

REMOÇÃO DA TURBIDEZ DE EFLUENTE ANAERÓBIO UTILIZANDO A ELETROFLOCULAÇÃO

Maria Isabel Mason de Araújo¹; Flávia Manente da Silva²; Fábio Orssatto^{3}; Eduardo Eying³*

Resumo – O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a eficiência da técnica da eletrofloculação aplicada ao tratamento de efluente de um frigorífico de suínos, em busca de melhores condições de pH, densidade de corrente e tempo durante o processo eletrolítico. Foi avaliado o parâmetro turbidez. Optou-se por utilizar como estratégia de planejamento experimental o Delineamento Composto Central (DCC), estudando-se os efeitos de três fatores (pH, densidade de corrente e tempo reacional) na variável resposta Remoção da Turbidez. Os melhores resultados em termos de remoção de turbidez do efluente tratado por eletrofloculação, para a faixa de valores estudada, são obtidos quando empregados níveis máximos de densidade de corrente e tempo reacional, assim como nível mínimo de pH. Conclui-se que a técnica da eletrofloculação é viável e apresenta eficácia apreciável quando empregada no tratamento de efluentes.

Palavras-Chave – Frigorífico, tratamento alternativo, planejamento experimental.

TURBIDITY REMOVAL OF ANAEROBIC EFFLUENT USING THE ELECTROFLOCCULATION

Abstract – The main objective of this work was to evaluate the efficiency of the technique of electroflocculation applied to the treatment of effluent from a refrigerator of pigs, in search of better conditions of pH, current density and time during the electrolytic process. Was evaluated the turbidity parameter. Decided to use as experimental planning strategy the Central Composite Design (CCD), studying the effects of three factors (pH, current density and reaction time) in the response variable Turbidity removal. The best results in terms of the treated effluent turbidity removal by eletrofloculação, to the range of values studied, are obtained when employees maximum levels of current density and reaction time, as well as minimum level of pH. It is concluded that the eletrofloculação technique is feasible and has appreciable efficacy when used in the treatment of effluents.

Keywords – Refrigerator, alternative treatment, experimental planning.

INTRODUÇÃO

É crescente a preocupação mundial com a conservação do meio ambiente devido à aceleração do crescimento populacional e as atividades industriais acarretando a geração de resíduos sólidos e/ou líquidos altamente tóxicos e não biodegradáveis que necessitam serem tratados. Atualmente as normas ambientais têm imposto restrições cada vez maiores aos despejos de efluentes que contém substâncias orgânicas e inorgânicas nos corpos de água que comprometam a qualidade do ecossistema aquático que serve de meio para o desenvolvimento da flora e fauna nela existente, e

¹ Afiliação: Discente da UTFPR, câmpus Medianeira.

² Afiliação: Discente da UTFPR, câmpus Medianeira.

³ Afiliação: Docente da UTFPR, câmpus Medianeira.

* Autor Correspondente: orssatto@utfpr.edu.br

consequentemente ao ser humano por fazer parte da cadeia alimentícia ou fazer uso dela (Borba, *et al.* (2010).

Ao plano industrial, as descobertas técnico-científicas possibilitaram a produção em massa nas indústrias, gerando como excedente um dos principais inimigos do meio ambiente aquático, os efluentes industriais. Em hipótese alguma podem ser descartados de modo que venham a originar prejuízos ambientais.

A preocupação decorrente da preservação do meio ambiente tem levado a criação e ao desenvolvimento de novos mecanismos que sejam capazes de diminuir e/ou solucionar o desequilíbrio ambiental acarretado pelo lançamento inapropriado de efluentes.

Encontra-se disponível na literatura, pesquisas e possibilidades de uso da eletrofloculação como uma alternativa viável no tratamento de efluente devido à sua simplicidade de operação e aplicação em diversos tipos de efluentes industriais, oferecendo como benefícios: versatilidade, eficiência energética, segurança, reações rápidas e sistemas de menor tamanho, utilizando corrente elétrica para o tratamento ao invés de produtos químicos, requerendo equipamentos simples e de fácil operação, controle na liberação do coagulante, entre outros (Fornari, 2007).

Tal técnica baseia-se na geração de coagulantes *in situ* pela dissolução de íons de ferro e/ou alumínio, de acordo com o tipo de eletrodo de sacrifício utilizado pela ação de uma corrente elétrica, sendo que o controle das condições operacionais do processo que impactam a eficácia do tratamento é imprescindível. Neste sentido é de extrema importância identificar quais variáveis são realmente pertinentes.

