED SMAR town landfill leachate by an electrochemical reactor**. Desalination v. 280, p. 347–353, 2011.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº430, de 13 de maio de 2011**. Condições e padrões de lançamento de efluentes do Território Nacional. BURATINI, S. V. Biodegradação. In. ZAGATTO, P.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia Aquática**, Princípios e Aplicações. 2 ed, São Carlos: RiMa, 2008. 472 p.

CAPUZZI, S.; TIMELLI, G. **Preparation and Melting of Scrap in Aluminum Recycling: A Review**. *Metals* 2018, 8, 249.

CERQUEIRA, A. A. **Aplicação da técnica de EF no tratamento de efluentes têxteis**. 2006. 111f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CERQUEIRA, A.; RUSSO, C.; MARQUES, M. R. C. **Electroflocculation for textile wastewater treatment**. Braz. J. Chem. Eng., v. 26, p. 659-668, 2009.

CHAKRABORTY, J. N. Wastewater problem in textile industry. In: *Fundamentals and Practices in Colouration of Textiles*. **Woodhead Publishing India**, p. 515–545, 2014.

CHOY, K. K. H.; PORTER, J. F.; MCKAY, G. **Langmuir, isotherms models applied to the multicomponent sorption of acid dyes from effluent onto activated carbon**. Journal of Chemical & Engineering Data, v. 45, p. 575–584, 2000.

CRISPILHO, NELSON. F; REZENDE, MARIA. O. **Eletroflotação: Principios e aplicações**, 2004.

DANESHVAR, N.; KHATAEE, A.R.; AMANIGHADIM, A.R.; RASOULIFARD, M.H. **Decolorization of C.I. Acid Yellow 23 solutions by electrocoagulation process: Investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC)**. Journal of Hazardous Materials, 2007.

DROGUI P., ASSELIN M., BRAR S.K., BENMOUSSA H., BLAIS J.F., **Electrochemical removal of pollutants from agro-industry wastewaters**, Sep. Purif. Technol., v. 61, 2008.

ELAZZAUZI M, HABOUBI K, ELYOUBI M (2017) **Eletroagulação flocculação como processo de baixo custo para remoção de poluentes de águas residuais urbanas**. Projeto de Engenharia Química 117:614–626.

ESTRADA, A. L.; LI, Y. Y.; WANG, A. **Biodegradability enhancement of wastewater containing cefalexin by means of the electro-Fenton oxidation process**. Journal Hazardous Material, v. 227-228, p. 41-48, 2012.

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS: FISPQ. DINÂMICA QUÍMICA CONTEMPORÂNEA LTDA, 12 fev. 2020. Disponível em: http://dinamicaquimica.com.br/freagentes/AZUL_DE_METILENO.pdf. Acesso em: 14 mar. 2022.

FERRAZ, AMARILDO DE OLIVEIRA. **Avaliação das técnicas eletrolíticas de eletrocoagulação eletroflotação e eletro-oxidação separadas e conjugadas aplicadas no tratamento de lixiviados**. COPPE, 2019.

GUOHUA, Chen. **Electrochemical Technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology**, vol 38, p. 11-41, 2004

HAKIZIMANA, J. N. et al. **Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches**. Desalination. v. 404, p. 1–21, 2017.

GILI, ITAMAR. **Tratamento de efluentes por eletrólise: estudo de caso para efluentes têxteis**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2015.

JANG, HYUN-HEE; SEO, GYU-TAE; JEONG, DAE-WOON. **Investigation of Oxidation Methods for Waste Soy Sauce Treatment**. International Journal of Environmental Research and Public Health, 7 out. 2017.

