

TRATAMENTO DE ELETROCOAGULAÇÃO PARA A REMOÇÃO DE POLUENTES NA ÁGUA DE PROCESSAMENTO DE MAÇÃS

GAMBA, V.¹, CARPES, V. M.² e HEMKEMEIER, M.³

¹ Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia Química.

² Universidade de Passo Fundo, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

³ Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura.

E-mail para contato: 150817@upf.br

RESUMO – O sistema de filtração tradicionalmente empregado para o tratamento de água em indústrias de processamento de maçãs, geralmente não é capaz de aumentar o ciclo de vida útil da água no processo. O ciclo de uso dessa água é reduzido, devido às alterações físico-químicas que ocorrem durante o processo industrial. Diante deste cenário, os empreendimentos realizam o descarte contínuo de elevados volumes de água. Sendo assim, a implantação de um sistema de tratamento de água eficiente, pode proporcionar a redução nas vazões de captação e lançamento. A ausência de reagentes químicos, baixa geração de lodo e a compactação do tratamento, tornam a eletrocoagulação (EC), uma tecnologia limpa e promissora na área de tratamento de águas e efluentes com carga orgânica reduzida, sendo uma alternativa para a substituição de sistemas de tratamentos físico-químicos convencionais. O presente trabalho teve como principal objetivo, propor um tratamento de EC avaliando a influência dos fatores: tempo de detenção hidráulica (TDH) e agitação mecânica do sistema, para a remoção de poluentes da água utilizada na cadeia produtiva de maçãs. A aplicação do tratamento de EC apresentou diferentes porcentagens de eficiência na remoção de interferentes físico-químicos nas condições experimentais, podendo estabelecer a sustentabilidade hídrica destes empreendimentos, proporcionando alívio na demanda de água, minimizando os impactos ambientais e os custos operacionais de processo.

1. ÁGUA DE PROCESSAMENTO DE INDÚSTRIA DE MAÇÃS

As indústrias de processamento de maçãs utilizam altas vazões de água com qualidade potável nas calhas para o transporte e higienização das maçãs, a qual é continuamente contaminada com fungos, cor, turbidez e matéria orgânica.

A deterioração dessa água de processamento compromete a qualidade da mesma, e como consequência, frequente e elevado descarte dessa água. Seu tempo de residência no processo representa um grave risco para a qualidade fisiológica, metabólica, sensorial e sanitária das maçãs, visto que por meio dessas lesões mecânicas pode haver a disseminação de doenças fúngicas.

As características da água de processo variam conforme a época e quantidade de produto processado, visto que, em épocas de maior residência dessa água dentro da planta industrial,

ocorre uma maior viabilidade de contaminação fúngica, concentração de poluentes e material biodegradável.

1.2. Caracterização

As características da água de processamento foram avaliadas durante o ano e coletadas em alternados períodos da colheita e posterior processamento das maçãs. Diante dessa caracterização físico-química e microbiológica, é possível determinar que, em períodos onde a residência dessa água for maior na planta industrial, a contaminação fúngica e a carga orgânica podem influenciar diretamente na qualidade e potabilidade dessa água.

Por apresentar baixa carga orgânica, o estudo da remoção desses poluentes pelo princípio do tratamento eletrolítico foi avaliado, a fim de aumentar o ciclo de vida útil da água de processamento.

2. ELETROCOAGULAÇÃO

A eletrocoagulação (EC) é um processo de tratamento eletroquímico em que é aplicada uma corrente contínua entre eletrodos de metal, imersos em água e utiliza ânodos solúveis (consumíveis) feitos geralmente de ferro (Fe) ou alumínio (Al). Com a dissolução eletrolítica de íons metálicos dissolvidos, Al^{3+} e Fe^{2+} , pode haver a formação de uma vasta gama de espécies de coagulantes e hidróxidos poliméricos, que desestabilizam e agregam as partículas em suspensão ou precipitam e adsorvem os contaminantes dissolvidos em água (CHEN, 2004; MOLLAH et al., 2004; MATILAINEN; VEPSÄLÄINEN; SILLANPÄÄ, 2010).

Na EC os íons de coagulação são produzidos "*in situ*" e envolve três etapas sucessivas: 1ª) formação de coagulantes por oxidação eletrolítica do "eletrodo de sacrifício"; 2ª) a desestabilização das partículas contaminantes em suspensão e a quebra de emulsões; 3ª) agregação das fases desestabilizadas para formação de flocos (CHEN, 2004; MERZOUK; MADANI; SEKKI, 2010; MOLLAH et al., 2004; TANNERU; CHELLAM, 2012). Os ânodos de metal consumíveis ("eletrodo de sacrifício" ou eletrodo dissociável) são usados para produzir continuamente hidróxidos poliméricos na vizinhança do ânodo (MOLLAH et al., 2004; RAJKUMAR; PALANIVELU, 2004).

