



AVALIAÇÃO DE ÂNODOS DIMENSIONALMENTE ESTÁVEIS NO TRATAMENTO ELETROQUÍMICO DE CHORUME

L. C. PEPPINO NETO, D. C. FERREIRA², C. M. de CASTRO³, G. R. P. MALPASS

1,3-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro

2,4-Universidade Federal do Triângulo Mineiro

RESUMO – *O sistema de tratamento de efluentes industriais é um processo que exige adaptação às diferentes caracterizações químicas, portanto o presente trabalho refere-se à alternativa aos sistemas de tratamentos químico e biológico, a fim de avaliar a capacidade eletroquímica na oxidação da matéria orgânica em percolado de aterro industrial, chorume. Neste trabalho utilizou-se ânodos dimensionalmente estáveis (ADE) no processo de eletrólise, cujo eletrodo é composto por rutênio e titânio ($Ti/Ru_{0,3}Ti_{0,7}O_2$) com área de $1,68\text{ cm}^2$. A partir do planejamento e controle da capacidade (PCC), obteve-se o delineamento composto central rotacionado (DCCR), cujas variáveis independentes no processo de eletrólise foram densidade de corrente, tempo e concentração do eletrólito. Foi determinado o volume de 100 ml para o tratamento em batelada, cuja maior porcentagem de remoção de carbono orgânico total (COT) foi 15,40%, em um cenário de 158 mA/cm^2 , tempo de eletrólise 15 minutos e $0,2\text{ mol/L}$ do eletrólito NaCl.*

Palavras-chave: ânodo dimensionalmente estável (ADE), oxidação eletroquímica, tratamento de chorume.

ABSTRACT – *The industrial wastewater treatment is a process that demands adjustments to different chemical characterizations, therefore this paper refers to alternatives to chemical and biological treatment systems in order to assess the electrochemical capacity in the oxidization of organic matter in leachate from industrial landfills. In this study, we used dimensionally stable anodes (DSA) in the electrolysis process, whose electrode consists of ruthenium and titanium ($Ti/Ru_{0,3}Ti_{0,7}O_2$) with an area of 1.68 cm^2 . From of capacity planning and control (CPC), we obtained the rotational central composite design (RCCD), whose independent variables in the electrolysis process were current density, time and electrolyte concentration. The volume of 100 ml for treatment in a batch reactor was determined, being the highest percentage of total organic carbon (TOC) removal 15,40%, in a scenario of 158 mA/cm^2 , electrolysis time 15 minutes and $0,2\text{ mol/L}$ of the NaCl electrolyte.*

Keywords: dimensionally stable anode (DSA), electrochemical oxidization, leachate treatment.



1. INTRODUÇÃO

O chorume é o efluente líquido resultado do processo de decomposição de substâncias orgânicas em valas de aterros sanitário e industrial. Outra parte que compõe o lixiviado é infiltração de água pluvial, a qual influencia diretamente na concentração do chorume (PROSAB, 2009).

O percolado de aterros possui elevadas cargas orgânicas e o manejo inadequado do chorume pode torná-lo alto potencial poluidor do solo, águas superficiais e subterrânea (PROSAB, 2009).

As características físicas, químicas e biológicas do chorume variam de acordo com o tipo de resíduo aterrado, logo o efluente não apresenta composição definida, tornando os tratamentos biológico e químico complexos devido às variações químicas (VON SPERLING, 2011).

O presente trabalho, tem o propósito em analisar de maneira experimental um sistema de tratamento em escala de bancada, logo foi desenvolvido um estudo eletroquímico e analisou-se a eficiência da oxidação anódica, a fim de obter-se alternativa aos tratamentos convencionais para tratamento de chorume.

2. OXIDAÇÃO ELETROQUÍMICA

O tratamento de efluentes industriais é um desafio que tem ganhado destaque em diversos ambientes acadêmicos e observa-se o aumento nos estudos referente ao assunto, pois o desenvolvimento econômico juntamente com a industrialização, têm gerado diversos exemplos de passivos ambientais, como efluentes líquidos, gasosos; resíduos sólidos, entre outros (MANNARINO et. al., 2013).