- KISMIR, Y.; AROGUZ, A. Z. Adsorption characteristics of the hazardous dye brilliant green on saklikent mud. **Chemical Engineering Journal**, v. 172, p. 199-206, 2011.
- KOBYA, M. et al. **Treatment of potable water containing low concentration of arsenic with electrocoagulation: Different connection modes and Fe–Al electrodes**. Separation and Purification Technology. v. 77, p. 283–293, 2011.
- LALNUNHLIMI, S.; KRISHNASWAMY, V. **Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium**. Brazilian Journal of Microbiology, v. 47, p. 39-46, 2016.
- LIMA, C. S.; BATISTA, K. A.; RODRIGUEZ, A. G.; FERNANDES, J. R. S. **Photodecomposition and color removal of a real sample of textile wastewater using heterogeneous photocatalysis with polypyrrole**. Solar Energy, v. 114, p.105-113, 2015.
- LIMA, L.M.Q. **Lixo, tratamento e biorremediação**. São Paulo: Ed. Hemus, 265p., 2004.
- L. PEREIRA, M. ALVES. **Impacto ambiental e remediação de tinturas.IN Estratégias de proteção ambiental para o desenvolvimento sustentável**. Springer, Dordrecht (2012), pp. 111 – 162.
- KANG, Y. W.; CHO, M. J.; HWANG, K. Y. **Correction of hydrogen peroxide interference on standard chemical oxygen demand test**. Water Res., v.33, p. 1247-1251, 1999.
- MAMAN, Rafaela de. **Eletrofloculação aplicada no tratamento de efluente têxtil utilizando como eletrodos resíduo de indústria de fundição e sucata de ferro**. Programa de pós-graduação em ciência e tecnologia ambiental, [s. l.], 13 dez. 2019.
- MANSOURS, Ben L.; CHALBI, S. **Renoval of oil from oil/water emulsions using electroflotation**. Journal of Applied Electrochemistry, vol 36, p.577-581, 2006.
- MEHRJOUEI, M., MÜLLER, S., MÖLLER, D. **A review on photocatalytic ozonation used for the treatment of water and wastewater**. Chemical Engineering Journal, v. 263, p. 209-219, 2015.
- MENDONÇA, RITA. **Conservar e criar: natureza, cultura e complexidade**. Editora Senac São Paulo. São Paulo, 2005.
- METSON, J. **Produção de Alumina**. Em *Fundamentos da Metalurgia do Alumínio* , 1ª ed.; Lumley, R., Ed.; Publicação Woodhead: Cambridge, Reino Unido, 2011; págs. 23-48.
- MOLLAH M.Y.A., SCHENNACH R., PARGA J.P., COCKE D.L., **Electrocoagulation (EC) science and applications**, J. Hazard. Mater., v. 84, 2001.
- MOLLAH, M.Y.A.; MORKOVSKY, P.; GOMES, J.A.G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D.L. **Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation**. Journal of Hazardous Materials, v.114, n.1-3, p. 199-210, October. 2004.

MORAES, M.E.; **Síntese e caracterização de líquidos iônicos práticos com base catiônica 2-hidroxi trietilamônio: solubilidade de corantes têxteis**. Maringá, 2013.

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, p. 1-18, 2016.

M.S. MAHMOUD, J.Y. FARAH, T.E. FARRAG. **Enhanced removal of Methylene Blue by electrocoagulation using iron electrodes**. Egypt J. Petrol, 22 (2013), pp. 211-216.

MURUGANANTHAN, M.; RAJU, G. B.; PRABHAKAR, S. **Removal of sulfide, sulfate and sulfite ions by electrocoagulation**. Journal of Hazardous Materials, vol 109, p. 37-44, 2004.

PAŹDZIOR, K.; BILIŃSKA, L.; LEDAKOWICZ, S. **A review of the existing and emerging technologies in the combination of AOPs and biological processes in industrial textile wastewater treatment**. Chem. Eng. J., v. 376, p. 120597, 2019.

PEREIRA, C.R.; GUARIEIRO, L.L.N.; **Estudo de processos de reuso de efluente em uma indústria têxtil**. 2020.

RUSDIANASARI, A.; JAKSEN, T. & SYAKDANI, A. **Treatment of landfill leachate by electrocoagulation using aluminum electrodes**, MATEC Web of Conferences, 02010, 2017.

SHARMA, P.; KAUR, H.; SHARMA, M.; SAHORE, V. **A review on applicability of naturally available adsorbents for the removal of hazardous dyes from aqueous waste**. Environmental Monitoring and Assessment, v. 183, p. 151-195, 2011.

SHEN, F.; CHEN, X.; GAO, P. & CHEN, G. **Electrochemical Removal of Fluoride Ions from Industrial Wastewater**. Chem. Eng. Sci., v. 58, p. 987-993, 2003.