Em um sistema de EC o conjunto de eletrodos é geralmente ligado a uma fonte de corrente contínua externa, que aplica uma diferença de potencial para os eletrodos de metal, ocorrendo à formação de um campo elétrico entre eles (MOLLAH et al., 2004). A geração de íons metálicos ocorre no ânodo e a partir do cátodo há a liberação do gás hidrogênio (H^2). O gás hidrogênio tem o papel de auxiliar as partículas floculadas a flutuarem no tratamento de água e este processo é chamado de eletroflotação (CHEN, 2004).

Dessa forma, os íons de carga positiva (cátions) se movimentam em direção ao cátodo (eletrodo de carga negativa) e os ânions se movimentam em direção ao ânodo (eletrodo de carga positiva). Assim, os íons são neutralizados eletricamente nos eletrodos. A quantidade de metal depositado ou dissolvido é dependente da quantidade de eletricidade que passa através da solução eletrolítica (CHEN, 2004; MOLLAH et al., 2004; TANNERU; CHELLAM, 2012).

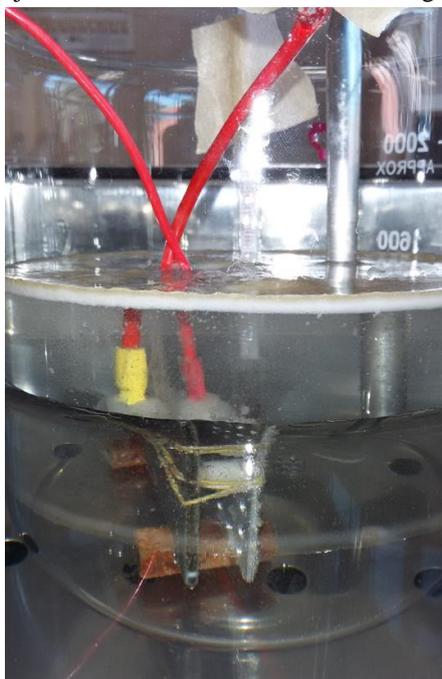
A ausência de reagentes químicos, baixa geração de lodo e compactação do processo, tornam a eletrocoagulação (EC), uma tecnologia limpa e promissora na área de tratamento de águas e efluentes com carga orgânica reduzida, sendo uma alternativa para a substituição de sistemas de tratamentos físico-químicos convencionais.

O presente trabalho teve como principal objetivo, propor um tratamento de EC avaliando a influência dos fatores: tempo de detenção hidráulica (TDH) e agitação mecânica do sistema, para a remoção de poluentes da água utilizada na cadeia produtiva de maçãs.

2.1. Tratamento Eletrolítico de Eletrocoagulação

Para o tratamento de EC, utilizou-se um reator eletrolítico composto por cuba eletrolítica (béquer de 2,0 L), banho termostático, fonte de corrente contínua, conectores elétricos, sistema de agitação mecânica e um conjunto de eletrodos de aço carbono (cátodo) com área de $6,40 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ e o ânodo de alumínio com área de $5,20 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, dispostos verticalmente no reator. O espaçamento entre os eletrodos foi mantido constante (10 mm). O tratamento de EC foi realizado sob condições galvanostáticas e foram mantidos constantes a densidade de corrente (20 A/m^2), pH (6,00) e temperatura ($20 \text{ }^\circ\text{C}$). A Figura 1 apresenta o arranjo vertical dos eletrodos e a haste de agitação mecânica.

Figura 1 – Arranjo vertical dos eletrodos e a haste de agitação mecânica



Fonte: Autor (2016).

As variáveis independentes descritas na Tabela 1, foram TDH de 20 e 40 minutos e agitação do sistema de 0 e 40 rotações por minuto (rpm). Os fatores de resposta foram a remoção dos poluentes: Matéria Orgânica (MO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST), turbidez e cor.

Tabela 1 – Tratamento sobre influência das variáveis independentes

ENSAIO	TDH (min).	Agitação (rpm).
1	20	0
2	40	0
3	20	40
4	40	40

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

3. RESULTADOS

A Tabela 2 expõe a eficiência de remoção dos poluentes obtidos pelo tratamento de EC.

