

II-036 – APLICAÇÃO DA ELETROCOAGULAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL

Fabiola Tomassoni⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Faculdade União das Américas - UNIAMÉRICA. Mestre em Engenharia em Energia na Agricultura pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Doutoranda em Engenharia Ambiental pelo Laboratório de Reuso de Águas (LARA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – CTC – UFSC.

Beatriz Lima Santos Klienchon Dalari⁽²⁾

Bruna Carina Menon⁽³⁾

Maria Eliza Nagel Hassemer⁽⁴⁾

Flávio Rubens Lapolli⁽⁵⁾

Endereço⁽¹⁾: Rua Lauro Linhares, 1288- Trindade - Florianópolis - SC - CEP: 88036-002 - Brasil - Tel: (48) 99967-7326 - e-mail: fabiola_tomassoni@hotmail.com

RESUMO

Sendo um dos segmentos de maior tradição dentro do segmento industrial, as indústrias têxteis constituem fator de grande importância à economia não só brasileira como mundial. Em 2012, este setor movimentou cerca de US\$ 744 bilhões em transações entre países e espera-se em 2020, que este volume suba para algo em torno de US\$ 851 bilhões (ABIT, 2014). A região Sul e Sudeste são os maiores polos têxteis em volume de produção do Brasil, ficando em destaque, devido seu grande parque industrial instalado e conseqüentemente, a geração de grandes volumes de efluentes. No entanto, toda essa geração de efluentes tem sido considerada como uma das principais fontes de poluição dos corpos d'água, contendo elevadas quantidades de carga orgânica, sais e corantes de difícil degradação biológica. Devido à ineficiência dos processos de tratamento convencionais utilizados por estas indústrias, priorizando a proteção do meio ambiente e considerando as características do efluente, faz-se necessário o estudo de novas alternativas de tratamento. O processo de eletrocoagulação (EC) surge como alternativa complementar ao tratamento de efluentes industriais, em especial, o têxtil, pois vem apresentando destaque nos últimos anos devido à simplicidade operacional, a não necessidade de inserção de produtos químicos, o menor tempo de operação e menor produção de lodos. A aplicação da eletrocoagulação em condições ideais, tais como: Conexão (monopolar), pH(3), intensidade de corrente (200 A) e tempo (30 minutos) permite obter eficiência acima de 75% de remoção em cor e 45% em compostos aromáticos. Não havendo necessidade de sedimentação do efluente.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente têxtil, Eletrocoagulação, Remoção de cor.

INTRODUÇÃO

As indústrias têxteis constituem fator de grande importância à economia brasileira, ocupando lugar de destaque na economia nacional. Forte gerador de empregos e grande volume de produção e exportação, o valor da produção da cadeia têxtil em 2014 foi cerca de R\$ 126 bilhões, o que é equivalente a 5,6% do valor total da produção da indústria brasileira de transformação (ABIT, 2015). No entanto, o setor têxtil é um dos maiores consumidores de água, variando entre 200 a 400 litros/Kg de tecido acabado, o que conseqüentemente, gera grandes volumes de efluentes, os quais, quando não corretamente tratados, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental (MORALI; UZAL; YETIS, 2016).

O efluente têxtil é caracterizado por ser altamente colorido devido à presença de corantes que não se fixam nas fibras durante o processo de tingimento, gerando emissões de poluentes sólidos, líquidos e gasosos. As características deste efluente são bastante complexas e variam com o tipo de atividade e processo industrial. Em geral, cerca de 90% dos produtos químicos utilizados no beneficiamento têxtil são eliminados após cumprirem seus objetivos. Com o elevado consumo de água e o baixo aproveitamento dos insumos gerando efluentes com elevada carga orgânica, essa atividade tornou-se um potencial poluidor do meio ambiente (KARTHIKEYAN et al., 2017).

Efeitos deletérios causados pelas moléculas orgânicas dos corantes e seus insumos como gomas sintéticas, sais e tenso-ativos, provocam poluição visual, alterações em ciclos biológicos afetando principalmente processos de fotossíntese, diminuição da transparência da água, penetração da radiação solar e conseqüentemente a solubilidade dos gases. Sua descarga nos corpos d'água potencializa os riscos à saúde das pessoas, os quais estão associados à entrada de componentes tóxicos nas cadeias alimentares de animais e seres humanos, podendo ser carcinogênicos e/ou mutagênicos (KUMAR et al., 2017).

Os processos convencionais de tratamento, em geral, não são capazes de degradar as estruturas moleculares complexas dos corantes, principalmente os corantes reativos, pois são bastante estáveis e difícil de serem biodegradados, podendo originar subprodutos nocivos a saúde humana e grandes quantidades de lodos contaminados. Devido a estas implicações ambientais, novas tecnologias têm sido buscadas para a degradação ou imobilização destes compostos, além da adequação perante a legislação para lançamento no corpo receptor e reciclagem da água na própria indústria.

Entre as tecnologias destaca-se a utilização da eletrocoagulação, consideradas atualmente uma alternativa promissora, ambientalmente benigna e inovadora para o tratamento dos efluentes têxteis (HOLKAR et al., 2016; DASGUPTA et al., 2015). A eletrocoagulação é uma tecnologia simples e efetiva para o tratamento e recuperação de efluentes, uma vez que oferece grandes vantagens devido a formação de flocos mais estáveis e melhor de serem removidos, apresentando efluente de elevada qualidade e com padrões mínimos exigidos pela lei (SILVA et al., 2015).