SIRIRERKRATANA, K.; KEMACHEEVAKUL, P.; CHUANGCHOTE, S. **Color removal from wastewater by photocatalytic process using titanium dioxide-coated glass, ceramic tile, and stainless steel sheets**. Journal of Cleaner Production, v. 215, p. 123-130, 2019.

SOMASIRI, W.; LI, X.F.; JIAN, C. **Effect of organic load on decolourization of textile wastewater containing acid dyes in upflow anaerobic sludge blanket reactor**. Journal of Hazardous Materials, 2010.

SR. CHEN. **Tecnologias eletroquímicas no tratamento de efluentes** Sep. Purif. Technol. , 38 (2004) , pp. 11 – 41.

TOTTEN, GE; MACKENZIE, DS **Handbook of Aluminium: Vol. 1: Metalurgia Física e Processos**, 1ª ed.; CRC Press: Nova York, NY, EUA, 2003; págs. 1–33.

UNGUREANU, CA; DAS, SK; JAWAHIR, IS **Análise do Custo do Ciclo de Vida: Alumínio versus Aço em Carros de Passageiros**. **Em ligas de alumínio para transporte, embalagem, aeroespacial e outras aplicações**, 1ª ed.; Das, KS, Yin, W., Eds.; TMS: Pittsburgh, PA, EUA, 2007; págs. 11–24.

URTIAGA, A.; RUEDA, A.; ANGLADA, A. & ORTIZ, I. **Integrated treatment of landfill leachates including electrooxidation at pilot plant scale.** J. Hazard. Materials., v. 166, p. 1530-1534, 2009.

UN U.T., UGUR S., KOPARAL A.S., ÖGÜTVEREN U.B., **Electrocoagulation of olive Mill wastewaters,** Sep. Purif. Technol., v. 52, 2006.

ZODI, S.; POTIER, O.; LAPICQUE, J. P. **Treatment of the textile wastewaters by electrocoagulation: effect of operating parameters on the sludge settling characteristics.** Sep. Purif. Technol, v. 69, p. 29-36, 2009.

ZOSKI, C.G. (Ed.), **Handbook of Electrochemistry.** 1st Ed., Elsevier, Amsterdam, 2007.

APÊNDICE I

Curva Padrão

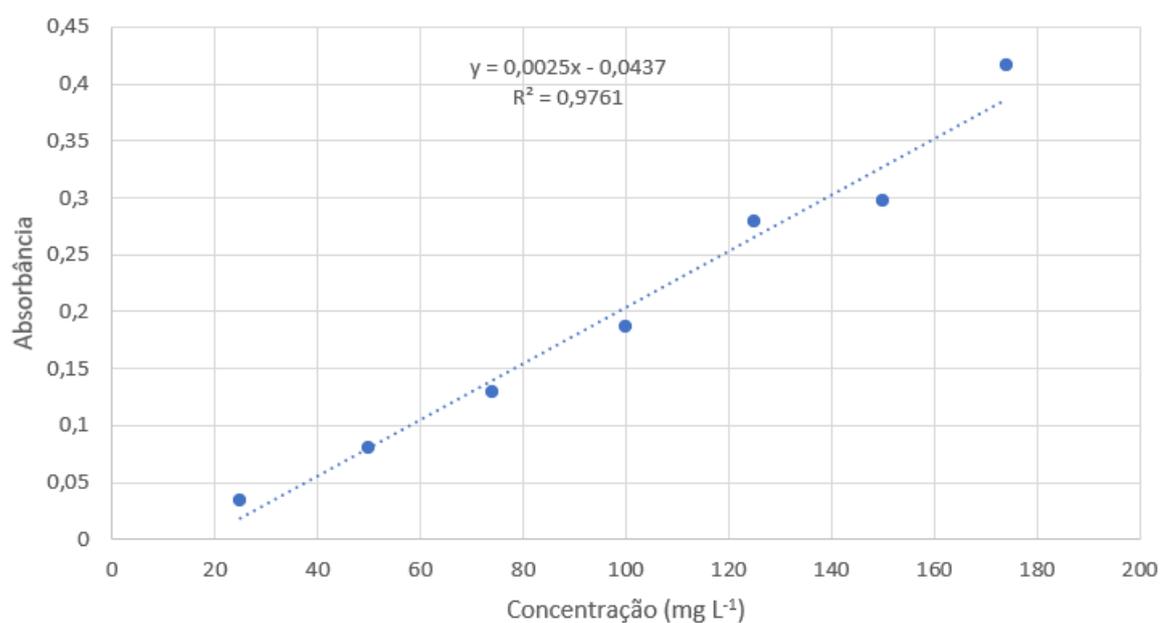
Os resultados obtidos no tratamento de efluente sintético azul de metileno com a adição de cloreto de sódio (NaCl) e sem a ação do peróxido de hidrogênio (H₂O₂) são apresentados no quadro a seguir e logo após a curva padrão resultante para todo o projeto.