Visto a necessidade em obter-se alternativas para tratar diferentes tipos de efluentes, o método eletroquímico tem-se destacado como crescente área de pesquisa devido suas vantagens, como produção de fortes oxidantes; não há restrição no pH; temperatura e pressão ambientes; eficaz degradação da matéria orgânica; inativação de microrganismos; utilizado em pré ou pós-tratamento em combinação de outras tecnologias; sistema compacto; facilidade na automação do sistema; versatilidade no tratamento de diferentes parâmetros com variações em suas concentrações (CASTRO, 2018).

A eletroquímica, como outros métodos, apresenta desvantagens em seu uso, tais quais: possibilidade em formar compostos halogenados; baixa condutividade dos efluentes; baixa vazão para tratamento; corrosão e incrustação dos eletrodos; ineficaz hidrodinâmica nos reatores; elevado gasto energético (CASTRO, 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo ocorreu entre os meses de outubro e novembro de 2019. Foi coletado efluente do aterro industrial, a fim de realizar análise eletroquímica da oxidação do carbono orgânico total (COT).



O material responsável pelo processo de oxidação anódica foi o ânodo dimensionalmente estável (ADE)-Cl₂ obtido pela empresa De Nora Elettrordi com área de 1,68 cm², cuja composição química é de rutênio e titânio, os quais são estáveis para a produção de Cl₂ ou processos de despendimento de oxigênio em baixas correntes (MALPRASS et. al., 2006).

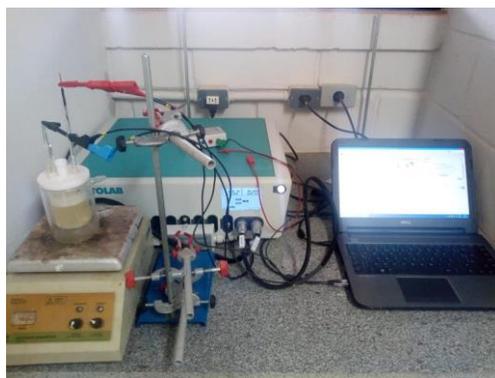
O sistema de tratamento ocorreu em batelada. Cada amostra conteve 100 ml, cuja diluição foi 80% água e 20% chorume. Foi necessário realizar a diluição devido à elevada carga orgânica.

Na solução, foi introduzido eletrodo de fio de platina como referência, além de eletrólito NaCl, o qual teve a finalidade em aumentar a condutividade elétrica no processo de eletrólise, pela diferença de potencial apresentado no meio de propagação. Foi utilizado diferentes concentrações deste eletrólito, o que caracteriza como significante variável independente, a fim de quantificar a concentração ideal para a oxidação do carbono orgânico total (CASTRO, 2018).

Utilizou-se como fonte geradora de energia, o potenciostato da marca Autolab modelo PGSTAT 30; este foi responsável em controlar a diferença de potencial entre o eletrodo de trabalho e o referencial. O potenciostato pode agir como catalisador ou inibidor das reações eletroquímicas. Durante o tratamento, a solução foi agitada constantemente (Figura 1).

A análise da remoção de carbono ocorreu a partir da leitura do decaimento de carbono orgânico total, pelo analisador TOC da marca Shimadzu Europa.

Figura 1 – Sistema de tratamento por oxidação eletroquímica, contendo célula de tratamento, potenciostato, agitador e notebook (controlador dos parâmetros tempo e intensidade de corrente pelo software NOVA)



Fonte: do autor, 2019

4. PLANEJAMENTO ESTATISTICO E EXPERIMENTAL

O estudo foi orientado a partir do plano e controle da capacidade, em que deu origem ao delineamento composto central rotacionado (DCCR) em dois níveis, com 2³ pontos fatoriais, 2x3 pontos axiais e três repetições no ponto central, o que gerou dezessete possíveis cenários, cujos parâmetros independentes são densidade de corrente, tempo de eletrólise e concentração de eletrólito.

O resultado dependente foi a eficiência de remoção do carbono orgânico total (COT) obtida em cada experimento. A Equação 1 representa a codificação de cada variável.



$$X_n = \frac{(X_{\text{real}} - X_{\text{m\u00e9dio}})}{\frac{\Delta X}{2}} \quad (1)$$

Em que X_n corresponde \u00e0 vari\u00e1vel codificada, x_{real} vari\u00e1vel real, $x_{\text{m\u00e9dio}}$ o ponto central de cada vari\u00e1vel, ΔX \u00e9 a varia\u00e7\u00e3o entre os n\u00edveis inferior e superior da vari\u00e1vel real. A an\u00e1lise estat\u00edstica foi realizada por meio do *software Estat\u00edstica 7.0* da *StatSoft*, e gerou dezessete condi\u00e7\u00f5es de contorno para as eletr\u00f3lises.

