

REMOÇÃO DE CORANTE TÊXTIL EM PROCESSO COMBINADO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E MICROFILTRAÇÃO

Rebecca Manesco Paixão¹, Isabela Maria Reck², Luiz Henrique Biscaia Ribeiro da Silva³,
Marcelo Fernandes Vieira⁴, Rosângela Bergamasco⁵, Angelica Marquetotti Salcedo
Vieira⁶

¹Departamento de Engenharia Química, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM. rebecca.paixao@gmail.com

²Departamento de Engenharia de Alimentos, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM.
isabelareck@hotmail.com

³Departamento de Engenharia Química, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM. luizhbiscai@gmail.com

⁴Departamento de Engenharia Química, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM. marcelofviera@hotmail.com

⁵Departamento de Engenharia Química, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM. ro.bergamasco@hotmail.com

⁶Departamento de Engenharia de Alimentos, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM.
angelicamsalcedo@hotmail.com

RESUMO

A poluição aquática com corantes provenientes de processos industriais representa um grande desafio na atualidade. Neste estudo, a remoção do corante reativo preto 5 (RP5) foi estudada aplicando processos individuais de coagulação/floculação (CF) e de microfiltração (MF), assim como a combinação de ambos os processos (CF-MF). No processo de CF, foram utilizados três coagulantes naturais produzidos a partir das sementes de *Moringa oleífera* Lam. (MOS): albumina (ALB), globulina (GLO) e extrato salino (ES). Já no processo de MF, foram utilizadas membranas comerciais de polietersulfona. Percebeu-se que sem a combinação de ambos os processos, eles sozinhos não foram capazes de atingir elevadas remoções do RP5, no entanto, quando combinados, os mesmos viabilizaram as remoções do corante têxtil, devido à formação de agregados no processo de CF, maiores que os poros da membrana. Com o coagulante ALB, o processo combinado de CF-MF atingiu remoções superiores a 95%. Os resultados demonstram o potencial do uso das proteínas coagulantes purificadas da *Moringa oleífera* Lam. em combinação com processos de microfiltração para o tratamento de água.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação; Corante têxtil; Floculação; Microfiltração.

1 INTRODUÇÃO

As indústrias têxteis, em seu processo industrial, consomem grandes quantidades de água e de reagentes químicos complexos, o que resulta em um efluente líquido altamente colorido (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012), cujas concentrações variam de 10 a 200 mg L⁻¹ (PANDEY; SINGH; IYENGAR, 2007). Os corantes presentes nos efluentes líquidos são resultado de um processo de colorimento ineficiente, o que resulta em 10 – 15% de corantes entrando diretamente no corpo hídrico receptor (NETHAJI; SIVASAMY, 2011). Uma vez que eles entram na água, torna-se difícil de tratar, visto que os corantes apresentam origem sintética e complexa estrutura molecular, o que os torna mais estáveis e difícil de serem degradados (BOURAIE; DIN, 2016).

Nos corpos hídricos, os corantes acarretam em efeito estético negativo, reduzem a penetração da luz solar, alteram a dinâmica do ecossistema aquático, além de serem considerados cancerígenos (DOTTO *et al.*, 2019; PATHANIA; SHARMA; SIDDIQI, 2016). Dessa forma, o tratamento de efluentes contendo corante tem-se tornado um grande desafio.

Dentre os processos de tratamento para remoção de corantes, a coagulação/floculação merece destaque. O processo consiste na adição de coagulantes sintéticos ou naturais, que vão possibilitar a formação de agregados das partículas presentes na solução, os quais podem ser removidos na sequência por sedimentação e/ou filtração (ZEMMOURI *et al.*, 2012).

