

TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVAGEM DE VEÍCULOS POR PROCESSOS ELETROLÍTICOS

Thayná Costa Oliveira

Fatec de Praia Grande - thayna.oliveira01@fatec.sp.gov.br

Sabrina Martins dos Santos

Fatec de Praia Grande - sabrina.santos@fatec.sp.gov.br

1. Introdução

A maioria das empresas de pequeno e médio porte enfrentam problemas no lançamento de efluentes pois não é permitido sua descarga na rede pública de esgoto e nem sistemas de águas pluviais. Por isso, é importante empregar processos de tratamento de águas residuárias provenientes de operações de lavagens de máquinas, por exemplo, que diminuam os riscos de contaminação e atendam as especificações dos órgãos fiscalizadores e regulamentadores ambientais com baixo custo de implantação, operação e manutenção. [1]

As características do efluente do gerado por operações de lavagens de máquinas podem conter óleos e graxas, sólidos em suspensão, metais pesados, surfactantes, substâncias orgânicas, e outros derivados de petróleo. A presença de óleos em cursos d'água resulta em prejuízos na aeração e iluminação, devido a formação de um filme insolúvel na superfície, produzindo efeitos nocivos ao meio ambiente [2].

A eletrofloculação é um método de tratamento de água e efluentes que usa corrente elétrica para permitir que partículas suspensas e contaminantes em líquidos se coagulem e floculem. Sua eficácia na remoção de sólidos suspensos, partículas coloidais e poluentes dissolvidos é uma de suas vantagens, isso reduz a turbidez e melhora a qualidade da água. [3]

Além disso, a eletrofloculação pode exigir menos produtos químicos do que métodos tradicionais, o que significa que a operação é de baixo custo e os resíduos químicos são menores. As desvantagens incluem o alto consumo de energia e a necessidade de monitoramento cuidadoso para evitar a formação de lodo e subprodutos indesejados. [4]

O processo eletrofloculativo pode ser mais eficaz do que os métodos convencionais na remoção de partículas coloidais finas. Isso resulta em uma água tratada com menor turbidez e melhor qualidade do que os métodos convencionais de coagulação/floculação. Por outro lado, a escolha de um método depende dos objetivos de tratamento, das características do efluente e dos fatores financeiros e ambientais.

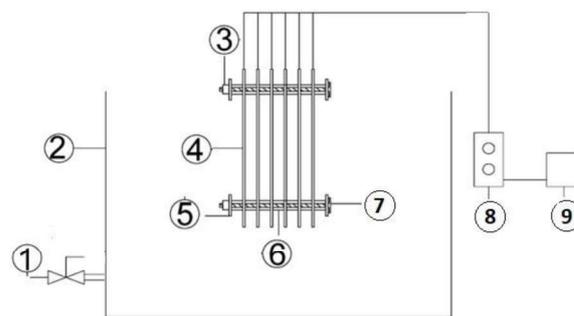
O objetivo do trabalho é tratar o efluente oriundo da lavagem de veículos em Terminal em Cubatão através do processo de eletrofloculação com eletrodos de alumínio. Também serão avaliados parâmetros físico-químicos, como pH, alcalinidade, acidez, turbidez e teor de sulfeto no efluente bruto e tratado em função do tempo do processo de eletrofloculação.

2. Metodologia

No presente estudo foi utilizado uma unidade experimental de eletrofloculação composta por um reator eletrolítico de bancada em acrílico de 30 cm de

comprimento, 15 cm de largura e 20 cm de altura com capacidade máxima de 6 litros. Um conjunto de eletrodos de alumínio com 6 placas dispostas em paralelo com dimensões de 14 cm de comprimento, 14 cm de largura e 200 µm de espessura. As placas possuem um distanciamento de 1 cm entre elas e foram acopladas a um inversor de polaridade ligado a uma fonte com saída de 12 volts e 5A. A Figura 01 mostra o esquema da unidade experimental de eletrofloculação.