Assim, devido os efluentes têxteis apresentar corantes com consideráveis complexidades molecular, ampla classificação e grande parte de sua composição química ainda ser desconhecida, a remoção de cor em efluentes é atualmente classificada como relativamente mais importante do que a remoção de outros poluentes, incentivando pesquisadores a estudar novas tecnologias que sejam compatíveis com o ambiente, rentável e, ao mesmo tempo, atender em níveis admissíveis a concentração de cor perante a lei (DASGUPTA et al., 2015; MO et al., 2009). Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência do processo de eletrocoagulação na remoção de cor em efluentes têxteis sintéticos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos descritos nesta pesquisa foram desenvolvidos no Laboratório de Reuso de Águas (LaRA) juntamente com o Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) pertencentes ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A pesquisa consiste na avaliação da eficiência do processo de eletrocoagulação (EC) como alternativa no tratamento de efluente têxtil sintético.

O efluente têxtil sintético utilizado nos ensaios foi preparado de acordo com a metodologia de Mo et al. (2007), o qual, foi preparada 25% da concentração original proposta pelo autor, para menor formação de subprodutos gerados pela EC. A Tabela 1 apresenta a composição do efluente sintético, simulando o efluente tratado biologicamente, com corantes reativos de um processo industrial.

Tabela 1-Composição do efluente têxtil sintético

| Composição | Concentração (g/L) |
|-----------------------------------|--------------------|
| <i>Levafix Brilliant Red E4BA</i> | 0,020 |
| <i>Levafix Golden Yellow E-6</i> | 0,020 |
| NaCl | 2,000 |
| Álcool Polivinílico | 0,125 |
| Na ₂ SO ₄ | 0,188 |

Fonte: Adaptado de Mo et al. (2007)

As concentrações dos corantes foram determinadas para não haver saturação no Espectro de Absorção UV/Vis, onde serão realizadas as leituras para obtenção da cor. Já a concentração de NaCl baseou-se na quantidade média encontrada no efluente têxtil industrial. Os reagentes citados na Tabela 1, depois de pesados foram introduzidos em um balão volumétrico e misturados com água ultrapura, até completar 1000 mL.

Na realização do experimento, foi utilizado um reator de eletrocoagulação de bancada, com volume útil de 1000 mL, constituído por um béquer de vidro como célula eletroquímica. O reator foi equipado com dois pares de eletrodos constituídos em placas planas de alumínio (ânodo e cátodo), no formato retangular, com dimensões de 16 cm x 0,5 cm x 0,2 cm. A densidade de corrente aplicada é de corrente contínua e controlada através de uma fonte de alimentação digital ajustável, modelo PS - 1001, com variação de tensão de 0-30 V e de corrente de 0-10 A. O conjunto de eletrodos foi inserido verticalmente no reator, ficando parcialmente imerso na solução, obtendo como área efetiva aproximadamente 0,6435 m² e arranjado dentro da célula eletrolítica de modo monopolar paralelo. A esquematização do reator de eletrocoagulação é apresentada na Figura 1.

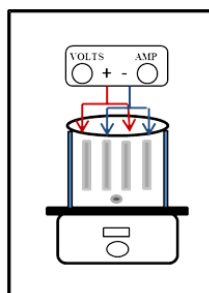


Figura 1: Representação esquemática do reator de eletrocoagulação monopolar paralelo.

Fonte: o autor.

O reator apresenta ainda um sistema de agitação que promove a homogeneidade do efluente durante o tempo de eletrólise, fazendo com que ocorra o aumento e/ou controle do movimento Browniano do sistema aquoso, contribuindo para a formação de flocos através do contato partícula - agente coagulante (THEODORO, 2010). Com base em estudos (KOBYA et al., 2003; AOUDJ et al., 2010; CAN et al., 2006) a velocidade de agitação foi fixada em 200 rpm, desligando a agitação após cessar a aplicação da corrente. Os ensaios de eletrocoagulação tiveram duração de 30 minutos e a cada 15 minutos amostras foram coletas para monitoramento do processo.

Devido à ampla faixa de variabilidade de pH e intensidade da corrente (0,6- 200A) encontrada na literatura, essas variáveis foram preliminarmente testadas, de modo a definir os níveis máximos e mínimos destes parâmetros, na procura de seus valores pseudo-ótimos para melhor desempenho do reator EC na remoção dos poluentes, obtendo assim, a melhor resposta.

De modo a obter melhor estimativa de operação do reator de eletrocoagulação, foi analisado quatro variáveis do processo, sendo eles: conexão, pH inicial da solução, intensidade de corrente e tempo. Enquanto duas variáveis de respostas foram consideradas: a redução de cor e compostos aromáticos. Seguindo a metodologia descrita por Montgomery (2008), e visando à obtenção das condições ótimas do processo de eletrocoagulação; a coleta de dados advinda dos experimentos de EC foi feita seguindo um planejamento experimental completo (PEC) 2⁴ em triplicata, de modo a garantir a melhor representatividade do funcionamento do sistema de tratamento e de suas respostas a serem modeladas.