A coagulação/floculação com coagulantes naturais merece destaque, uma vez que são agentes não-tóxicos e biodegradáveis (Nishi *et al.*, 2012). As sementes de *Moringa*

oleifera Lam. (MOS) são conhecidas por conterem agentes ativos com propriedades coagulantes (BAPTISTA *et al.*, 2015a) sendo utilizada na forma de proteínas purificadas ou de extrato bruto para tratar diversos tipos de efluentes líquidos (ADESINA *et al.*, 2019; BAPTISTA *et al.*, 2017; BELUCI *et al.*, 2019; MATEUS *et al.*, 2018; RECK *et al.*, 2019). A sua ação deve-se à presença de proteínas catiônicas com massa molecular de 6 a 16 kDa, capazes de desestabilizar e precipitar partículas orgânicas e minerais presentes em solução aquosa (NDABIGENGESERE; NARASIAH, 1998).

Membranas de filtração são barreiras físicas capazes de remover diversos contaminantes, dentre eles os corantes. No entanto, o principal problema associado ao processo é o *fouling* e a conseqüente queda do fluxo de permeado e até mesmo redução da rejeição do soluto (COUTO; LANGE; AMARAL, 2018; IRITANI *et al.*, 2015). Dessa forma, o uso conjunto do processo de coagulação/floculação seguido de filtração, tem-se tornado atrativo, formando partículas maiores antes que elas possam alcançar a superfície da membrana (BELUCI *et al.*, 2019; KATALO *et al.*, 2018; LIANG *et al.*, 2014).

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência das MOS, da fração proteica albumina, globulina e do extrato salino como coagulantes para remoção de corante têxtil reativo preto 5 presente em solução aquosa, em associação com processo de microfiltração com membranas comerciais de polietersulfona.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 PREPARO DO CORANTE TÊXTIL

O corante preto reativo 5 foi doado pela Texpal Química LTDA. Uma solução aquosa do corante PR5 foi preparada e utilizada nos ensaios de coagulação/floculação, seguida de microfiltração.

A concentração inicial e final do corante após os processos de tratamento foi determinada a partir de uma curva preparada (0 – 100 mg/L), por meio de um espectrofotômetro UV/Vis (DR 5000 HACH Spectrum) no comprimento de onda de 597 nm.

O potencial zeta do PR5 foi medido com um Beckman Coulter Delsa™ Nano Zeta Potential e a análise do tamanho de partícula foi realizada usando o ZETASIZER Nano Series ZSP (Malvern Instruments) seguindo as instruções do fabricante.

2.2 PREPARO DOS COAGULANTES

As sementes de *Moringa Oleifera* Lam. (MOS) foram obtidas em Aracaju-SE. Para as frações protéicas, o fracionamento foi realizado de acordo com a metodologia proposta por Osborne (1878) com modificações segundo Baptista *et al.* (2017), que adota o critério de solubilidade em diferentes sistemas de extração. Inicialmente, o MOS foi descascado e triturado. Em seguida, o pó obtido foi desengordurado por extração lipídica 1:5 (m:v) com n-hexano, agitação por 2 horas à temperatura ambiente, seguido de secagem em estufa com circulação de ar a 35 ° C.

A extração de proteína aquosa (20%) foi realizada sob agitação mecânica por 1 hora e a separação foi realizada por centrifugação a 15.000 rpm por 40 minutos. O sobrenadante foi dialisado em membranas de 14 kDa durante 24 - 36 h em água destilada. A centrifugação subsequente (15.000 rpm por 40 min) foi então realizada para a separação das frações protéicas em albumina (ALB) e globulina (GLO). A fração contendo albumina passou por um processo de liofilização e a fração contendo globulina foi seca em estufa com circulação de ar a 35 ° C por 24 horas (RECK *et al.*, 2019).

Para a solução salina, 1 g de MOS foram descascados manualmente e a seguir triturados em um liquidificador com NaCl 1M por aproximadamente 2 minutos. Em seguida,

a solução foi agitada em agitador magnético por 30 minutos e, em seguida, filtrada a vácuo (MADRONA *et al.*, 2010).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS COAGULANTES

A caracterização morfológica dos coagulantes foi realizada em microscópio eletrônico de varredura (MEV - Quanta 250 FEI). As amostras receberam uma camada de ouro para conduzir eletricidade e todas as medições foram conduzidas em condições padrão de alto vácuo.

