



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO PARA ESGOTO PÓS TRATADO

### Jeferson Steffanello Piccin

Professor e Pesquisador da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo (UPF)  
jefersonpiccin@upf.br

### Marcelo Hemkemeier

Professor e Pesquisador da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo (UPF)  
marceloh@upf.br

### Janaína Terhorst Pizutti

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGENG-UPF)  
janapizutti@hotmail.com

### Rita de Cássia dos Santos

Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental (UPF)  
rita\_de\_cassia.85@hotmail.com

**Resumo.** Este estudo objetivou verificar o comportamento do efluente característico urbano oriundo da saída de um reator anaeróbio (UASB) diante ao tratamento por eletrocoagulação (EC). Para tanto, avaliou-se a influência do pH e da densidade de corrente em relação a remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e ao consumo de energia (CE). Os resultados apontaram remoções em condição ideal (otimizada) de 44,58% e um consumo energético de kWh/Kg em pH igual a 6 e intensidade de corrente 30A/m<sup>2</sup>.

**Palavras-chave:** Eletrólise. Reator UASB. Tratamento avançado.

## 1. INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes com foco no reúso tem grande potencialidade relacionada ao setor urbano por alicerçar-se a ótica do desenvolvimento sustentável e tecnológico, por evitar a retomada de parte do efluente ao tratamento em ETE's e instigar o desenvolvimento e efetivação de tecnologias de tratamento não convencionais, respectivamente.

Condizentes a essas tecnologias, destaca-se o polimento de efluentes por eletrocoagulação. Essa técnica introduz uma alternativa que atua na redução da toxicidade de efluentes através da transformação de substâncias persistentes em substâncias biodegradáveis (MOUSSA, 2017[1]). Há geração de coagulante *insitu* e sem acréscimo de aditivos químicos, isso porque, a degradação dos eletrodos geram continuamente Al(OH)<sub>3</sub>, o próprio coagulante (BASSYOUNI, 2017 [2]).

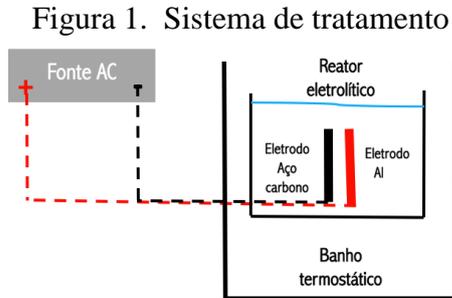
O objetivo deste estudo foi avaliar e otimizar o processo de eletrocoagulação frente à eficiência na remoção DQO ao consumo de energia requerido.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A coleta do efluente foi realizada na saída do reator UASB da ETE – UPF, localizada na cidade de Passo Fundo – RS, a qual integra processos físicos e biológicos. O efluente na saída do reator UASB foi caracterizado com DQO média de 63,02 mg/L e turbidez equivalente a 69 NTU.

O efluente foi submetido ao tratamento de eletrocoagulação em batelada em um

reator contendo ânodos de alumínio com área de 61,29 cm<sup>2</sup> e cátodos de aço-carbono Figura (1). O controle de densidade de corrente e da tensão foram realizados através de uma fonte de corrente contínua (Dawer/FSCC 5002D) e a temperatura através de banho termostático.



As variáveis avaliadas no processo foram a densidade de corrente (D.C - X<sub>1</sub>) e o pH (X<sub>2</sub>), definidas de acordo com ensaios preliminares para os níveis apresentados na Tabela 1. Os experimentos foram delineados através de um planejamento composto central rotacional (DCCR), sendo avaliada a remoção de DQO (%) e o consumo de energia (kW/h) para o tratamento, conforme as Equações 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Níveis das variáveis para otimização do tratamento

Níveis	D.C (A/m <sup>2</sup> )	pH
(-)α	14,4	3,2
-1	20	4
0	30	6
1	40	8
(+)α	43,2	8,8

$$m = \frac{RDQO_i - RDQO_f \times 100}{RDQO_i} \quad (1)$$

$$E = \frac{i \times v \times t}{DQO_{bruto} - DQO_{tratada}} \quad (2)$$

Os resultados foram submetidos a análise de variância, sendo avaliados os efeitos lineares, quadráticos e de interação entre as variáveis. Ainda, foram obtidos parâmetros de regressão do modelo

apresentado na Equação 3, correlacionado este aos dados experimentais.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i < j}}^k \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \varepsilon \quad (3)$$

sendo, y a resposta, β os coeficientes de regressão e ε o erro do modelo.

#### 4. RESULTADOS

A Tabela 2 representa a matriz do DCCR e os resultados obtidos para a remoção de DQO e o consumo de energia nos experimentos quando variados os fatores pH e densidade de corrente, os quais foram obtidos de modo aleatório e não na ordem apresentada.

Tabela 2. Matriz do DCCR e resultados remoção de DQO e consumo de energia.