Conforme apresentado na Tabela 2, os quatro parâmetros operacionais no reator de EC (conexão (q1), pH inicial da solução (q2), intensidade de corrente (q3) e tempo (q4)), foram variados em níveis (- e +). A escolha dos níveis dos parâmetros operacionais do reator (POR) foi com base em diferentes autores e por meio de respostas obtidas em testes preliminares.

Tabela 2- Variáveis utilizadas no planejamento para obtenção das condições ótimas do reator EC

| Variáveis | Coeficiente | Níveis | |
|-----------------------------|-------------|-----------|---------|
| | | (-) | (+) |
| Conexão | q1 | Monopolar | Bipolar |
| pH inicial da solução | q2 | 3 | 6 |
| Intensidade de corrente (A) | q3 | 100 | 200 |
| Tempo (min) | q4 | 15 | 30 |

Os 48 experimentos foram realizados no reator eletroquímico com o efluente sintético, aleatoriamente, visando minimização de erros. E as amostras foram analisadas no *software Statistica® (Statsoft, Inc.)* pela análise de variância (ANOVA), para a validação do modelo, por meio do teste F.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Serão apresentados a seguir, os resultados do planejamento experimental completo pela metodologia de superfície de resposta, onde o processo de eletrocoagulação foi avaliado sob diferentes condições operacionais do reator em escala de bancada, tendo como resposta à remoção de cor e compostos aromáticos.

METODOLOGIA DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA O REATOR ELETROQUÍMICO

A partir das respostas obtidas por meio do planejamento experimental completo 2^4 frente ao processo de eletrocoagulação, podem-se evidenciar as reduções nas concentrações de cor, bem como nas concentrações de compostos aromáticos. As análises foram feitas em triplicata e as médias dos resultados e interações entre os níveis das variáveis, são apresentados na Tabela 3. O rendimento de remoção da cor variou aproximadamente entre 30% e 85%, enquanto o da remoção dos compostos aromáticos variou entre 22% e 54%.

Tabela 3- Valores médios das variáveis de resposta remoção de cor e compostos aromáticos para os 48 experimentos conforme o PEC proposto

| (q1) | (q2) | (q3) | (q4) | % Redução Cor | % Redução Comp. Arom. |
|------|------|------|------|---------------|-----------------------|
| Mono | 3 | 100 | 15 | 30% | 50% |
| Bipo | 3 | 100 | 15 | 48% | 39% |
| Mono | 6 | 100 | 15 | 46% | 41% |
| Bipo | 6 | 100 | 15 | 38% | 28% |
| Mono | 3 | 200 | 15 | 53% | 43% |
| Bipo | 3 | 200 | 15 | 43% | 24% |
| Mono | 6 | 200 | 15 | 28% | 30% |
| Bipo | 6 | 200 | 15 | 27% | 22% |
| Mono | 3 | 100 | 30 | 49% | 46% |
| Bipo | 3 | 100 | 30 | 63% | 24% |
| Mono | 6 | 100 | 30 | 68% | 49% |
| Bipo | 6 | 100 | 30 | 60% | 31% |
| Mono | 3 | 200 | 30 | 85% | 48% |
| Bipo | 3 | 200 | 30 | 70% | 33% |
| Mono | 6 | 200 | 30 | 45% | 23% |
| Bipo | 6 | 200 | 30 | 47% | 26% |
| Mono | 3 | 100 | 15 | 45% | 39% |
| Bipo | 3 | 100 | 15 | 30% | 35% |
| Mono | 6 | 100 | 15 | 40% | 24% |
| Bipo | 6 | 100 | 15 | 25% | 33% |
| Mono | 3 | 200 | 15 | 40% | 36% |
| Bipo | 3 | 200 | 15 | 37% | 34% |
| Mono | 6 | 200 | 15 | 50% | 32% |
| Bipo | 6 | 200 | 15 | 47% | 32% |
| Mono | 3 | 100 | 30 | 56% | 44% |
| Bipo | 3 | 100 | 30 | 49% | 39% |
| Mono | 6 | 100 | 30 | 48% | 25% |
| Bipo | 6 | 100 | 30 | 38% | 32% |
| Mono | 3 | 200 | 30 | 59% | 37% |
| Bipo | 3 | 200 | 30 | 45% | 41% |
| Mono | 6 | 200 | 30 | 78% | 40% |
| Bipo | 6 | 200 | 30 | 59% | 34% |
| Mono | 3 | 100 | 15 | 50% | 35% |
| Bipo | 3 | 100 | 15 | 35% | 35% |
| Mono | 6 | 100 | 15 | 44% | 40% |
| Bipo | 6 | 100 | 15 | 34% | 34% |
| Mono | 3 | 200 | 15 | 59% | 38% |
| Bipo | 3 | 200 | 15 | 44% | 35% |
| Mono | 6 | 200 | 15 | 53% | 40% |
| Bipo | 6 | 200 | 15 | 44% | 32% |
| Mono | 3 | 100 | 30 | 69% | 34% |
| Bipo | 3 | 100 | 30 | 55% | 42% |
| Mono | 6 | 100 | 30 | 63% | 41% |
| Bipo | 6 | 100 | 30 | 54% | 38% |
| Mono | 3 | 200 | 30 | 85% | 54% |
| Bipo | 3 | 200 | 30 | 65% | 41% |
| Mono | 6 | 200 | 30 | 84% | 43% |
| Bipo | 6 | 200 | 30 | 64% | 32% |

(q1): conexão; (q2): pH; (q3): Intensidade da Corrente; (q4): tempo (minutos)

De acordo com os resultados das variáveis de resposta referente à Tabela 3, a Figura 2 e a Figura 3, apresentam o comportamento da remoção de cor e de compostos aromáticos ao longo do tempo, respectivamente, conforme o PEC proposto no trabalho.