2.4 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados nas melhores condições para os coagulantes de albumina (ALB), globulina (GLO) e extrato salino (ES) relatados anteriormente (BAPTISTA *et al.*, 2015; RECK *et al.*, 2019). Segundo os autores, a melhor concentração das frações albumina e proteína globulina na remoção do corante PR5 foi de 115 mg/L e 200 mg/L, respectivamente. Para o extrato salino, Baptista *et al.* (2015) avaliaram a concentração do extrato salino no tratamento de água bruta do rio Pirapó e determinaram que a melhor concentração foi de 34,46 mg/L.

Foi utilizado um jar test (Ethik Technology, 218-6 LDB) com regulador de velocidade de potes contendo 300 mL de PR5 na concentração inicial de 20 mg/L sem ajuste de pH. As condições de operação adotadas foram mistura rápida por 3 minutos a 100 rpm e mistura lenta por 15 min a 15 rpm.

O potencial zeta dos coagulantes foi avaliado usando o mesmo equipamento descrito anteriormente, seguindo as instruções do fabricante.

2.5 ENSAIOS DE MICROFILTRAÇÃO

Membranas de microfiltração de polietersulfona comerciais (0,20 µm, Millipore®) foram usadas no processo de microfiltração. Nos ensaios de filtração, foi utilizado um módulo de escala de bancada (PAM-Selective Membranes®), com área efetiva de membrana de $11,34 \times 10^{-4} \text{ m}^2$.

Primeiramente, as membranas foram lavadas com água destilada e compactadas por 15 min a 1 bar em temperatura ambiente de $25 \pm 2 \text{ }^\circ \text{C}$. Sequencialmente, o fluxo inicial (J_0), PR5 (J_1) e final (J_2) foram determinados, a pressão constante de 0,5 bar usando a Eq. (1):

$$J = \frac{m}{\rho \cdot t \cdot A} \quad (1)$$

Onde J (L/h.m²) denota fluxos de permeado, m é a massa de permeado (kg), ρ é a massa de água específica (kg/m³), t é o tempo de coleta e A é a área de filtração efetiva (m²).

Os testes de microfiltração PR5 foram conduzidos após a coagulação/floculação com os coagulantes ALB, GLO e ES em estudo sem sedimentação prévia. Ensaios de microfiltração sem pré-tratamento também foram realizados para fins comparativos. A Tabela 1 mostra os nomes dos processos de acordo com o tratamento empregado.

Tabela 1: Processos empregados de coagulação/floculação e microfiltração

Denominação	Processo aplicado
MF ₀	Microfiltração sem pré-tratamento
CF _{ALB}	Coagulação/floculação com albumina
CF _{GLO}	Coagulação/floculação com globulina
CF _{ES}	Coagulação/floculação com extrato salino
CF-MF _{ALB}	Coagulação/floculação com albumina, seguida de microfiltração

CF-MF _{GLO}	Coagulação/floculação com globulina, seguida de microfiltração
CF-MF _{ES}	Coagulação/floculação com extrato salino, seguida de microfiltração

A eficiência de remoção de PR5 nos processos de tratamento foi determinada pela Eq. (2):

$$\% R = \left(1 - \frac{c_1}{c_0}\right) \times 100 \quad (2)$$

Onde c_0 é a concentração inicial de PR5 e c_1 é a concentração de PR5 após os processos de tratamento

Após a filtração de PR5, as membranas foram lavadas e a água destilada foi filtrada novamente para determinar a recuperação de incrustação e fluxo. A incrustação total (% TF) foi determinada pela Eq. (3) enquanto a porcentagem de recuperação de fluxo (% FR) foi determinada pela Eq. (4):

$$\% TF = \frac{J_0 - J_1}{J_0} \times 100 \quad (3)$$

$$\% FR = \frac{J_2}{J_0} \times 100 \quad (4)$$

Onde J_0 (L/h.m²) é o fluxo inicial de água, J_1 (L/h.m²) corresponde ao fluxo de corante e J_2 (L/h.m²) é o fluxo final de água.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta as microscopias eletrônicas de varredura obtidas para ALB (a), GLO (b) e ES (c).