O principal objetivo do presente trabalho foi avaliar a viabilidade da eletrofloculação na remoção da turbidez no pós-tratamento de efluente anaeróbio, otimizando-se os valores de pH, densidade da corrente ($A \cdot m^{-2}$) e tempo (min).

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta das amostras e parâmetros avaliados

As amostras foram coletadas na saída da lagoa anaeróbia pertencente a um sistema de tratamento de efluentes de um frigorífico de suínos localizado em um município da região oeste do Paraná. Foram armazenadas em frascos de polietileno com capacidade de 5 litros, sendo coletados no total aproximadamente 30 litros de amostras no seu estado bruto, os quais foram refrigerados para melhor conservação.

A turbidez foi analisada através do turbidímetro da marca PoliControl e modelo AP 2000. Já o pH e a condutividade foram medidas através do aparelho multiparâmetro da marca Hanna, modelo HI9828.

Procedimento experimental

Anteriormente a aplicação da eletrofloculação, alíquotas da amostra de efluente tiveram o pH ajustado nos valores de 6, 7 e 8 da escala de potencial hidrogeniônico por meio de soluções de NaOH $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ e H_2SO_4 $0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Para as corridas experimentais com a técnica da eletrofloculação, utilizou-se um reator batelada de bancada (béquer de 1L), o qual comportou o eletrodo de sacrifício (placas de alumínio com 100 mm de comprimento x 50 mm de largura e 0,6 mm de espessura), assim como o efluente líquido (500 mL) a ser tratado. Os eletrodos por sua vez foram conectados a uma fonte de corrente

contínua (Fonte de alimentação Modelo FA-3050, Marca: *Instrutherm*) de modo a viabilizar a eletrofloculação.

Planejamento Experimental

Optou-se por utilizar como estratégia de planejamento experimental o Delineamento Composto Central (DCC), estudando-se os efeitos de três fatores (pH, densidade de corrente e tempo reacional) na variável resposta Remoção da Turbidez. De acordo com a matriz do delineamento experimental os ensaios foram organizados em 2^3 ensaios fatoriais mais três repetições no ponto central, totalizando-se 11 ensaios que foram realizados em duplicata. Os valores reais, correspondentes aos valores codificados dos fatores, foram determinados em testes preliminares e são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores reais correspondentes aos valores codificados dos fatores estudados

Fator	-1	0	+1
pH	6	7	8
I, Densidade de Corrente ($A.m^{-2}$)	0,30	0,55	0,80
t, Tempo reacional (min)	10	15	20

A execução dos ensaios de acordo com as configurações impostas pelo DCC permite, após análise estatística, o ajuste dos parâmetros do modelo linear da variável resposta Remoção da Turbidez, em função dos fatores estudados e das interações entre eles. O referido modelo, utilizando-se os valores codificados representados pelo símbolo $\tilde{}$ é apresentado na Equação 1:

$$\text{Remoção da Turbidez (\%)} = \alpha_1 + \alpha_2\tilde{pH} + \alpha_3\tilde{I} + \alpha_4\tilde{t} + \alpha_5\tilde{pH}\tilde{I} + \alpha_6\tilde{pH}\tilde{t} + \alpha_7\tilde{I}\tilde{t} \quad (1)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos para a variável resposta Remoção da Turbidez, avaliada nas condições impostas pela matriz do delineamento experimental.

Tabela 2 -Valores encontrados para o parâmetro turbidez antes e após a eletrofloculação

Ensaio	pH	I ($A.m^{-2}$)	Tempo (min)	Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez Final (UNT)	Remoção da Turbidez (%)
1	6	0,3	10	166,5	71,55	57,12
2	8	0,3	10	137,5	105,65	23,12
3	6	0,8	10	230	27,35	88,09
4	8	0,8	10	130	61,65	52,48
5	6	0,3	20	164	28,15	90,55
6	8	0,3	20	139,5	67,9	51,77
7	6	0,8	20	158	28,9	81,74
8	8	0,8	20	187,5	34,4	81,58

9	7	0,55	15	182	36,1	80,06
10	7	0,55	15	98,75	16,9	82,84
11	7	0,55	15	96,75	19,95	78,98

Fazendo uso do suplemento estatístico Action do Excel, os parâmetros do modelo linear para Remoção da Turbidez foram ajustados. Tais parâmetros são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros do modelo linear para Remoção da Turbidez

Parâmetro	Valor ajustado	p-valor (modelo completo)	p-valor (modelo refinado)
α_1	69,85	0,0001	$4,18.10^{-7}$
α_2	-13,57	0,0431	0,0209
α_3	10,17	0,0937	0,0616
α_4	10,60	0,0844	0,0535
α_5	4,63	0,3753	
α_6	3,83	0,4553	
α_7	-4,92	0,3493	