Figura 01 – Esquema da unidade experimental de eletrofloculação



1) Válvula coletora. (2) Célula eletrolítica. (3) Porca (4) Eletrodos de Alumínio. (5) Arruelas (6) Rosca (7) Parafuso (8) Inversor de polaridade. (9) Fonte bivolt.

Fonte: Augusto, W.D.S. (2018) [5].

No reator eletrolítico de acrílico foi adicionado 4 L do efluente proveniente da lavagem de veículos de uma empresa X situada em Cubatão-SP. Posteriormente, o conjunto de placas de eletrodo de alumínio acoplado a um inversor de polaridade foi colocado dentro do reator ficando patricamente submerso no efluente, garantindo que haja espaço suficiente para o volume de lodo gerado no processo de eletrofloculação. A unidade experimental foi ligada numa fonte de energia dando início ao processo de eletrólise com duração total de 3 h de tratamento. Para a avaliação da eficiência da eletrofloculação foi retirada amostras do efluente tratado em intervalos de 10 min através de uma válvula instalada na parte inferior do reator. Os parâmetros analisados em triplicata foram pH, turbidez, alcalinidade e teor de sulfetos. A Figura 02 mostra a unidade de eletrofloculação em funcionamento.

Figura 02 – Unidade experimental de eletrofloculação em funcionamento



Fonte: Acervo pessoal, 2023.

O pH foi medido com pHmetro da marca Nova Instruments devidamente calibrado. A alcalinidade e acidez foram determinando pelo método de titulação. A turbidez foi analisada emo turbidímetro da marca Akson. A determinação do teor de sulfeto foi realizada por iodometria.

3. Resultados e Discussões

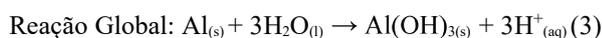
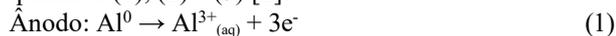
Para avaliar a eficiência do processo de eletrofloculação foram realizados ensaios físico-químicos de caracterização do efluente bruto. Os parâmetros analisados como pH, alcalinidade, acidez, turbidez e teor de sulfeto estão descritos na Tabela 01.

Tabela 01 – Caracterização do Efluente Bruto.

Parâmetros	Valores Médios
pH	4,85
Alcalinidade (mg/L)	1600
Acidez (mg/L)	1,85
Turbidez (NTU)	1000
Teor de Sulfeto (mg/L)	17,43

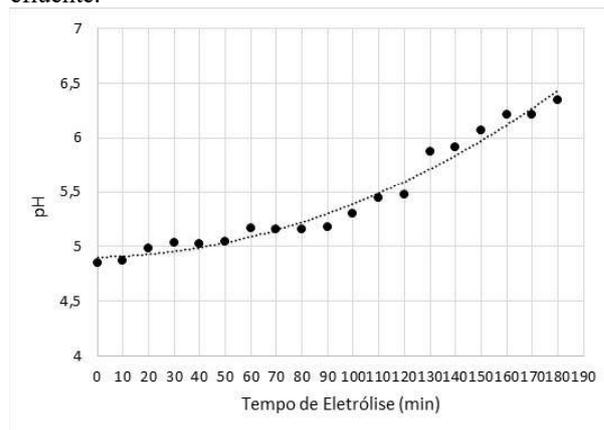
Fonte: Autoria própria, 2023.

A Figura 03 apresenta a variação do potencial hidrogeniônico (pH) no efluente tratado em função do tempo de eletrólise. Pode-se observar o aumento gradativo do pH durante a eletrólise de 4,85 para 6,35, aproximando o efluente tratado da neutralidade. Também, nota-se que a partir de 2 h de eletrólise um aumento mais significativo do pH. Esse aumento no pH pode ser justificado pela liberação de hidroxilas (OH⁻) devido ao desprendimento de hidrogênio no cátodo e dos íons de alumínio (Al³⁺) gerados pela oxidação dos eletrodos, sendo influenciado diretamente pela quantidade de corrente aplicada, conforme equações químicas (1), (2) e (3) [2]:



Ainda, o aumento mais significativos do pH ocorrem em efluentes inicialmente ácidos e neutros e dependem do material do eletrodo. [3] e [6].