5. RESULTADOS E DISCUSS\u00c3O

O DCCR originou a matriz experimental, com valores reais e codificados presentes na Tabela 1. Na \u00faltima coluna da mesma, \u00e9 poss\u00edvel observar os resultados da efici\u00eancia de degrada\u00e7\u00e3o do carbono org\u00e2nico total (COT), ap\u00f3s as condi\u00e7\u00f5es de contornos pr\u00e9-estabelecidos em cada experimento.

Tabela 1 - Matriz experimental com os valores reais e codificados utilizados no DCCR, com limites inferiores, centrais e superiores

Experimentos	Densidade de Corrente (mA/cm ²)	Tempo (min)	Concentra\u00e7\u00e3o do eletr\u00f3lito (mol L ⁻¹)	% Degrada\u00e7\u00e3o
1	50 (-1)	3(-1)	0,1(-1)	5,16
2	150 (+1)	3 (-1)	0,1 (-1)	4,40
3	50 (-1)	27 (+1)	0,1 (-1)	4,82
4	150 (+1)	27 (+1)	0,1(-1)	7,45
5	50 (-1)	3 (-1)	0,3 (+1)	7,61
6	150 (+1)	3 (-1)	0,3 (+1)	5,92
7	50 (-1)	27 (+1)	0,3 (+1)	7,87
8	150 (+1)	27(+1)	0,3 (+1)	13,71
9	158 (+\u03b1)	15 (0)	0,2 (0)	15,40
10	42 (-\u03b1)	15 (0)	0,2 (0)	9,39
11	100 (0)	30 (+\u03b1)	0,2 (0)	11,59
12	100 (0)	1 (-\u03b1)	0,2 (0)	7,19
13	100 (0)	15 (0)	0,32 (+\u03b1)	15,23
14	100 (0)	15 (0)	0,084 (-\u03b1)	7,36
15	100 (0)	15 (0)	0,2 (0)	11,08
16	100 (0)	15 (0)	0,2 (0)	11,84
17	100 (0)	15 (0)	0,2 (0)	8,71