Figura 2- Valores médios das variáveis de resposta remoção de cor conforme o PEC proposto

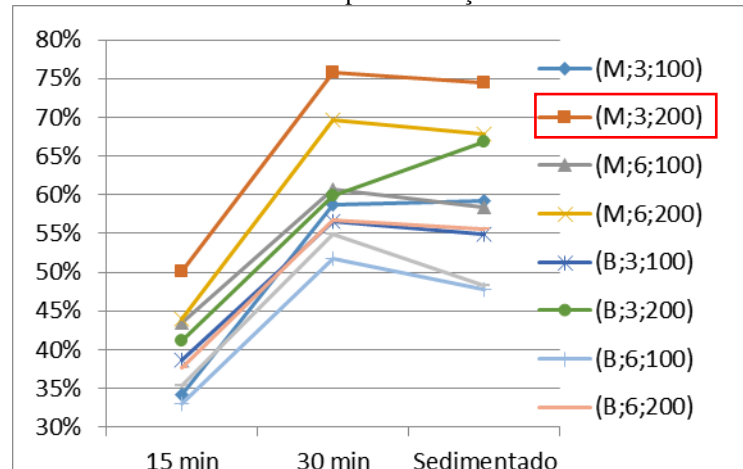
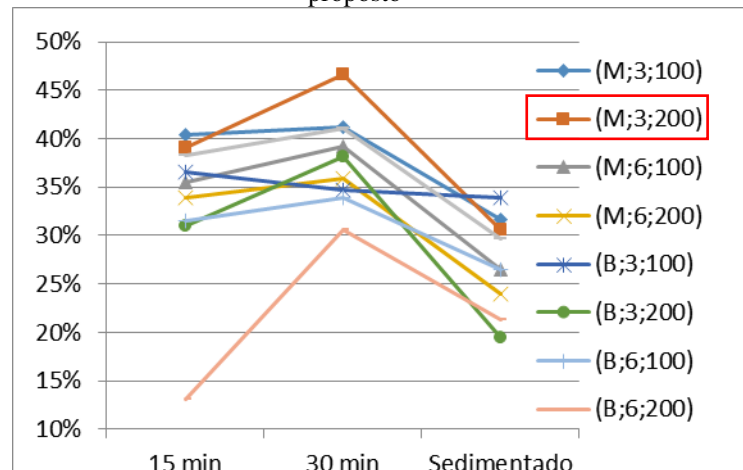


Figura 3- Valores médios das variáveis de resposta remoção de compostos aromáticos conforme o PEC proposto



Verifica-se nas Figuras 2 e 3 que de maneira geral, as variáveis apresentaram comportamento semelhante em todos os ensaios. O tempo de melhor remoção tanto para cor quanto para compostos aromáticos foi de 30 minutos, não havendo necessidade da sedimentação do efluente. É possível observar também, que a melhor resposta de remoção foi para conexão monopolar, pH 3 e intensidade de corrente 200 A, obtendo aproximadamente 75% de remoção para cor e 45% para compostos aromáticos.

ANÁLISES ESTATÍSTICAS PARA REMOÇÃO DE COR E COMPOSTOS AROMÁTICOS

A partir dos dados de remoção na concentração de cor e compostos aromáticos, obtidos pelo espectrofotômetro, podem-se desenvolver gráficos e análises estatísticas das variáveis de resposta (redução de cor e compostos aromáticos), fornecendo o grau de significância (representatividade estatística) de cada coeficiente proposto no processo de EC.

Os gráficos de Pareto, Figura 4 e Figura 5, apresentam a influência significativa dos fatores e suas interações, para a remoção da concentração de cor e compostos aromáticos, respectivamente, considerando apenas os efeitos estatisticamente significativos (p -valor $<0,05$).