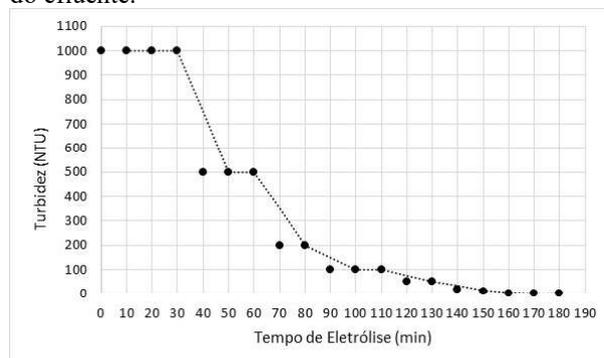
Figura 03 – Efeito do tempo de eletrólise no pH do efluente.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A Figura 04 mostra a variação da turbidez em relação ao tempo de eletrólise. A turbidez se manteve com o valor constante de 1000 NTU até 30 min de eletrólise, mas a partir de 40 min de reação a turbidez diminui pela metade (500 NTU) e permaneceu nesse patamar por cerca de mais 30 min. Após 70 min observa mais um decréscimo brusco da turbidez para 200 NTU e, a turbidez continua diminuindo ao longo da eletrólise tendendo a valores próximos de zero no término do tratamento, 0,02 NUT, em 3h.

Figura 04 – Efeito do tempo de eletrólise na turbidez do efluente.



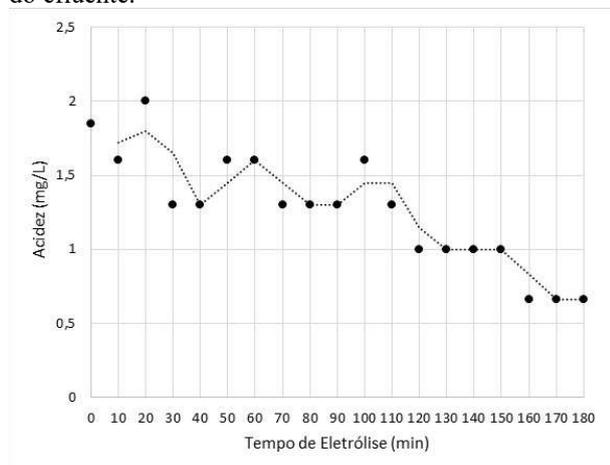
Fonte: Autoria própria, 2023.

Os resultados de turbidez são muito satisfatórios pois mostram que as concentrações de partículas coloidais diminuíram com a floculação gerada no processo de eletrólise, acarretando menor turbidez ou maior limpeza no efluente tratado. Ainda, pode-se dizer que o pH inicial do efluente é um fator determinante para o desempenho da eletrofloculação, pH maiores que 9 levam a formação de flocos de hidróxido de alumínio de tamanhos menores e menos reativos acarretando a sua deposição no ânodo e menor eficiência na diminuição da turbidez [7]. No caso do estudo, não observa esse problema pois o pH do efluente permaneceu em torno de 4,85 a 6,35.

As Figuras 05 e 06 apresentam os valores de acidez e alcalinidade do efluente em função do tempo de eletrólise, respectivamente. Em processos de

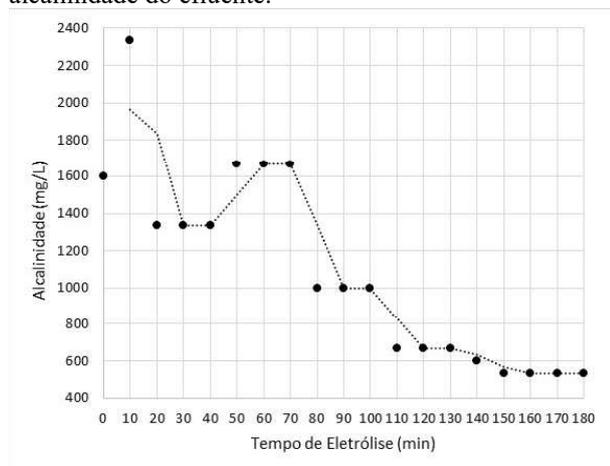
eletrofloculação ocorre maior concentração de hidróxidos de alumínio, $Al(OH)^{+3}$ e $Al(OH)^{+2}$ no efluente tratado em virtude da sua liberação ao longo do processo como agente aglutinante acarretando uma menor acidez e uma maior alcalinidade do meio analisado [8] e [9]. A acidez no efluente variou de 1,85 para 0,66 mg/L em 3 h de eletrofloculação, com um percentual de 41,25%.