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	DQO	Energia
-1,00	-1,00	26,11	18,23
-1,00	-1,00	23,15	20,56
-1,00	-1,00	23,89	19,92
1,00	-1,00	26,85	52,98
1,00	-1,00	24,63	57,75
-1,00	1,00	26,85	23,41
-1,00	1,00	25,37	22,64
1,00	1,00	51,23	18,74
1,00	1,00	45,32	19,84
0,00	0,00	43,84	29,20
0,00	0,00	45,32	33,01
-1,41	0,00	22,60	11,23
1,41	0,00	36,17	55,91
0,00	-1,41	28,93	30,05
0,00	1,41	20,80	46,82
-1,41	0,00	22,60	11,23
1,41	0,00	37,97	53,25
0,00	-1,41	36,17	24,04
0,00	1,41	22,60	43,07

X<sub>1</sub>: J (A.m<sup>-2</sup>); X<sub>2</sub>: pH.

Observa-se que a maior remoção de DQO (51,23%) foi obtida no experimento que se empregou densidade de corrente de 40 A.m<sup>-2</sup>, pH 8,0 e o menor consumo de energia (11,23 kWh/kg) foi obtido nos pontos axiais com pH 6,0 e densidade de

corrente igual  $14,4 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$ , contanto nesse caso obteve-se remoções baixas (22,60%).

Makwana e Ahammed (2016) [3] investigaram a eletrocoagulação como pós-tratamento de efluentes urbanos tratados por UASB e obtiveram em seus experimentos remoções de até 32,74% de DQO com efluente inicial em torno de quatro vezes maior (274 mg/L) em relação a DQO inicial deste estudo (60mg/L).

No estudo de Orkun and Kuleyin. (2012) [4] obteve-se uma remoção ótima de DQO (65,85%) com condições de operação em pH inicial (6,54) mas com densidade de corrente bem superior ( $300 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$ ) as empregadas nestes experimentos ( $30 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Os autores atingiram consumos de energia durante a eletrólise de 11,092 kWh/kg DQO, semelhante a quando se utilizou pH 6 e correntes mais baixas nesse estudo (11,23kWh/Kg DQO).

Testes de variância foram realizados a fim de verificar a diferença significativa entre os tratamentos testados a partir dos dados obtidos apresentados na Tabela 2. A Figura 2 e na Figura 3 apresentam os gráficos de Pareto obtidos a partir das ANOVAs para remoção de DQO e para o consumo de energia.

Os gráficos de Pareto mostram que para remoção de DQO teve-se os fatores densidade de corrente linear, densidade de corrente quadrática, pH quadrático e também a interação entre a densidade de corrente linear e o pH linear como significativos, indicando que intensidades de correntes (efeito positivo) maiores favorecem a remoção de DQO. Já para a energia consumida os fatores densidade de corrente linear e interação entre a densidade de corrente linear e o pH linear mostraram significância no teste, evidenciando que o aumento da intensidade de corrente aumenta o custo do tratamento.

A partir das análises de variância foram retirados do modelo os efeitos não significativos, com probabilidade do erro tipo I superiores, sendo a qualidade do ajuste

através do coeficiente de determinação convencional ( $R^2$ ) e ajustado ( $R^2_{\text{ajust}}$ ).

Figura 2. Gráfico de Pareto para a remoção de DQO

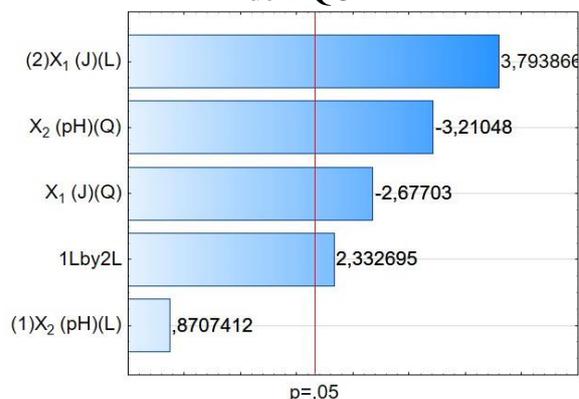
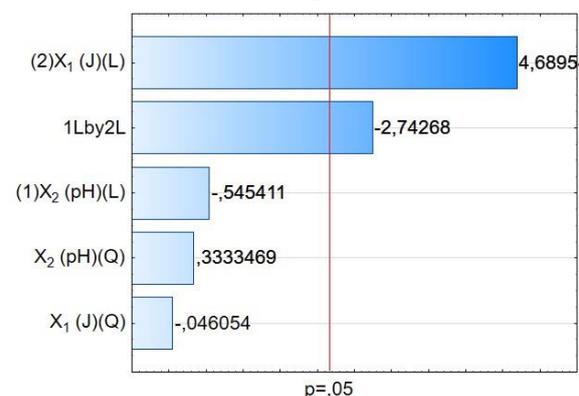


Figura 3. Gráfico de Pareto para consumo de energia



As superfícies de resposta para remoção de DQO e para o consumo de energia, geradas a partir do modelo ajustado estão representadas pelas Figura 4 e Figura 5. A partir delas, pôde-se verificar um ponto de ótimo na região experimental, para a remoção de DQO, o que não é verificado para o consumo de energia.