Figura 4- Gráfico de Pareto para remoção de cor

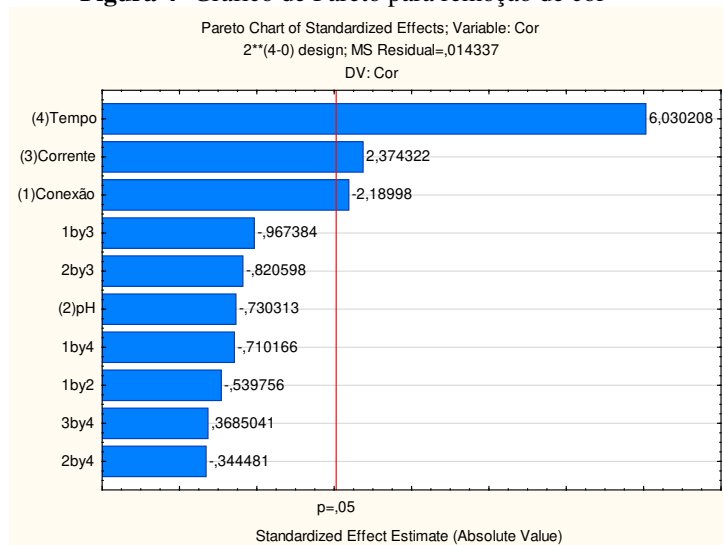
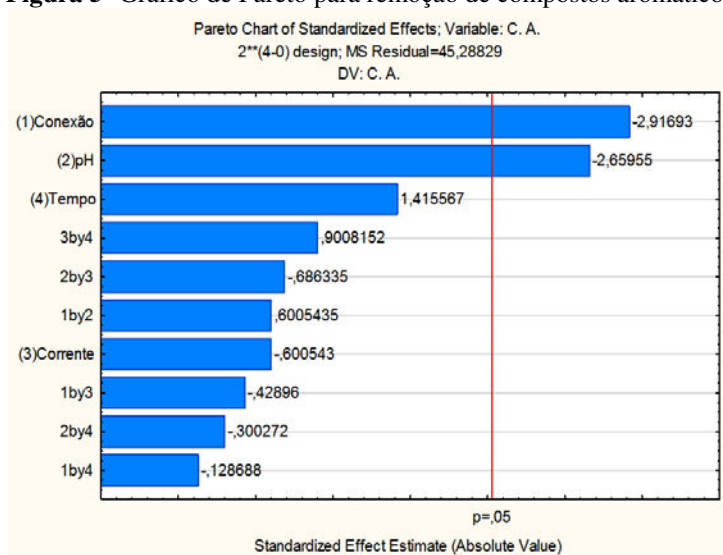


Figura 5- Gráfico de Pareto para remoção de compostos aromáticos



Para a remoção de cor, verifica-se que as maiores influências sobre o processo advém das variáveis tempo, intensidade de corrente e conexão, sendo que as interações entre elas e a variável pH, não influenciam significativamente o processo. Já para a remoção dos compostos aromáticos, as variáveis que influenciam o processo consiste na conexão e no pH, não advindo influência das variáveis tempo, intensidade de corrente e qualquer interações entre elas.

Observa-se também pelos gráficos de Pareto que para ambas as respostas de remoção, apenas a variável conexão foi significativa, corroborando com os resultados encontrados por Bayramoglu et al. (2007) e Kobya et al. (2011), em que, a variável conexão influencia significativamente a relação custo-eficiência na remoção de poluentes, obtendo como melhor resposta a conexão monopolar em paralelo.

Os resultados obtidos com a análise de variância ANOVA para o percentual de remoção de cor, estão dispostos na Tabela 4. Esta análise apresenta o maior efeito sobre a eletrocoagulação o fator tempo (q4), seguido pela intensidade de corrente (q3) e conexão (q1), uma vez que obtiveram os maiores valores de variância. No entanto, não obteve efeito sobre o processo o fator pH (q2) e as interações entre os fatores (q1:q2; q1:q3; q1:q4; q2:q3; q2:q4 e q3:q4).

Tabela 4- Valores obtidos no teste da ANOVA para validação do modelo de remoção de cor

| Fator | SQ | gL | QM | F | P |
|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| q1 | 697,69 | 1 | 697,687 | 4,91210 | 0,032899 |
| q2 | 67,69 | 1 | 67,687 | 0,47656 | 0,494294 |
| q3 | 808,52 | 1 | 808,521 | 5,69243 | 0,022269 |
| q4 | 5187,52 | 1 | 5187,521 | 36,52300 | 0,000001 |
| q1:q2 | 42,19 | 1 | 42,187 | 0,29702 | 0,589025 |
| q1:q3 | 130,02 | 1 | 130,021 | 0,91542 | 0,344891 |
| q1:q4 | 67,69 | 1 | 67,687 | 0,47656 | 0,494294 |
| q2:q3 | 99,19 | 1 | 99,187 | 0,69833 | 0,408708 |
| q2:q4 | 15,19 | 1 | 15,188 | 0,10693 | 0,745511 |
| q3:q4 | 20,02 | 1 | 20,021 | 0,14096 | 0,709475 |
| Erro | 5255,27 | 37 | 142,034 | | |
| Total | 12390,98 | 47 | | | |

SQ- Soma dos Quadrados; GL- Graus de Liberdade; QM- Quadrados Médios

Estudo realizado por Mollah et al. (2010) também obtiveram melhor eficiência de remoção de cor para intensidade de corrente maiores de 200 A e tempos maiores que 35 min. De acordo com Daneshvar et al. (2006) a intensidade da corrente afeta a eficiência de remoção do poluente, assim como o consumo final das células eletrolíticas e a concentração dos íons de hidroxila e alumínio produzidos no processo. Quanto maior a intensidade da corrente e maior o tempo, melhor será a eficiência de remoção, a concentração de íons produzidos e o desgaste das células.

Para o percentual de remoção de compostos aromáticos, disposto na Tabela 5, observa-se como maiores valores de variância o fator conexão (q1), seguido pelo fator pH (q2), não obtendo efeito sobre o processo o fator intensidade de corrente (q3), tempo (q4) e suas interações (q1:q2; q1:q3; q1:q4; q2:q3; q2:q4 e q3:q4). Em ambos os testes da ANOVA as análises apresentaram um nível de significância de 95%.