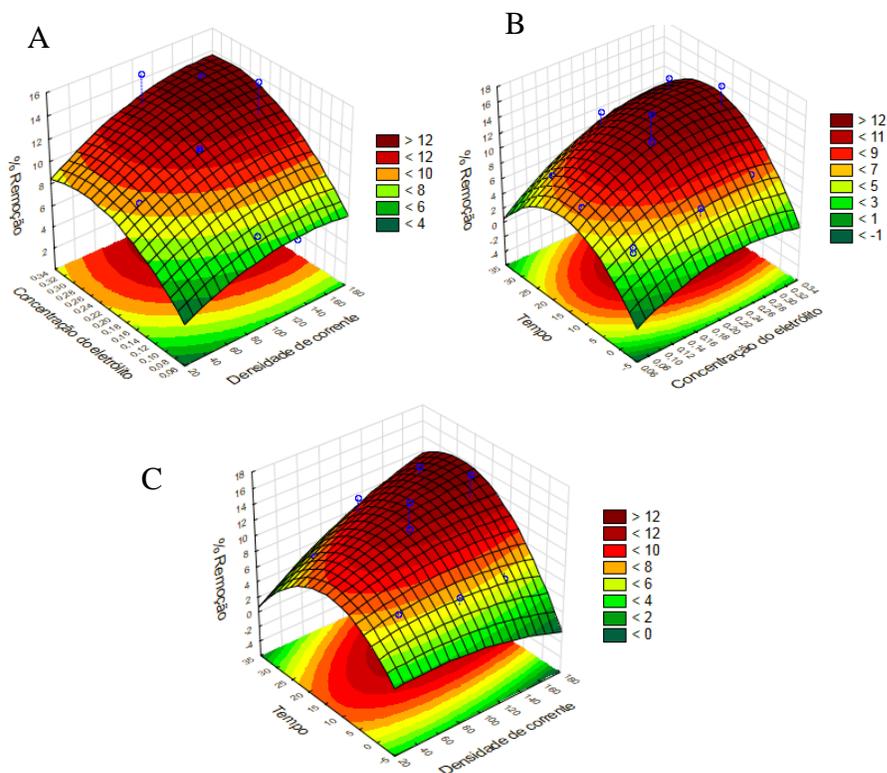
Fonte: do autor, 2019

\u00c9 poss\u00edvel observar na tabela acima, que a maior porcentagem de remo\u00e7\u00e3o de COT foi no Experimento 9, cujas condi\u00e7\u00f5es de contorno foram 158 mA/cm², 15 minutos de dura\u00e7\u00e3o da eletr\u00f3lise e concentra\u00e7\u00e3o de 0,2 mol/L de NaCl.



Os resultados observados geraram gráficos de superfícies de respostas, os quais simularam cenários a fim de obterem pontos ótimos para o experimento. Nas figuras 2a, 2b e 2c, é possível notar um cenário que tende a aproximar-se do mais eficaz.

Figura 2 – Superfície de resposta das variáveis independentes: concentração do eletrólito x densidade de corrente (A); tempo x concentração do eletrólito (B); tempo x densidade de corrente (C)



Fonte: do autor, 2019

Pode-se observar nas figuras acima, que os dados para construção da superfície de resposta foram subestimados, ou seja, os limites superiores do DCCR deveriam ser maiores, para que a superfície apresentasse uma forma geométrica que concentrasse a maior parte dos resultados próximo ao centro da superfície. A Tabela 2 confirma a suposição, pois apresenta valores críticos estimados pelo programa estatísticos, os quais apresentaria a maior eficiência na remoção de COT.

Tabela 2 – Condições de contorno estimado pelo programa estatístico para melhor eficiência na remoção de COT

Variáveis	Ponto crítico (não otimizado)
Densidade de corrente	280,37 mA/cm ²
Tempo	33,28 minutos
Concentração do eletrólito	0,36 mol L ⁻¹

Fonte: do autor, 2019



O programa estatístico gerou a Equação 2 a partir da regressão linear entre os resultados preditivos (modelo matemático) e os resultados reais calculados, cujo coeficiente de correlação (R^2) foi 0,81337 e confiabilidade de 95%. X_1 representa a densidade de corrente; X_2 o tempo e o X_3 a concentração do eletrólito.

$$\% \text{ Remoção} = -1,525 + 0,0020.X_1 + 0,306.X_2 + 57,30.X_3 - 0,017,8.X_2^2 - 125.X_3^2 + 0,002.X_1.X_2 + 0,057.X_1.X_3 + 0,055.X_2.X_3 \quad (2)$$

A maior eficiência na remoção de COT de acordo com a Tabela 2 e Equação 2 seria 19,01%.

6. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados destacaram que a maior eficiência na remoção de COT foi nas condições de contorno 158 mA, 15 minutos de duração da eletrólise e concentração de 0,2 mol/L de NaCl, o que resultou em 15,40 % (tabela 1).

Nas figuras 2A, 2B e 2C, observou-se que a superfície de resposta não apresentou geometria satisfatória para as condições de contorno apresentadas DCCR, logo a Tabela 2 confirma que o modelo para maior eficiência na remoção de COT apresentou valores superiores de tempo, densidade de corrente e concentração de eletrólito.

Em suma, no presente trabalho conclui-se que os valores do DCCR foram insatisfatórios para a criação da superfície de resposta, logo o ânodo dimensionalmente estável (ADE), apresentou baixa eficiência na oxidação de carbono orgânico total para o tratamento de chorume.

7. REFERÊNCIAS

CASTRO, Cláudio Márcio de. **Oxidação eletroquímica do corante amarelo disperso 3**. 2018. 144 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2018.

MALPASS, G. R. P.; Miwa, D. W.; Machado, S. S.; Olivi, P.; Motheo, J.; *J. Hazard. Mater.* **2006**, *137*, 565.

MANNARINO, Camille Ferreira et al. Avaliação de impactos do efluente do tratamento combinado de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos e esgoto doméstico sobre a biota aquática. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 8, p.3235-3243, jan. 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.org/pdf/csc/2013.v18n11/3235-3243/pt>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

PROSAB (PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO). Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

VON SLPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgoto**, Belo Horizonte: UFMG, 2011, 2v.