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 3 é possível concluir que os parâmetros vinculados à média, e aos fatores \bar{pH} , \bar{I} e \bar{t} foram significativos a 90% de confiança, pois apresentaram p-valor < 0,01. Entretanto, as interações entre os fatores não se mostraram significativas. Refinando-se o modelo, ou seja, mantendo somente os parâmetros significativos na análise inicial, é possível perceber que a 95% de confiança, apenas o parâmetro vinculado a \bar{I} não se mostrou significativo. Entretanto, para 90% de confiança todos os parâmetros seriam significativos. Neste contexto, optou-se por manter todos os parâmetros deste modelo refinado, analisando-se sua validade a 95% de confiança, empregando-se o teste F. Tais resultados são expostos na Tabela 4, enquanto que o modelo é apresentado na Equação 2.

$$\text{Remoção da Turbidez (\%)} = 69,85 - 13,57\bar{pH} + 10,17\bar{I} + 10,60\bar{t} \quad (2)$$

Tabela 4 – Resultados do teste F para o modelo refinado, a 95% de confiança

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	3199,2	3	1066,4	6,371	4,347
Resíduos	1171,6	7	167,4		
Total	4370,8	10			

SQ = Soma dos quadrados dos erros; GL = Graus de Liberdade; MQ = Média dos quadrados dos erros.

De acordo com os resultados do teste F, como $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$, o modelo expresso na Equação 2, pode ser considerado válido a 95% de confiança, explicando satisfatoriamente a remoção da turbidez do efluente.

De posse do modelo para a remoção da turbidez é possível representa-lo graficamente (Figuras 1, 2 e 3) e analisar quais seriam os melhores valores dos fatores, que proporcionariam resultados expressivos na variável resposta.

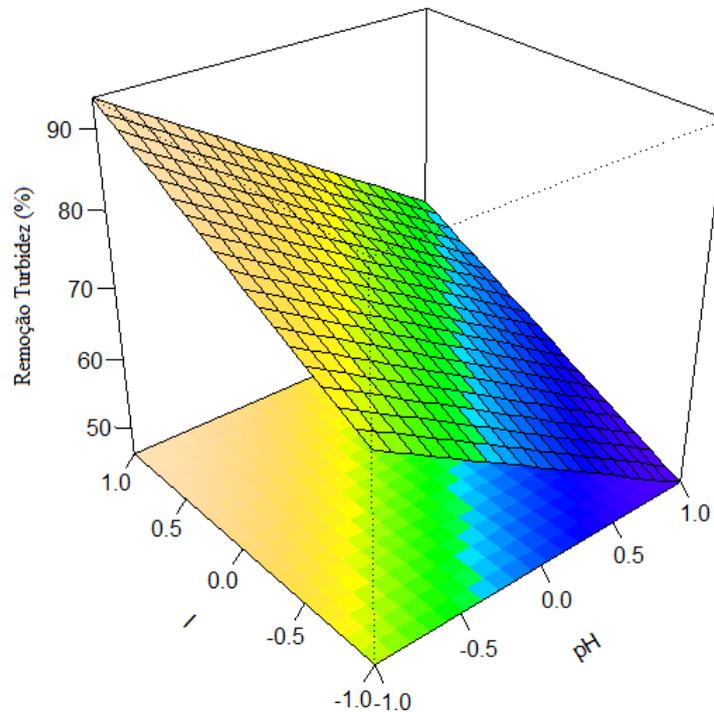


Figura 1 – Representação gráfica do modelo para Remoção da Turbidez em função dos fatores I e pH codificados (variável t fixa no ponto central)