Tabela 5- Valores obtidos no teste da ANOVA para validação do modelo de remoção de compostos aromáticos

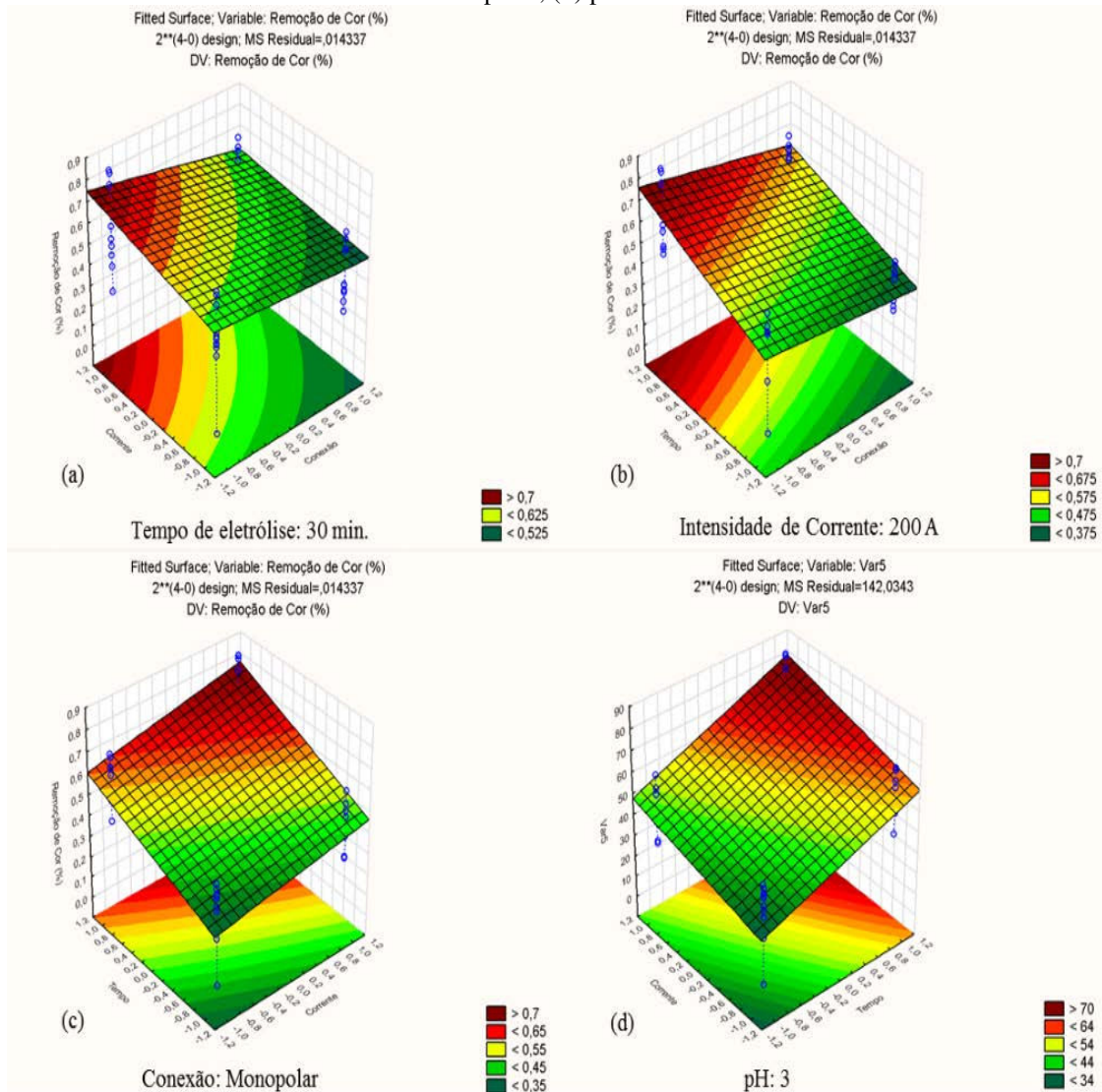
| Fator | SQ | gL | QM | F | P |
|-------|----------|----|----------|----------|----------|
| q1 | 385,333 | 1 | 385,3333 | 8,508454 | 0,005977 |
| q2 | 320,333 | 1 | 320,3333 | 7,073205 | 0,011496 |
| q3 | 16,333 | 1 | 16,3333 | 0,360652 | 0,551805 |
| q4 | 90,750 | 1 | 90,7500 | 2,003829 | 0,165265 |
| q1:q2 | 16,333 | 1 | 16,3333 | 0,360652 | 0,551805 |
| q1:q3 | 8,333 | 1 | 8,3333 | 0,184006 | 0,670440 |
| q1:q4 | 0,750 | 1 | 0,7500 | 0,016561 | 0,898302 |
| q2:q3 | 21,333 | 1 | 21,3333 | 0,471056 | 0,496780 |
| q2:q4 | 4,083 | 1 | 4,0833 | 0,090163 | 0,765651 |
| q3:q4 | 36,750 | 1 | 36,7500 | 0,811468 | 0,373513 |
| Erro | 1675,667 | 37 | 45,2883 | | |
| Total | 2576,000 | 47 | | | |

SQ- Soma dos Quadrados; GL- Graus de Liberdade; QM- Quadrados Médios

Segundo Merzouk, Madani e Sekki (2010) o pH é uma das variáveis mais importantes para o processo da eletrocoagulação, pois o seu efeito pode influenciar a formação dos flocos e conseqüentemente a remoção dos poluentes. Em pH baixos, ou seja < 6, as espécies monoméricas catiônicas Al^{3+} e $Al(OH)^{2+}$ predominam, porém durante a eletrólise o pH aumenta devido a liberação de $H_{2(g)}$ no cátodo e a formação de íons $(OH^-)_{(aq)}$ no ânion, diminuindo a eficiência de remoção devido a formação de complexos alumínio solúveis $[Al(OH)_4^-]$. Desta forma, o valor encontrado na Tabela ANOVA (Tabela 5) para a remoção de compostos aromáticos, demonstra que o pH apresenta efeito significativo no processo, obtendo como melhor eficiência pH ácido.