Figura 4. Superfície de resposta para remoção de DQO

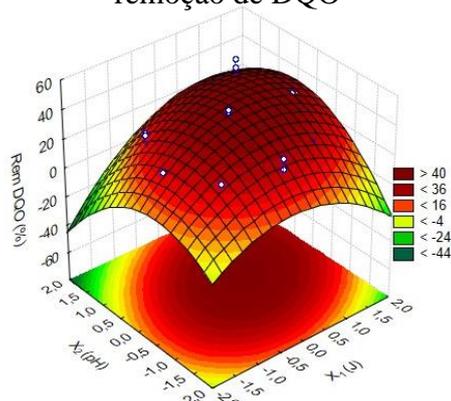
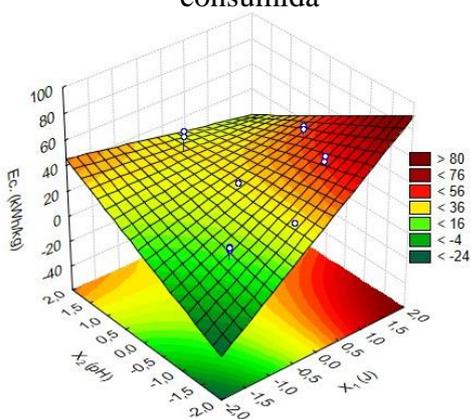
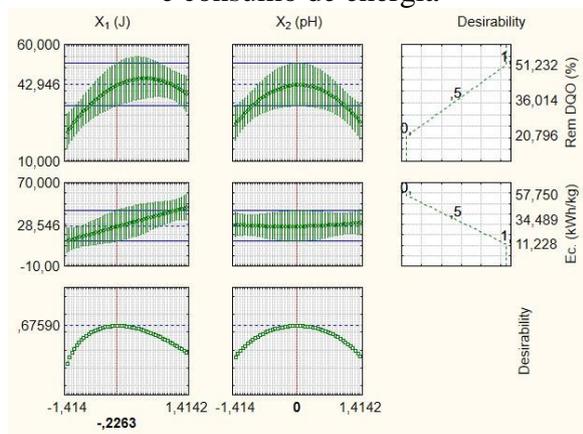


Figura 5. Superfície de resposta para energia consumida



Para a obtenção das condições de otimização em uma avaliação conjunta das respostas, utilizou-se a técnica de otimização multiresposta sugerida por Derringer e Suich (1980) [5], encontrando-se os valores das variáveis experimentais que maximizassem a desejabilidade global das respostas. A Figura 6 exibe o gráfico dos perfis dos valores otimizados, a função de desejabilidade e os valores otimizados das respostas estudadas.

Figura 6. Desejabilidade para remoção DQO e consumo de energia



A desejabilidade global foi igual a 0,6759 e os valores otimizados reais dos parâmetros avaliados estão representados na Tabela 4, correspondendo a DQO residual no efluente de 34,92 mg/L.

Tabela 2. Parâmetros investigados e seus respectivos valores otimizados

Parâmetro	Valores otimizados
pH	6

Parâmetro	Valores otimizados
D.C (A/m <sup>2</sup> )	29,44
Rem DQO (%)	44,58
CE (kWh/kg)	31,1

#### 4. REFERÊNCIAS

[1] D. T. MOUSSA et al. “A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges.” *Journal of environmental management*, v. 186, 2017, p. 24-41.

[2] D. G. BASSYOUNI, et al. Comparative performance of anodic oxidation and electrocoagulation as clean processes for electrocatalytic degradation of diazo dye Acid Brown 14 in aqueous medium. *Journal of Hazardous Materials*, v. 335, 2017, p. 178-187.

[3] A. R. MAKWANA and M.M. “Continuous electrocoagulation process for the post-treatment of anaerobically treated municipal wastewater.” *Process Safety and Environmental Protection*, v. 102, 2016, p. 724-733.

[4] M.O. ORKUN and A. KULEYIN. “Treatment Performance Evaluation of Chemical Oxygen Demand from Landfill Leachate by Electro-Coagulation and Electro-Fenton Technique.” *Environmental Progress & Sustainable Energy*, v.3, 2012, p.59-67.

[5] G. C. Derringer; R. Suich, “Simultaneous optimization of several responses variables.” *Journal of Quality Technology*, v. 12, 1980, p. 214-219.

#### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstra que a eletrocoagulação é um processo de tratamento de efluente que pode ser aplicado no pós-tratamento com eficácia para a remoção de DQO para fins de reúso.