Tabela 7 - Concentração e Absorbância sem Peróxido de Hidrogênio

Concentração (mg L ⁻¹)	Absorbância (λ)
174	0,416
150	0,297
125	0,279
100	0,186
74	0,13
50	0,08
25	0,034

Fonte: Autoria Própria

Figura 13 - Curva Padrão Espectrofotometrica UV-vis



Fonte: Autoria Própria

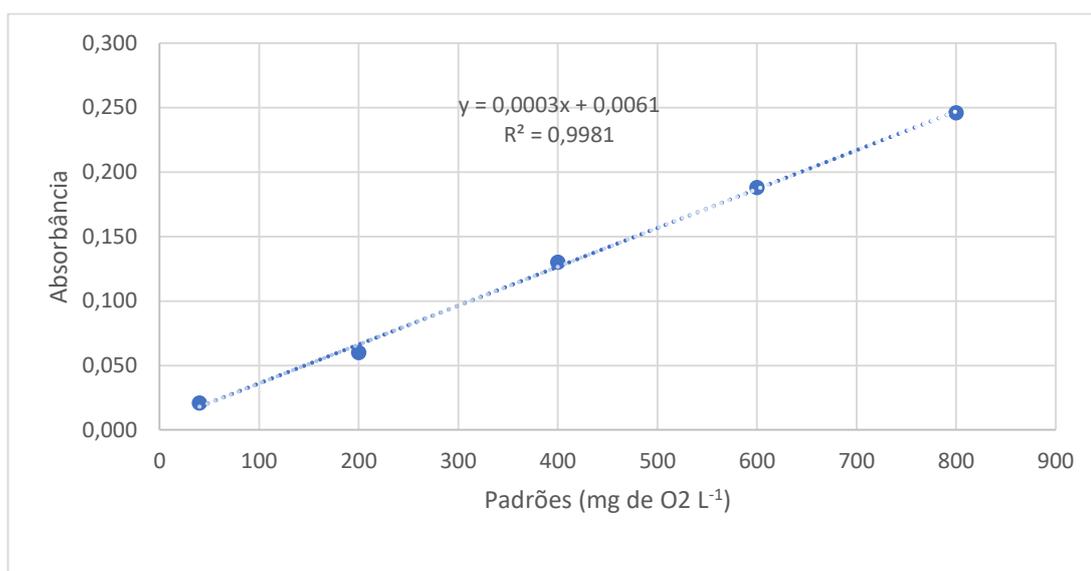
Curva Demanda Química de Oxigênio

Tabela 8 - Padrões da Curva DQO

Padrões (mg de O₂ L⁻¹)	Absorbância
800	0,246
600	0,188
400	0,130
200	0,060
40	0,021