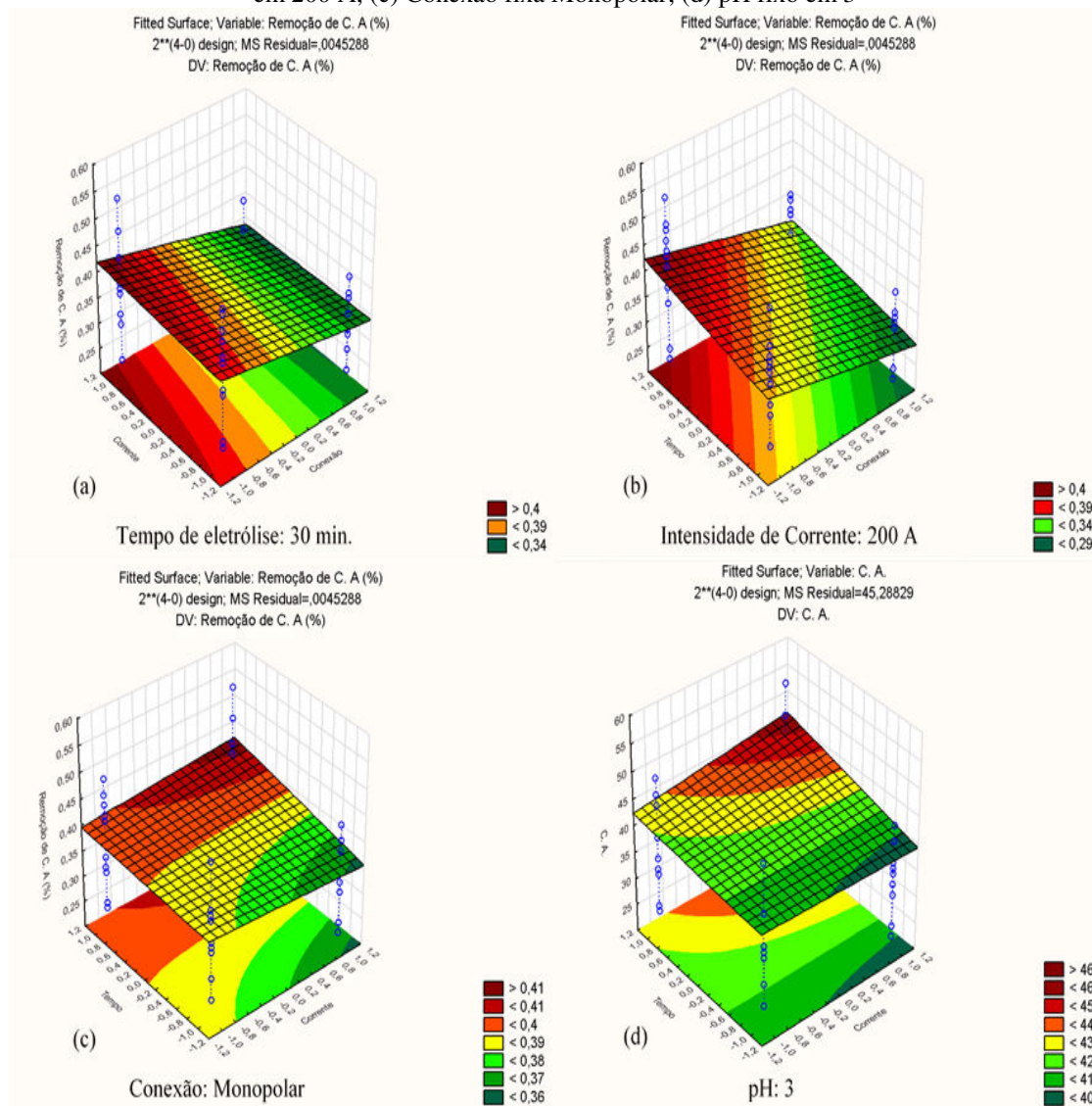
O gráfico de superfícies de resposta, em 3-D, da remoção de cor e compostos aromáticos estão apresentadas na Figura 6 e na Figura 7, respectivamente. Nota-se que na Figura 6 (a) e na Figura 7 (a), o tempo de eletrólise foi fixado em 30 min., devido à máxima porcentagem de remoção de cor e compostos aromáticos indicados na Figura 2 e 3. O mesmo critério foi utilizado na Figura 6 (b) e Figura 7 (b), apresentando como fator fixo a intensidade de corrente em 200 A, na Figura 6 (c) e Figura 7 (c) com a conexão fixada em Monopolar e na Figura 6 (d) e Figura 7 (d) pH fixado em 3.

