

Área: Engenharia de Alimentos

ELETRÓLISE DE EFLUENTE AVÍCOLA - TEOR DE NITROGÊNIO E FATOR ECONÔMICO

Luis Eduardo Magnan*, Marcelo Hemkemeier, Jeferson Steffanello Piccin.

** Laboratório de Operações Unitárias do curso de Engenharia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS*

**E-mail: luis.magnan@hotmail.com*

RESUMO – A água residual de abatedouro avícola possui elevado grau de constituíndes em solução e requer tratamento que resolva os efeitos e potencialize formas adequadas de reaproveitamento da água ou excepcional disponibilidade para corpos receptores. Neste estudo, o processo de eletrocoagulação foi atribuída para o tratamento de efluente de abatedouro avícola sob às seguintes condições de operação: pH inicial (3, 5 e 7), densidade de corrente (DC) (60, 120 e 180 A/m²) e tempo de eletrólise de 1 h, utilizando eletrodos de aço carbono dissociáveis, em reator monopolar e em série para remoção de Nitrogênio Total (NTK). As informações obtidas foi que houve efeito significativo para ($p < 0,05$) tanto para pH como para interação pH e DC, também sendo significativo para o teste de curvatura, onde a superfície de resposta os pontos centrais ficaram acima do plano, tendo a possibilidade de ter melhores regiões de remoção para o processo de eletrocoagulação. O ponto central obteve remoção superior a 90% se enquadrando de acordo com as legislações. Assim, há indícios concretos sobre direto potencial do tipo de tratamento repercutido para este efluente, tendo intensa influência na remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos.

Palavras-chave: Eletrocoagulação, Eletrofloculação, Mecanismo de Remoção.

1 INTRODUÇÃO

Os abatedouros de aves, os usos da água inclusive por parte dos funcionários, contribuem de forma significativa para a carga de resíduos e geração de um elevado volume. Este fluido residual tem quantidades elevadas de dejetos líquidos, semi-sólidos e sólidos com quantidades variáveis do teor de matéria orgânica e inorgânica solúvel e insolúvel em sua maioria composta de sangue, resíduo gastrointestinal, gordura, penas, elementos provenientes da higiene de veículos e espécies de microrganismos incluindo patogênicos, tendo a necessidade de um adequado e eficiente sistema de tratamento, para que alcancem condições adequadas de lançamento em corpos receptores.

A eletrocoagulação compreende o mecanismo eletroquímico (dissociação do ânodo metálico em íons mediante a geração de bolhas de gás hidrogênio no cátodo). Além do mecanismo físico-químico de (desestabilização dos compostos coloidais que estão em constante movimento browniano, por intermédio dos íons metálicos, formando metal hidróxidos espécies que agem como coagulantes produzidos *in situ*). Estes formam

micelas com as partículas coloidais e com subsequente separação da fase líquida por flotação. Isso a partir de uma ddp, que promove semi-reações eletroquímicas nos eletrodos, que variam com o pH, condutividade elétrica do meio, compostos ou substâncias presentes e suas propriedades como: tamanho das partículas, natureza orgânica ou inorgânica e fatores físico-químicos (DEOKATE, 2015).

O trabalho propôs avaliar o processo de tratamento por eletrólise, com base nos parâmetros de avaliação de eficiência do reator e custos de tratamento para análise da performance de remoção de poluente Nitrogênio Total NTK ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e (%) remoção, com base na legislação estadual (nº 128/2006) e Federal (430/2011), pelo uso de um planejamento fatorial completo 2^2 .

2 MATERIAL E MÉTODOS

O efluente foi coletado em um abatedouro de aves localizado na região norte do estado do Rio Grande do Sul, após a remoção grosseira dos constituintes do efluente em peneira estática. A amostra foi recolhida em um recipiente previamente higienizado com capacidade de 20 litros. A Tabela 1, apresenta os dados da caracterização físico-química do efluente bruto.