Fonte: Autoria Própria

Figura 14 - Curva padrão DQO



Fonte: Autoria Própria

Demanda Química de Oxigênio

Tabela 9 - Análise DQO

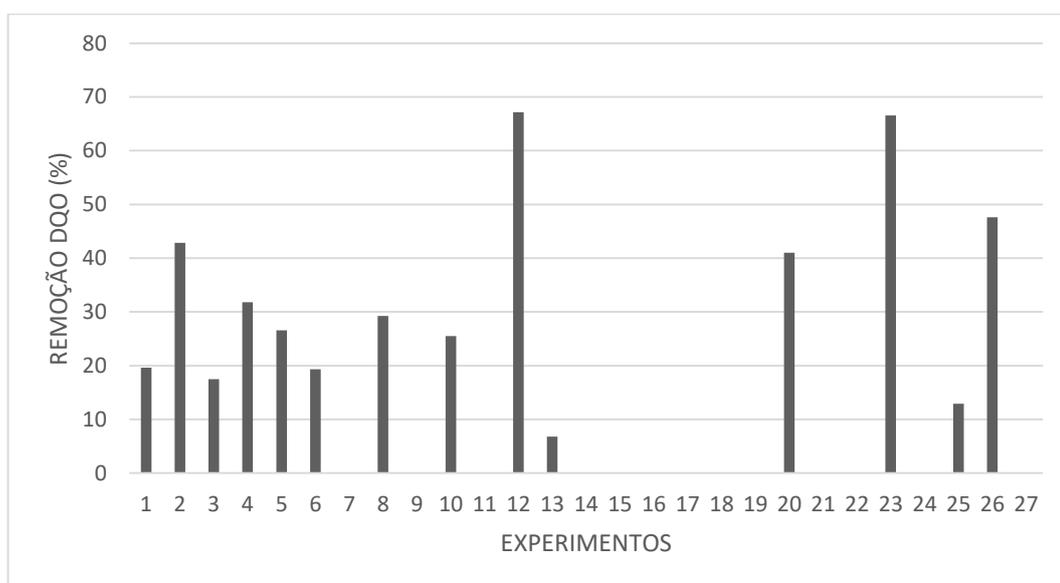
EXPERIMENTO	DQO (mg L⁻¹)	
	INICIAL	FINAL
1	232	186

2	262	150
3	216	179
4	210	143
5	163	120
6	279	225
7	152	205
8	160	113
9	92	189
10	187	140
11	239	345
12	329	108
13	279	260
14	129	223
15	195	281
16	344	388
17	75	86
18	200	251
19	123	145
20	257	152
21	242	280
22	231	435
23	182	61
24	230	444
25	112	97

26	188	99
27	123	136

Fonte: Autoria Própria

Figura 15 - Remoção DQO (%)



Fonte: Autoria Própria

Monitoramento do Desgaste dos Eletrodos

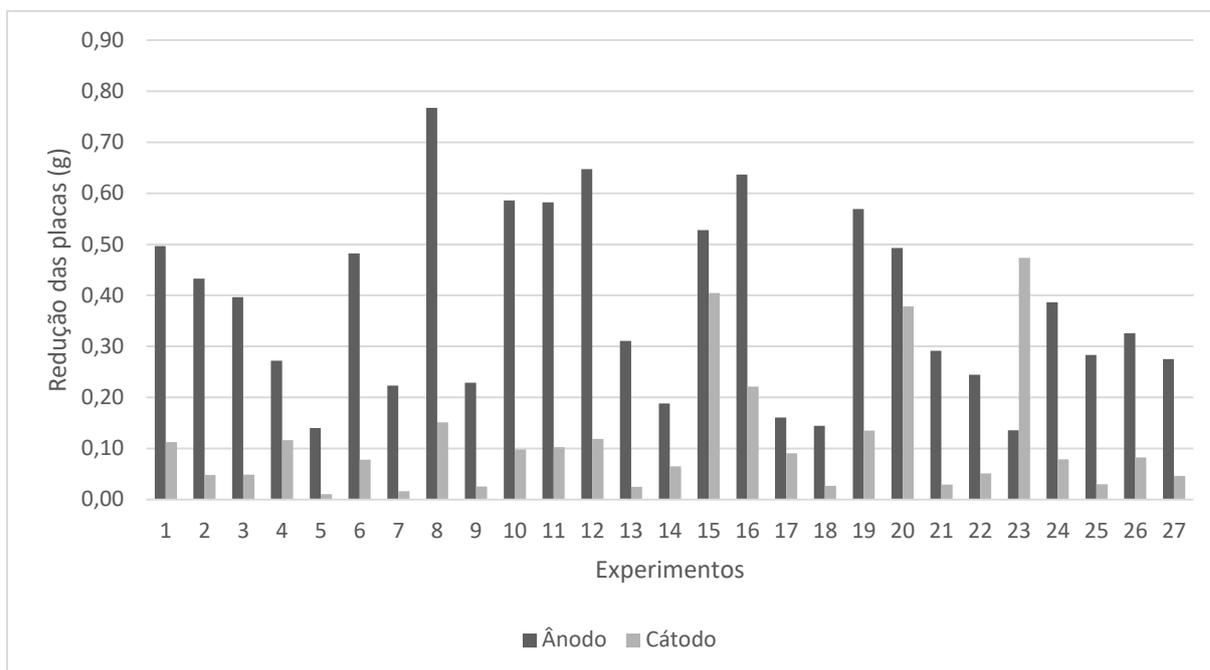
Tabela 10 - Monitoramento do Desgaste das Placas de Alumínio