Tabela 2 - Eficiência de remoção dos poluentes

ENSAIO	Eficiência (% de remoção)				
	MO	DQO	SST	Turbidez	Cor
1	14,81 ± 7,85 ^a	34,64 ± 1,97 ^d	74,16 ± 1,98 ^a	53,93 ± 1,95 ^a	24,19 ± 2,79 ^a
2	44,45 ± 9,00 ^b	42,69 ± 1,00 ^b	80,21 ± 0,26 ^b	73,02 ± 5,83 ^{bc}	51,61 ± 0,0 ^b
3	46,15 ± 7,69 ^b	64,28 ± 1,51 ^c	86,75 ± 2,29 ^c	70,78 ± 1,95 ^c	53,21 ± 2,77 ^b
4	55,56 ± 9,62 ^b	80,86 ± 2,01 ^d	90,06 ± 1,98 ^c	79,77 ± 0,0 ^b	67,74 ± 2,79 ^c

Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. Valores seguidos de letras diferentes na mesma coluna diferem-se pelo Teste de Tukey (p < 0,05).

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016).

Conforme os resultados expostos na Tabela 2, observa-se que a aplicação do tratamento de EC apresentou as melhores eficiências na remoção dos poluentes, pelo Teste de Tukey, nas condições experimentais de TDH de 40 minutos e agitação de 40 rpm. Essas condições auxiliaram na homogeneização e transporte do coagulante formado pelo ânodo de alumínio, que gerou a neutralização das cargas superficiais das partículas coloidais e suspensas dos contaminantes dissolvidos em água, desestabilizando-as. A aglutinação dessas partículas desestabilizadas pelos hidróxidos metálicos proporcionou então, a formação dos flocos. Simultaneamente, as microbolhas de gás oxigênio geradas no ânodo e de gás hidrogênio geradas no cátodo, formadas pela hidrólise da água, ascenderam à superfície por eletroflotação, carregando por arraste, os flocos formados, promovendo assim, a remoção dos poluentes (CAN, 2014; XU et al., 2015) como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Lodo na superfície do tratamento de EC



Fonte: Autor (2016).

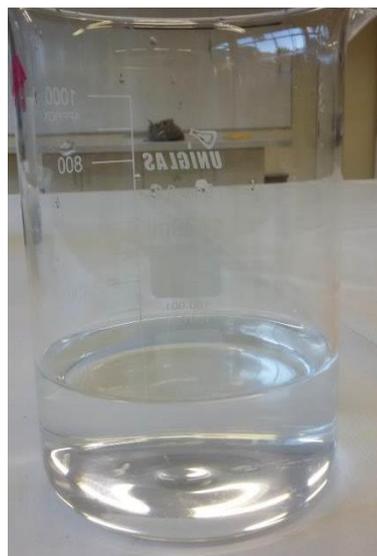
A remoção de cor e turbidez pode ser observada nas Figuras 3 e 4, onde houve a clarificação da água após o tratamento de EC.

Figura 3 – Antes do tratamento de EC



Fonte: Autor (2016).

Figura 4 – Após o tratamento de EC



Fonte: Autor (2016).

4. CONCLUSÃO

Conforme os resultados analisados, as condições de TDH e agitação do sistema de EC podem influenciar no tratamento de água de processamento de maçãs e as variáveis que apresentaram as maiores eficiências na remoção dos poluentes: MO, DQO, SST, turbidez e cor, foram TDH = 40 minutos e agitação = 40 rpm.

Diante do exposto, a implantação de um sistema de tratamento de EC nas indústrias da cadeia produtiva de maçãs, pode estabelecer a sustentabilidade hídrica desses empreendimentos, proporcionando alívio na demanda de água, minimizando os impactos ambientais e os custos de processo.

5. REFERÊNCIAS

CAN, O. T. COD removal from fruit-juice production wastewater by electrooxidation electrocoagulation and electro-Fenton processes. **Desalination and Water Treatment**, v. 52, p. 65-73, 2014.

CARPES, V, M. **Sistema híbrido de eletrólise e microfiltração para o tratamento de água de processamento de maçãs**. 2017. 136 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo – RS, 2017.

CHEN, G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 38, p. 11-41, 2004.

MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINEN, M.; SILLANPÄÄ, M. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 159, p. 189-197, 2010.

MERZOUK, B.; MADANI, K.; SEKKI, A. Using electrocoagulation–electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies. **Desalination**, v. 250, p. 573-577, 2010.

MOLLAH, M. Y. A.; MORKOVISKY, P.; GOMES, M. K.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. **Journal of Hazardous Materials**, v. B114, p. 199-210, 2004.

RAJKUMAR, D.; PALANIVELU, K. Electrochemical treatment of industrial wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. B113, p. 123-129, 2004.

TANNERU, C. T.; CHELLAM, S. Mechanisms of virus control during iron electrocoagulation e microfiltration of surface water. **WaterResearch**, v. 46, p. 2011-2120, 2012.

XU, W.; YUE, Q.; GAO, B.; DU, B. Impacts of organic coagulant aid on purification performance and membrane fouling of coagulation/ultrafiltration hybrid process with different Al-based coagulants. **Desalination**, v. 363, p. 126-133, 2015.