Figura 6- Superfície de resposta dos resultados experimentais obtidos no planejamento fatorial para a remoção de cor: (a) Tempo de eletrólise fixo em 30 min; (b) Intensidade de corrente fixa em 200 A; (c) Conexão fixa em Monopolar; (d) pH fixo em 3



Nota-se na Figura 6 que o gráfico de superfície de resposta apresenta valores maiores que 70% de remoção de cor em níveis (+1) para os fatores tempo e intensidade de corrente e níveis (-1) para conexão. O mesmo ocorre com a remoção de compostos aromáticos, maior que 40%, conforme a Figura 7.

Figura 7- Superfície de respostas dos resultados experimentais obtidos no planejamento fatorial para a remoção de compostos aromáticos: (a) Tempo de eletrólise fixo em 30 min; (b) Intensidade de Corrente fixa em 200 A; (c) Conexão fixa Monopolar; (d) pH fixo em 3



Os gráficos de superfície de resposta corroboram os gráficos da Figura 2 e 3 evidenciando que a melhor resposta para o planejamento encontrado foi conexão monopolar, pH 3, intensidade de corrente 200 A e tempo 30 min.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

As variáveis de operação que obtiveram as melhores eficiências de remoção de cor e compostos aromáticos, foram conexão monopolar, pH 3, intensidade de corrente 200 A e tempo de 30 min, não havendo necessidade de sedimentação do lodo.

A utilização do processo da eletrocoagulação melhorou as características do efluente têxtil sintético quanto a remoção da cor e compostos aromáticos, confirmando assim, ser uma tecnologia bastante promissora na área de tratamento de efluentes industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AOUDJ, S., KHELIFA, A., DROUCHE, N., HECINI, M., HAMITOUICHE, H. Electrocoagulation process applied to wastewater containing dyes from textile industry. *Chemical Engineering and Processing*, n. 49, p. 1176-1182, 2010.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E CONFECÇÃO (ABIT). *Agenda de Prioridades Têxtil e Confecção - 2015/2018*. São Paulo. ABIT, 2015.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E CONFECÇÃO (ABIT). *Indústria têxtil e de confecção brasileira* São Paulo. ABIT, 2014.
4. BAYRAMOGLU, M; EYVAZ, M; KOBYA, M. Treatment of the textile wastewater by electrocoagulation: Economical evaluation. *Chemical Engineering Journal*, v. 128, p. 155–161, 2007.
5. CAN, O.T., KOBYA, M., DEMIRBAS, E., BAYRAMOGLU, M. Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation. *Chemosphere*, v. 62, p.181–187, 2006.
6. DASGUPTA, S; SIKDER, J; CHAKRABORTY, S; CURCIO, S; DRIOLI, E. Remediation of textile effluents by membrane based treatment techniques: A state of the art review. *Journal of Environmental Management*, v. 147, p. 55-72, 2015.
7. DANESHVAR, N; KHATAEE, A. R; AMANI GHADIM, A. R; RASOULIFARD, M. H. Decolorization of C.I. Acid Yellow 23 solution by electrocoagulation process: Investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC). *Journal of Hazardous Materials*, v. 148, p.566–572, 2007. KOBYA, M., CAN, O., BAYRAMOGLU, M. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, p. 163–178, 2003.
8. HOLKAR, C. R; JADHAV, A. J; PINJARI, D. V; MAHAMUNI, N; PANDIT, A. B; A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. *Journal of Environmental Management*, v. 182, p. 351-366, 2016.
9. KARTHIKEYAN, N; SIVARANJANI, T; DHANAVEL, S; GUPTA, VK; NARAYANAN, V; STEPHEN, A. Visible light degradation of textile effluent by electrodeposited multiphase CuInSe₂ semiconductor photocatalysts. *Journal of Molecular Liquids*, v. 227, p. 194-201, 20017.
10. KOBYA, M; BAYRAMOGLU, M; EYVAZ, M. Techno-economical evaluation of electrocoagulation for the textile wastewater using different electrode connections. *Journal of Hazardous Materials*. v. 148, p.311–318, 2007.
11. KUMAR, M. A; VIGNESHWARAN, G; PRIYA, M. E; SEENUVASAN, M; KUMAR, V. V; ANURADHA, D; SIVANESAN, S. Concocted bacterial consortium for the detoxification and mineralization of azoic-cum-sulfonic textile mill effluente. *Journal of Water Process Engineering*, v. 16, p. 199-205, 2017.
12. MERZOUK, B; GOURICH, B; SEKKI, A; MADANI, K. M. Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation–electroflotation technique: A case study. *Journal Hazardous Materials*, v.164, p.215–222, 2009.
13. MO, J; HWANG, J. E; JEGAL, J; KIM, J. Pretreatment of a dyeing wastewater using chemical coagulants. *Dyes and Pigments*, v. 72, p. 240-245, 2007.
14. MONTGOMERY, D. C. *Design and analysis of experiments*. 7. ed. New York: Wiley, p.656, 2008.
15. 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*, v.114, p.199-210, 2010.
16. SILVA, J. R. P; MERÇON, F; SILVA, L. F; CERQUIRA, A.A; XIMANGO, P. B; MARQUES, M. R. C. Evaluation of electrocoagulation as pre-treatment of oil emulsions, followed by reverse osmosis. *Journal of Water Process Engineering*, v. 8, p. 126-135, 2015.
17. THEODORO, P. S. *Utilização da eletrocoagulação no tratamento de efluentes da indústria galvânica*. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Toledo, 2010.