EXPERIMENTOS	PLACAS ÂNODO (g)		PLACAS CÁTODO (g)	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
1	3,93	3,43	3,78	3,67
2	3,98	3,55	4,04	3,99
3	4,11	3,71	4,11	4,06
4	3,87	3,60	2,88	2,76
5	3,55	3,41	3,99	3,98
6	3,43	2,95	3,67	3,59
7	3,41	3,19	3,98	3,96
8	3,71	2,94	4,06	3,91

9	2,95	2,72	3,59	3,56
10	3,60	3,01	2,76	2,66
11	2,72	2,14	3,56	3,46
12	3,19	2,54	3,96	3,84
13	2,94	2,63	3,91	3,89
14	3,46	3,27	2,14	2,07
15	3,01	2,48	2,66	2,26
16	3,84	3,21	2,54	2,32
17	3,89	3,73	2,63	2,54
18	3,27	3,13	2,07	2,05
19	3,21	2,64	2,32	2,19
20	2,48	1,99	2,26	1,88
21	3,13	2,84	2,04	2,02
22	3,73	3,48	2,54	2,49
23	2,64	2,50	2,19	1,71
24	1,99	1,60	1,88	1,80
25	2,84	2,56	2,02	1,99
26	2,50	2,17	1,71	1,63
27	3,18	2,91	2,45	2,41

Fonte: Autoria Própria

Figura 16 - Monitoramento da Redução das Placas



Fonte: Autoria Própria

Monitoramento do pH, Corrente, Voltagem e Peróxido de Hidrogênio

pH

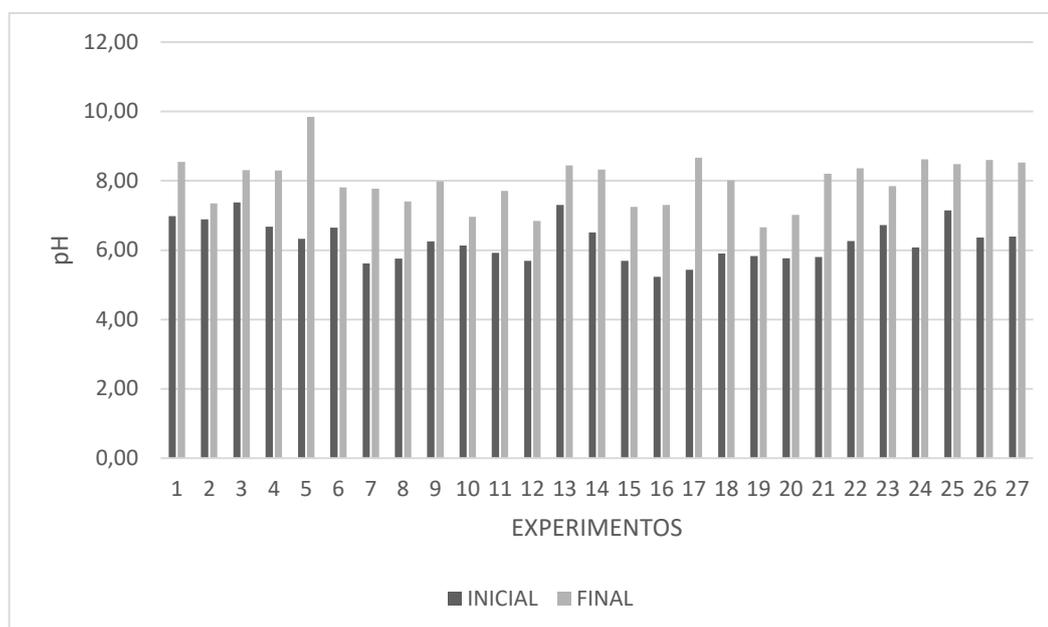
Tabela 11 - Monitoramento do pH

EXPERIMENTOS	pH	
	INICIAL $\pm 0,05$	FINAL $\pm 0,05$
1	6,98	8,55
2	6,89	7,35
3	7,38	8,31
4	6,68	8,30
5	6,33	9,85
6	6,65	7,81
7	5,62	7,77
8	5,76	7,41