Tabela 1: Caracterização do efluente

| Parâmetros | Quantidade |
|-------------------------|------------|
| pH | 6,94 |
| DQO (mg/L) | 4750,0 |
| Nitrogênio Total (mg/L) | 14,46 |
| Fósforo Total (mg/L) | 5,26 |

Os eletrodos foram do tipo reativos de aço carbono de geometria quadrada e montados com separadores de nylon, dispostos na posição horizontal. O ânodo na parte superior e o cátodo na inferior de acordo as dimensões presentes na Tabela 2. Ambos os conjuntos de eletrodos foram previamente homogeneizados com solução alcalina de NaOH (1 mol/L) e ácida HCl (1 mol/L) secos e lixados com lixa grossa e fina. A conexão dos cabos, foi realizada com conectores de engate rápido e terminais do tipo redondo, presos nos eletrodos com parafusos, arruela e polca e isolados com fita isolante.

Tabela 2: Dimensionamento dos eletrodos (Cátodo e Ânodo)

| Dimensões | Cátodo | Ânodo |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| Largura (cm) | 8,05 | 8,0 |
| Comprimento (cm) | 8,05 | 7,9 |
| Área total (m^2) | $6,48\cdot 10^{-3}$ | $5,22\cdot 10^{-3}$ |
| Espessura (cm) | 0,1 | 0,2 |
| Total de furos | 0 | 56 |
| Diâmetro dos furos (cm) | - | 0,5 |
| Espaçamento (cm) | 1,5 | 1,5 |

O reator era constituído de vidro e cilíndrico, monopolar com eletrodos em série para capacidade de $0,001\text{ m}^3$ de efluente, de bancada sem agitação mecânica ou magnética, sem controle de temperatura e em batelada. Assim, o processo eletrolítico seguiu mediante ao emprego do delineamento estatístico experimental fatorial 2^2

com dois níveis de variação, incluindo triplicata do tratamento no ponto central. Os fatores de estudo foram: densidade de corrente (60, 120 e 180 A.m⁻²) e pH inicial do efluente (3, 5 e 7).

A fator dependente de avaliação como parâmetro de classificação de corpos hídricos, foi adotado o Nitrogênio Total (mg.L⁻¹), método 4500-N_{org} determinado por titulação conforme APHA (2005). Os dados obtidos como resultados foi efetuado uma análise de variância com intervalo de 95% de confiança por intermédio do software (Stat Soft, USA 7.0).

O efluente foi homogeneizado e corrigido o pH inicial para um volume de 0,001 m³ com a contribuição de soluções de HCl e NaOH (1 mol.L⁻¹) respectivamente e auxílio de pHmetro (Digimed, modelo DM-22). Após foi transferido ao reator previamente montado, com decorrente acionamento e ajuste da fonte de corrente contínua (DAWER, modelo FSCC 5002D) para as condições propostas de tratamento. Com detenção de 1 hora e consecutivas coletas a cada 10 min de uma alíquota de efluente, por intermédio de uma pipeta graduada, para aferição do pH. Realizado correções da corrente elétrica na fonte “quando houve oscilação” e apontamento da tensão de trabalho. Ao término, um determinado volume do tratado foi removido do reator e transferido para um béquer através de uma pipeta volumétrica para quantificação do teor de NTK final.

Os dados de despesa ou custos operacionais do processo eletrolítico, estão evidenciados nas seguintes Equações: (1) - Massa de Eletrodo Consumida (VIK et al., 1984) (2) - Consumo de Energia Elétrica e (3) - Custo de Operação onde (a) custo de transmissão de energia elétrica e (b) custo do aço carbono respectivamente (0, 56 e 0,0032) R\$/kWh e R\$/g (KUOKKANEN et al., 2013).

$$Mec: \frac{i.t.M}{F.n} \quad (1)$$

$$C: \frac{T.i.t}{V} \quad (2)$$

Onde: T: Tensão (V), i: densidade de corrente (A.m⁻²), t: tempo de eletrólise (horas), V: Volume de efluente (m³), M: massa molar Fe (55, 85 g.mol⁻¹), n: número de elétrons transferidos (Fe= 2).

$$C.O: (C.a) + (Mec.b) \quad (3)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

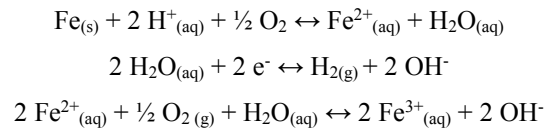
Os dados do tratamento eletrolítico para remoção de Nitrogênio Total, estão representados na Tabela 4. Onde: (E) Experimentos; (F. E) Fatores de estudo; (pH f) pH final; (N f) Nitrogênio final; (% N rem) Percentagem de Nitrogênio Total removido; (Mec) Massa de eletrodo consumida; (C) Consumo elétrico e (C. O) Custo de Operação.