Figura 05 – Efeito do tempo de eletrolise na acidez do efluente.



Fonte: Autoria própria, 2023.

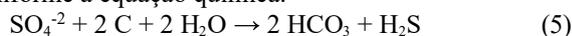
Figura 06 – Efeito do tempo de eletrolise na alcalinidade do efluente.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Os valores de alcalinidade no efluente apresentou um declínio ao longo do tempo mas o meio ainda continuou levemente alcalino. A alcalinidade do efluente variou de 2333 mg/L para 533 mg/L em 3 h de tratamento por eletrolise.

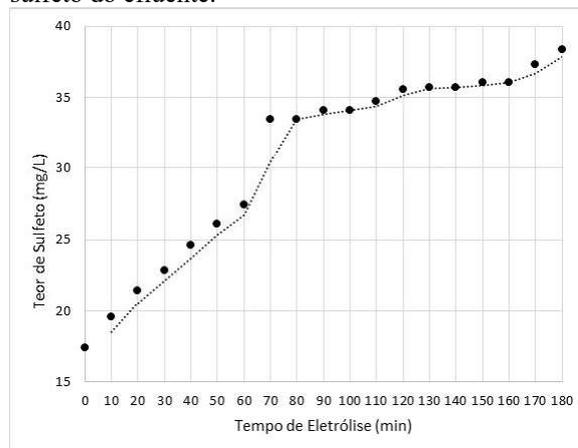
Os efluentes industriais que contenham sulfato em condições anaeróbicas é a principal fonte de sulfeto. O sulfato sofre redução a sulfeto devido à ação biológica, conforme a equação química:



Em menor proporção, o íon sulfeto pode também ser gerado da decomposição biológica de matéria orgânica contendo enxofre. [10]

A Figura 07 mostra um aumento do teor de sulfeto no efluente tratado de 17,43 para 38,4 mg/L após 3 h de eletrofloculação.

Figura 07 – Efeito do tempo de eletrolise no teor de sulfeto do efluente.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A presença de sulfeto pode ser ocasionada pelo baixo teor de oxigênio dissolvido no efluente e ação de bactérias anaeróbicas redutora de sulfatos. Outro motivo pode estar relacionado com o pH do efluente, apesar da alcalinidade do meio ser relativamente elevada, pode-se notar a queda do nível de basicidade e uma leve acidificação do meio devido a formação do ácido sulfídrico (H_2S) pela presença do sulfeto na água. Há também a suposição do sulfeto ser oriundo de microrganismos presentes no efluente ou a baixa dissolução de oxigênio. [11]

A Tabela 02 mostra os parâmetros analisados no efluente tratado em relação a Resolução CONAMA N° 430 DE 13/05/2011 [12].

Tabela 02 – Caracterização do Efluente Tratado após 3h em relação ao CONAMA n° 430.

Parâmetros	Efluente Tratado Após 3 h	Resolução CONAMA 430
pH	6,35	6 a 9
Alcalinidade (mg/L)	533	-
Acidez (mg/L)	0,66	-
Turbidez (NTU)	0,02	40
Teor de Sulfeto (mg/L)	38,4	0,1 a 1,0

Fonte: Autoria própria, 2023.

Pode-se observar que os parâmetros de pH e turbidez estão em conformidade com a Resolução do CONAMA N° 430 (*Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes*), enquanto que o teor de sulfeto está bem acima do permitido pela legislação em torno de 38,4 mg/L.