9	6,25	7,99
10	6,13	6,96
11	5,92	7,71
12	5,69	6,84
13	7,30	8,45
14	6,51	8,33
15	5,69	7,25
16	5,23	7,30
17	5,43	8,67
18	5,90	8,01
19	5,83	6,66
20	5,77	7,02
21	5,80	8,21
22	6,26	8,36
23	6,72	7,85
24	6,08	8,62
25	7,15	8,48
26	6,36	8,60
27	6,39	8,53

Fonte: Autoria Própria

Figura 17 - Monitoramento do pH antes e após o processo



Fonte: Autoria Própria

Corrente

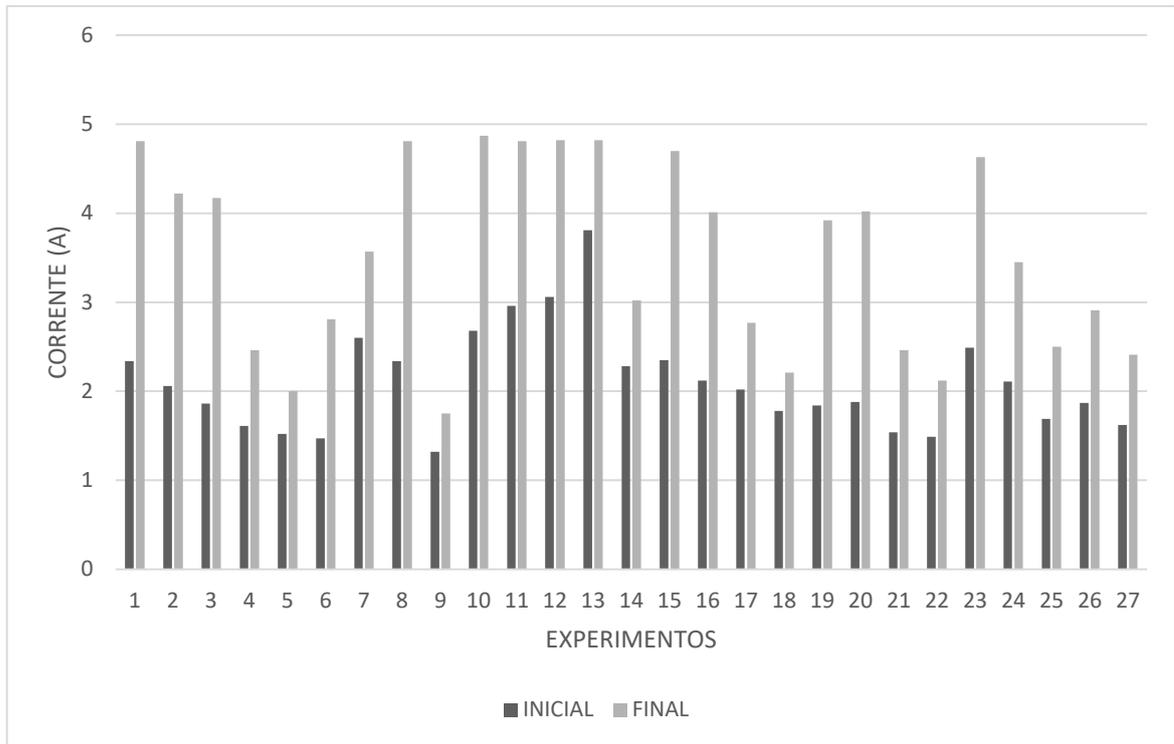
Tabela 12 - Monitoramento da Corrente

EXPERIMENTOS	CORRENTE (A)	
	INICIAL	FINAL
1	2,34	4,81
2	2,06	4,22
3	1,86	4,17
4	1,61	2,46
5	1,52	2,00
6	1,47	2,81
7	2,60	3,57
8	2,34	4,81
9	1,32	1,75
10	2,68	4,87

11	2,96	4,81
12	3,06	4,82
13	3,81	4,82
14	2,28	3,02
15	2,35	4,70
16	2,12	4,01
17	2,02	2,77
18	1,78	2,21
19	1,84	3,92
20	1,88	4,02
21	1,54	2,46
22	1,49	2,12
23	2,49	4,63
24	2,11	3,45
25	1,69	2,50
26	1,87	2,91
27	1,62	2,41