Tabela 4: Valores para nitrogênio e do processo eletrolítico

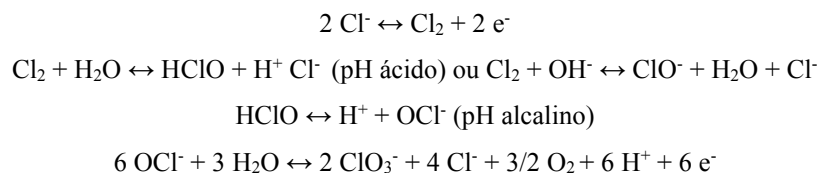
| E | F. E | pH f | % N rem | N f (mg/L) | Mec (g) | C (kWh/m ³) | C.O (R\$/m ³) |
|---|---------------------------------|-------|---------|------------|-----------|-------------------------|---------------------------|
| 1 | pH 3 e D.C 60 A/m ² | 6,74 | 38,7 | 8,86 | 0,17±0,12 | 1,4±0,98 | 0,78±0,55 |
| 2 | pH 7 e D.C 60 A/m ² | 7,68 | 29 | 10,26 | 0,17±0,12 | 1,88±1,33 | 1,05±0,74 |
| 3 | pH 3 e D.C 180 A/m ² | 7,19 | 54,8 | 6,53 | 0,5±0,36 | 9,75±6,86 | 5,46±3,85 |
| 4 | pH 7 e D.C 180 A/m ² | 10,84 | 74,2 | 3,73 | 0,5±0,36 | 7,76±6,56 | 4,35±3,67 |
| 5 | pH 5 e D.C 120 A/m ² | 8,91 | 96,8 | 0,46 | 0,33±0,24 | 4,82±3,47 | 2,7±1,94 |
| 6 | pH 5 e D.C 120 A/m ² | 7,72 | 93,5 | 0,93 | 0,33±0,24 | 5,04±3,56 | 2,83±1,99 |
| 7 | pH 5 e D.C 120 A/m ² | 6,54 | 93,5 | 0,93 | 0,33±0,24 | 5,26±3,61 | 2,94±2,01 |

A aplicação do tratamento de efluente alternativo, com base com os aspectos impostos pela legislação Estadual e Federal (Resolução 128/2006 e CONAMA 430/2011), indicam que para a quantidade de nitrogênio final, todos os experimentos alcançaram o estipulado e atingiram valores inferiores para 1 h de tratamento. Porém, de acordo com a (CONSEMA, 2006), quanto a % de remoção somente os experimentos 4 ao 7 conseguiram obter enquadramento dentro do requerido.

A consideração que de acordo com a legislação, os pontos centrais que melhor corresponderam as exigências, a maior parte do período o pH permaneceu em média na faixa de (6,0 a 7,4), exceto para a primeira repetição. Isso, com os eletrodos já tendo um certo grau de passividade tendo o custo operacional sendo regido pela corrente elétrica no caso fixa, tensão de trabalho e o período de tratamento. Em vista do comportamento do pH final para todos os experimentos Tabela 4, tal comportamento neste caso é promovido por uma elevada taxa inicial de gás H₂ e formação do íon hidróxido, até passar a faixa equilíbrio com forte tendência a impelir elétrons para o sistema, muito por causa da redução de Fe²⁺ para Fe³⁺ onde percebe-se que o sentido das reações ocorreu da seguinte maneira:



Jardim (2014) descreve que em meio aquoso e pH 7, o oxigênio deve ser o principal receptor de elétrons, onde em meio contendo derivados de compostos químicos orgânicos, o oxigênio deve ser praticamente consumido e os principais receptores de elétrons são fontes de elementos químicos com nitrogênio e amônia. Segundo Gao et. al (2010), o íon cloro utilizado na forma de HCl para correção do pH inicial, pode ser hidrolisado pelo íon OH⁻ para formar hipoclorito, o Cl⁻ e ClO⁻ são agentes oxidantes fortes concomitante ao potencial do ânodo suficientemente alto na faixa de pH (6,0 a 7,4), seguidas reações podem ocorrer da seguinte maneira:



As espécies de íon cloro ativo (Cl₂, HClO e OCl⁻) aumentam a eficiência do reator auxiliando nas reações de oxidação de compostos orgânicos e aumentando a ionização do meio (PLETCHER e WALSH, 2012). O preceito que houve a possível formação de cloraminas resultantes da reação com cloro livre. Sendo que neste efluente a evidências de concentrações de ácido úrico, ureia, fibrinogênio, pepsinogênio, proteínas da parede celular dos tecidos como: glicosaminoglicanos, proteoglicanos e glicoproteínas (PRICE e SCHWEIGERT, 1994).