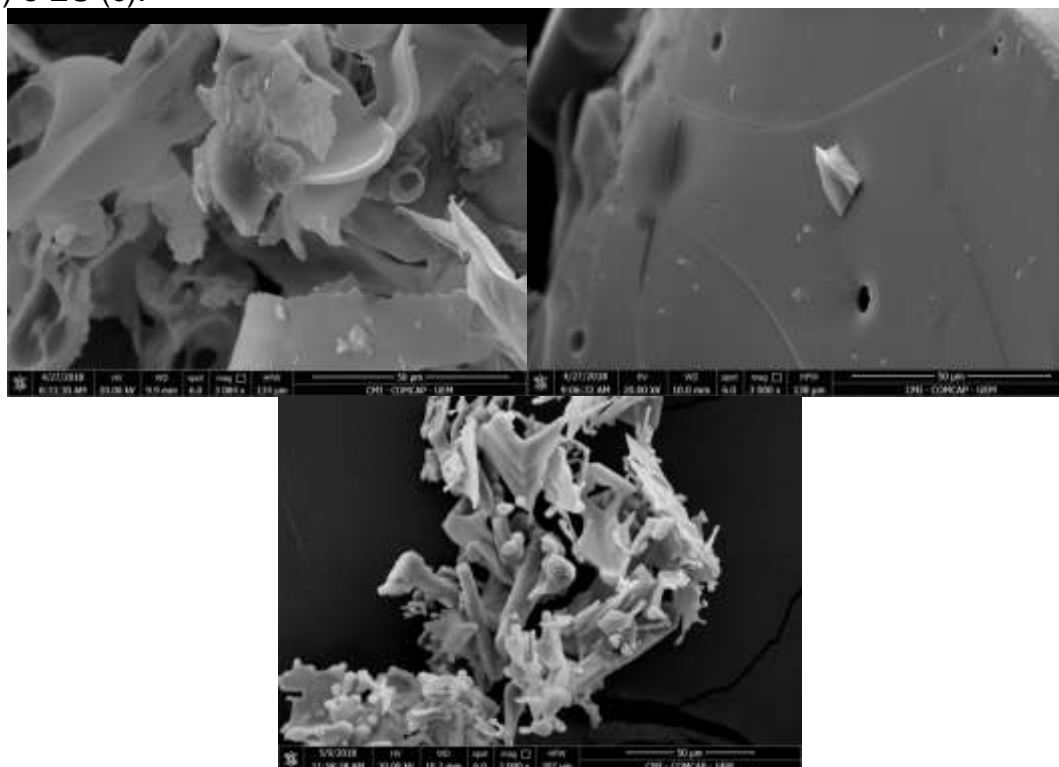


Figura 1: MEV dos coagulantes ALB (a), GLO (b) e ES (c).

A partir das imagens de MEV, pode-se observar que a fração proteica ALB apresenta uma estrutura mais heterogênea e a fração proteica GLO apresenta formato mais homogêneo e rígido. Este fato se deve ao método de extração que as proteínas da semente de moringa foram submetidas, o qual fraciona as proteínas de acordo com sua solubilidade. Assim, por apresentar características de solubilidade, a albumina tem estrutura menos rígida que a globulina, fração insolúvel. Na microscopia do ES pode-se observar que o

material apresenta características morfológicas distribuídas com heterogeneidade, e é visível a presença de deformações na superfície do tecido vegetal, além da presença de estruturas de forma regular que confirmam a presença do sal no extrato.

Em um estudo anterior, verificou-se que as frações de proteínas ALB são compostas de grandes quantidades de carbono e oxigênio, além de elementos como cálcio, magnésio, potássio e enxofre. Ainda em pequenas quantidades, foram encontrados sódio, cloro e alumínio. Já para a GLO, notou-se a presença de carbono e oxigênio em maiores quantidades, além de elementos como ferro, fosforo e enxofre (RECK *et al.*, 2019). Estas diferenças constituintes são fatores que influenciam diretamente na coagulação/floculação dos corantes.