Fonte: Autoria Própria

Figura 18 - Monitoramento da Corrente antes e após a eletrocoagulação



Fonte: Autoria Própria

Voltagem

Tabela 13 - Monitoramento da Voltagem

EXPERIMENTOS	VOLTAGEM (V)	
	INICIAL	FINAL
1	30,6	30,6
2	30,6	30,6
3	30,6	30,6
4	30,6	30,6
5	30,6	30,6
6	30,6	30,6
7	30,6	30,6
8	30,6	29,0

9	30,6	30,6
10	30,6	15,9
11	30,6	28,1
12	30,6	27,3
13	30,6	26,6
14	30,6	30,6
15	30,6	30,6
16	30,6	30,6
17	30,6	30,6
18	30,6	30,6
19	30,6	30,6
20	30,6	30,6
21	30,6	30,6
22	30,6	30,6
23	30,6	30,6
24	30,6	30,6
25	30,6	30,6
26	30,6	30,6
27	30,6	30,6

Fonte: Autoria Própria

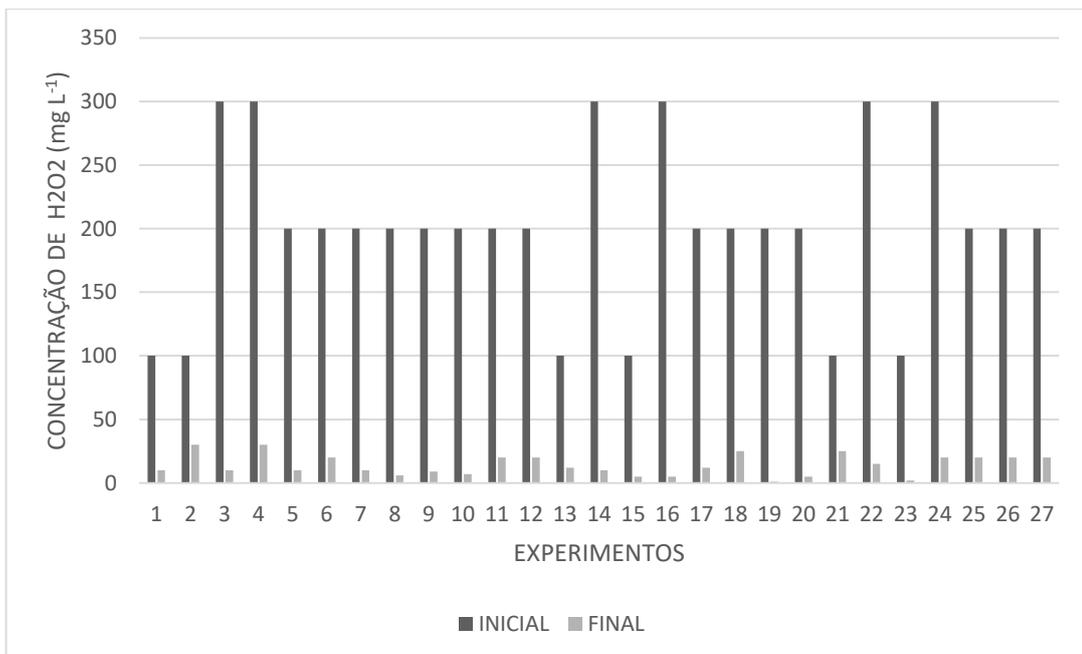
Peróxido de Hidrogênio

Tabela 14 - Monitoramento do Peróxido de Hidrogênio

EXPERIMENTOS	PERÓXIDO (mg L ⁻¹)	
	INICIAL	FINAL
1	100	10
2	100	30
3	300	10
4	300	30
5	200	10
6	200	20
7	200	10
8	200	6
9	200	9
10	200	7
11	200	20
12	200	20
13	100	12
14	300	10
15	100	5
16	300	5
17	200	12
18	200	25
19	200	1
20	200	5

21	100	25
22	300	15
23	100	2
24	300	20
25	200	20
26	200	20
27	200	20

Figura 19 - Monitoramento de H₂O₂ antes e após o tratamento



Fonte: Autoria Própria