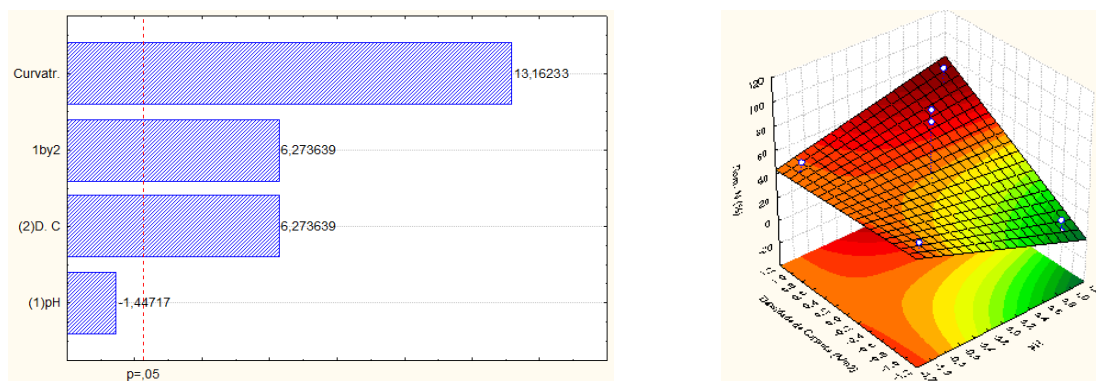
Segundo Bobbio e Bobbio (1992) pode haver a formação de quelatos entre proteínas ricas em aminoácidos com ácidos carboxílicos ou grupos fosfato de (fosfoproteínas) promovendo adsorção com interações eletrostáticas na presença de íons de Fe (II) e Fe (III) gerando precipitado de (proteinato metálico), estes cátions metálicos tendem a atrair moléculas polares e íons carregados negativamente que contém pares isolados de elétrons. Ainda, Araújo (2004), afirma que os aminoácidos em pH próximos ou entre 7,0 possuem momentos dipolares. Isso ocorre quando moléculas são estabilizadas por máximas interações eletrostáticas de atração entre grupos com cargas

opostas, estes íons dipolares ou também chamados de “*zwitterions*” o ácido está na forma iônica ($-\text{COO}^-$) e a amina na forma ionizada ($-\text{NH}_3^+$) com mínima interação com H_2O e as moléculas atraem-se formando agregados.

Os íons metálicos de Fe^{3+} coordenam interações com átomos de (O_2 , nitrogênio alifático e P), enquanto íons de Fe^{2+} formam ligações estáveis com átomos de nitrogênio aromático e aminoácidos podem interagir a um único íon metálico ou podem ter interações multipontos, onde uma única proteína contendo vários resíduos de aminoácidos fazem ligações a vários íons metálicos (WONG et. al 1991). Outra evidencia é devido à concentração de sais da dissociação de (HCl e NaOH) para ajuste de pH, além dos sais que já contidos no efluente, onde Bobbio e Bobbio (1992) define uma diminuição da solubilidade de proteínas desnaturadas, propiciando na precipitação ou fenômeno (*salting out*), este resultante da intensa competição de moléculas de proteína e íons de sais pela molécula de H_2O , ocasionando interação proteína-proteína e agregação das moléculas e sua precipitação.

A Figura 1, representa o gráfico de Pareto e a superfície de resposta para o modelo de planejamento fatorial adotado para remoção de Nitrogênio.

Figura 1: Gráfico de Pareto e Superfície de resposta para NTK.