O consumo de energia em um reator eletrolítico em batelada pode ser expresso pela equação (6): [13]

$$C_{energia} = U \cdot I \cdot t / V \quad (6)$$

Nas condições determinadas de corrente elétrica (I) aplicada de 5A, tensão elétrica aplicada no sistema (U) de 12 V, tempo de aplicação da corrente (t) de 3h e volume de efluente tratado (V) 4.10^{-3} de m^3 , o consumo de energia no tratamento do efluente oleoso por eletrofloculação foi de 45 kWh/ m^3 .

4. Conclusões

Os resultados obtidos mostraram que o tratamento do efluente por eletrofloculação foi eficiente em relação aos parâmetros de pH e turbidez mas ineficiente para o teor de sulfeto com base nos padrões estabelecidos pela Resolução do Conama N° 430. O pH medido após 3 h de eletrolise foi de 6,35, valor dentro da faixa de especificação definida na legislação que varia de 6 a 9. A turbidez verificada no efluente tratado foi de 0,02 NTU, valor bem abaixo do especificado (40 NTU). Já o teor de sulfeto foi bem elevado, em torno de 38,4 mg/L, ultrapassando o limite permitido de 0,1 a 1 mg/L. Ainda, o processo eletroquímico foi capaz de reduzir a acidez em 41,25% e a alcalinidade em 22,84%.

O tempo de eletrólise e a corrente elétrica são fatores importantes para melhorar o desempenho da tratamento de efluente por eletrofloculação, bem como o tipo de eletrodo e distanciamento entre as placas. A corrente elétrica influencia nas quantidades de espécies químicas oxidadas com o eletrodo e, o tempo de eletrólise implica no aumento da concentração de hidróxidos formandos no processo. Vale ressaltar, a importância de estudar com maior profundidade esses fatores sobre a eletrofloculação.

Além disso, analisar outros parâmetros especificados na legislação como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), sólidos totais, e teor de óleos e graxas (TOG) para uma determinação mais eficaz do desempenho do tratamento por eletrofloculação de efluentes provenientes da lavagem de veículos.

5. Referências

- [1] TEIXEIRA, P. C. Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes da lavagem de veículos visando a reciclagem da água. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) UNICAMP.
- [2] ROSA, J. J. Tratamento de efluentes oleosos por floculação pneumática em linha e separação por flotação – processo FF. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- [3] CERQUEIRA, A. A. Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis. 2006. 111f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-graduação em Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006.
- [4] CHEN, G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. Sep. Puri. Technol., 11-41p. 2004.
- [5] AUGUSTO, W. D. S. Utilização da eletrofloculação no tratamento de efluentes de lavagem de máquinas,

visando o reuso. 2018. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Tecnologia, Praia Grande, 2018.

- [6] CRESPILO, F. N.; et al. Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletrofloculação. Quim. Nova, Vol. 27, No. 3, 387-392. 2003. Instituto de Química de São Carlos. São Carlos. 2004.
- [7] MOSTEFA, N. M.; TIR, M. Optimization of oil removal from oily wastewater by electrocoagulation using response surface method. Journal of Hazardous Materials, v. 158, p. 107-115, 2008.
- [8] MOLLAH, M. Y. A.; et al. Electrocoagulation (EC)-science and applications. J. Hazardous Materials, 84(1), 29-41p. 2001.
- [9] GOBBI, L. C. A. Tratamento de água oleosa por eletrofloculação. 2013. Dissertação (Mestrado em Energia) – Centro universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2013.
- [10] MORITA, D.M., “Sulfetos”, em: Caracterização de Águas Residuárias. Curso elaborado para a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. São Paulo. Janeiro, 1996.
- [11] TAKAHASHI, A., “Sulfetos em Interceptores de Esgotos: Ocorrência, Medidas Preventivas e Corretivas”. São Paulo, 1983, 108p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica – USP
- [12] CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução No 430 de 13 de maio de 2011.
- [13] KOBAYA, M.; et al. J. Hazard Mater, 2003, 1-3, 100

Agradecimentos

Ao CNPq – [Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico](#) pelo apoio concedido por meio de bolsa de estudo para desenvolvimento dessa pesquisa.