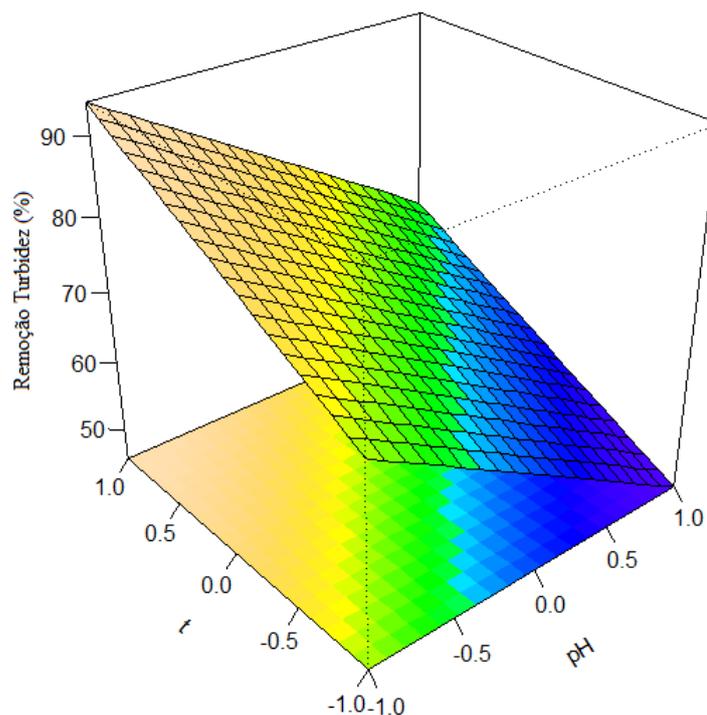


Figura 2 – Representação gráfica do modelo para Remoção da Turbidez em função dos fatores t e pH codificados (variável I fixa no ponto central)

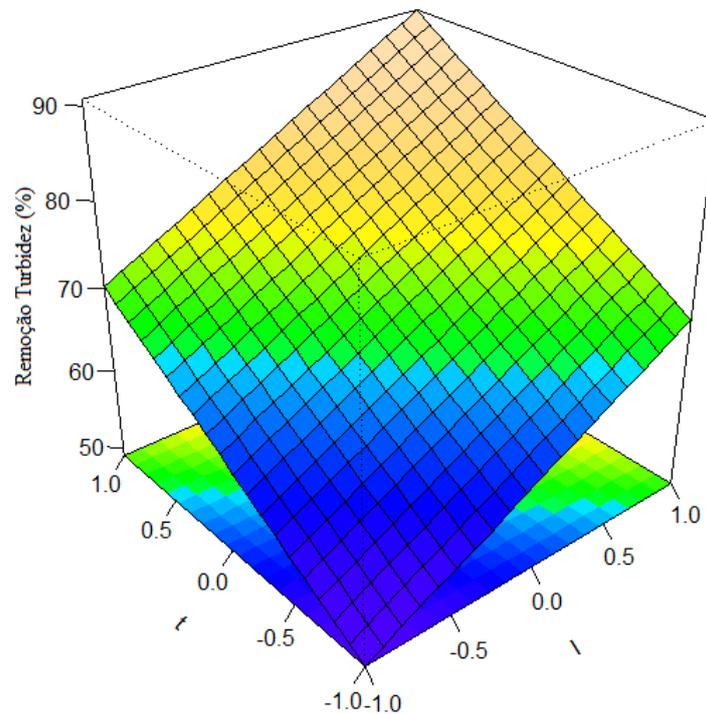


Figura 3 – Representação gráfica do modelo para Remoção da Turbidez em função dos fatores t e I codificados (variável pH fixa no ponto central)

Analisando o comportamento da Remoção da Turbidez em função dos fatores pH, t e I, visualizado no conjunto de gráficos constituído pelas Figuras 1, 2 e 3 é possível verificar que os melhores resultados em termos de remoção de turbidez do efluente tratado por eletrofloculação, para a faixa de valores estudada, são obtidos quando empregados níveis máximos de densidade de corrente e tempo reacional, assim como nível mínimo de pH.

CONCLUSÃO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência do processo de eletrofloculação aplicada ao efluente de frigorífico de suínos, monitorando-se as variáveis pertinentes tempo, pH e intensidade da corrente elétrica com o intuito de encontrar as melhores combinações para o processo eletrolítico.

Somando-se todos os resultados e análises efetuadas é possível concluir que o tempo de eletrólise tem maior influência do que os valores de amperagem empregados. No entanto a combinação desses dois parâmetros é essencial para a obtenção de resultados satisfatórios no que diz respeito a remoção de turbidez do efluente eletrofloculado.

Os melhores resultados em termos de remoção de turbidez do efluente tratado por eletrofloculação, para a faixa de valores estudada, são obtidos quando empregados níveis máximos de densidade de corrente e tempo reacional, assim como nível mínimo de pH.

REFERÊNCIAS

BORBA, F.H.; MANENTI, D.R.; MÓDENES, A.N.; MORA, N.D.; ESPINOZA-QUINÕES, F.R.; PALÁCIO, S.M.; YASSUE, P.H.; NASCIMENTO, R. (2010). Avaliação da eficiência da técnica de eletro-floculação no tratamento de efluentes de indústrias de subprodutos avícolas. *Estudos Tecnológicos* 6(1), pp. 36-47.

FORNARI, M. M. T. *Aplicação da técnica de eletro-floculação no tratamento de efluentes de curtume*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2007.