O coeficiente de determinação foi de (r^2 : 0,96), onde têm a forte influência do pH na interação com a densidade de corrente, ao qual, ambos são significativos para ($p < 0,05$), incluindo o teste curvatura significativo para ($p < 0,05$). Tal comportamento mostra a influência assídua do pH e à obtenção de uma região na superfície de resposta que pode adquirir melhores resultados. Porém, o detalhe a ser analisado, a oscilação da tensão (V) porventura promoveu um certo grau de passivação (tanto por filme de óxido como por oxigênio ou íons adsorvidos na superfície do eletrodo), alternando nos fatores de custo e performance do reator.

O que indica que o pH final e o tempo, o potencial de perda neste caso desencadeou devido a formação de magnetismo por parte de magnetita (Fe_2O_3 e Fe_3O_4) *in situ*. Segundo Wiendl (1998), na reação entre átomos superficiais de um metal e o eletrólito, ocorre uma variação na configuração dos subníveis, principalmente com os metais de transição interna com subnível “d” incompletos como caso do Fe. Ou seja, o oxigênio e outras substâncias oxidantes adsorvidas na superfície retiram elétrons do referido subnível “d”, tendo o surgimento da passivação e resistência ao impelir elétrons. Outra forma corresponde a uma região onde o filme de óxido não está presente, mas ao mesmo tempo que são expelidos íons metálicos, são formados MOH^+ , como precipitados denominados polarização anódica.

4 CONCLUSÃO

O tratamento de efluente avícola por eletrólise, com eletrodos dissociáveis em reator monopolar de batelada em série, perspicazmente obteve à remoção de nitrogênio em todos os experimentos, o custo e performance poderiam ter sido mais assíduas com a determinação do teor de nitrogênio por coleta de amostra. Assim, justificaria um menor tempo e menos gastos. Estatisticamente explanado que ter-se-á resultados mais contundentes, para este processo já eficaz em fatores estudados em tributo a um melhor rendimento e qualidade.

5 REFERÊNCIAS

- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. New York. McGraw Hill, 2005.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de Alimentos: teoria e prática**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004, 478p.
- BOBBIO, F. O., BOBBIO, P. A. **Introdução à Química de Alimentos**. 2. ed. Livraria Varela, 1989, 223p.
- BRASIL, Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981, Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos. Conselho Nacional de Meio Ambiente- CONAMA. **Resolução Nº 430, de 13 de Maio de 2011**.
- DEOKATE, A. Development of textile wastewater treatment reactor to obtain drinking water by solar powered electrocoagulation technique. **Int. J. Res. Environmental Science Technology**. v. 5, nº 1, p. 29-34, 2015.
- GAO, S., DU, M., TIAN, J., YANG, J., MA, F., NAN, J. Effects of Chloride Ions on Electro- Coagulation-Flotation Process with Aluminum Electrodes for Algae Removal. **Journal of Hazardous Materials**, v. 182, nº 1-3, p. 827-834, 2010.
- JARDIM, W. F. Medição e interpretação de valores do potencial redox (Eh) em Matrizes Ambientais. **Química Nova**, v. 37, nº 7, p. 1233-1235, 2014.
- KUOKKANEN, V., KUOKKANEN, T., RAMO, J., LASSI, U. Recent Applications of Electrocoagulation in Treatment of Water and Wastewater – A Review. **Sci. Res. Green and Sustainable Chemistry**, v. 3, p. 89-121, 2013.
- Lei estadual nº 10.330, de 27 de Dezembro de 1994. Conselho Estadual do Meio Ambiente- CONSEMA. **Resolução Nº 128, de 07 de Dezembro de 2006**.
- PLETCHER, D., WALSH, F. C. **Industry Electrochemistry**. 2. ed. Springer Science & Business Media, 2012, 672p.
- PRICE, J. F., SCHWEIGERT, B. S. **Ciencia de la carne y de los productos cárnicos**. 2. ed. Zaragoza, Editorial Acribia, 1994, 570p.
- VIK, E. A., CARLSON, D. A., EIKUM, A. S., GJESSING, E. T. Electrocoagulation of potable water. **Water Research**, v. 18, p. 1355-1360, 1984.
- WIENDL, W, G. **Processos eletrolíticos no tratamento de esgotos sanitários**. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1998, 368 p.
- WONG, J., ALBRIGHT, R. L., WANG, N. H. W. Immobilized metal ion affinity chromatography (IMAC) chemistry and bioseparations applications. **Sep. Purif. Methods**. V. 20, p. 49-106, 1991.