Como esperado, o potencial zeta dos coagulantes em estudo foram positivos. ALB apresentou valor de $10,57 \pm 0,42$ mV, GLO de $28,98 \pm 0,32$ mV e ES de $2,78 \pm 0,33$ mV (Tabela 2). Os maiores valores encontrados tanto para ALB quanto para GLO podem estar relacionados ao seu método de extração pois ambas apresentam-se semi-purificadas se comparada ao ES (BAPTISTA *et al.*, 2017).

A Tabela 2 demonstra o potencial zeta do RB5 antes e após o processo de CF, assim como a eficiência de remoção do corante.

Tabela 2: parâmetros avaliados durante o processo de coagulação/floculação do corante PR5.

Coagulante	Zeta dos coagulantes (mV)	Potencial zeta (mV) inicial da solução corante	Potencial zeta (mV) final	Remoção do corante (%)
ALB	$10,57 \pm 0,42$	$-27 \pm 0,32$	$14,75 \pm 0,87$	20,38
GLO	$28,98 \pm 0,32$		$-8,78 \pm 0,17$	52,83
ES	$2,78 \pm 0,33$		$-9,27 \pm 0,05$	12,5

A partir dos resultados, é possível observar que o potencial zeta da solução de PR5 foi alterado após o processo de coagulação/floculação, uma vez que os coagulantes e a solução de PR5 possuem cargas opostas.

É sabido que o processo de coagulação/floculação envolve os mecanismos de neutralização de cargas e adsorção (NORDMARK; PRZYBYCIEN; TILTON, 2018), e embora ainda não tenha sido completamente elucidado, acredita-se que as proteínas presentes na MOS agem como polieletrólitos catiônicos durante o processo de coagulação (BICHI, 2013), indicando que as cargas de superfície foram neutralizadas após o processo, auxiliando assim no processo de remoção. Por meio da Tabela 2 é possível verificar que após o processo de coagulação/floculação com MOS ocorreram reações de repulsão e atração eletrostática na solução tratada, alterando a estabilidade da suspensão e assim os valores de potencial zeta (ERTUGAY; BAYHAN, 2007).

De modo geral, as baixas remoções do PR5 obtidas no processo de CF justificam a associação com o processo de filtração com membranas, visando aumentar a eficiência global do processo. A maior porcentagem de remoção obtida foi para o coagulante GLO, o qual formou partículas maiores no processo de coagulação/floculação, as quais sedimentaram e promoveram a remoção encontrada de 52,83 %. Este fato pode estar relacionado com a massa molecular desta proteína que, de acordo com Baptista *et al.* (2017), está acima de 66 kDa, enquanto a ALB apresentou componentes com massas moleculares distribuídos em uma faixa de 66 kDa, 12,4 kDa e 0,9kDa e polipeptídeos com massa molar abaixo de 0,9 kDa. Esta diferença de massa pode ter influenciado diretamente no tamanho dos flocos formados durante o processo.

Além disso, outro fato importante pode ter influenciado de maneira significativa a maior capacidade de coagulação do corante com a GLO. O potencial zeta da fração proteica albumina está em torno de 10 mV, da globulina em torno de 30 mV e do corante PR5 aproximadamente -27 mV. Com base nestes valores conclui-se que as frações

protéicas e o corante apresentam cargas opostas, e como o processo de coagulação/floculação é direcionado pelo mecanismo de neutralização de cargas, este fato auxilia no processo de neutralização com a proteína globulina, pois grandes potenciais zeta preveem uma dispersão mais estável.

Os resultados de fluxo de permeado obtidos para a microfiltração do PR5 após o processo de coagulação/floculação, assim como sem a associação do processo, encontram-se na Figura 3. De modo geral, nota-se fluxos semelhantes e com boa recuperação final.

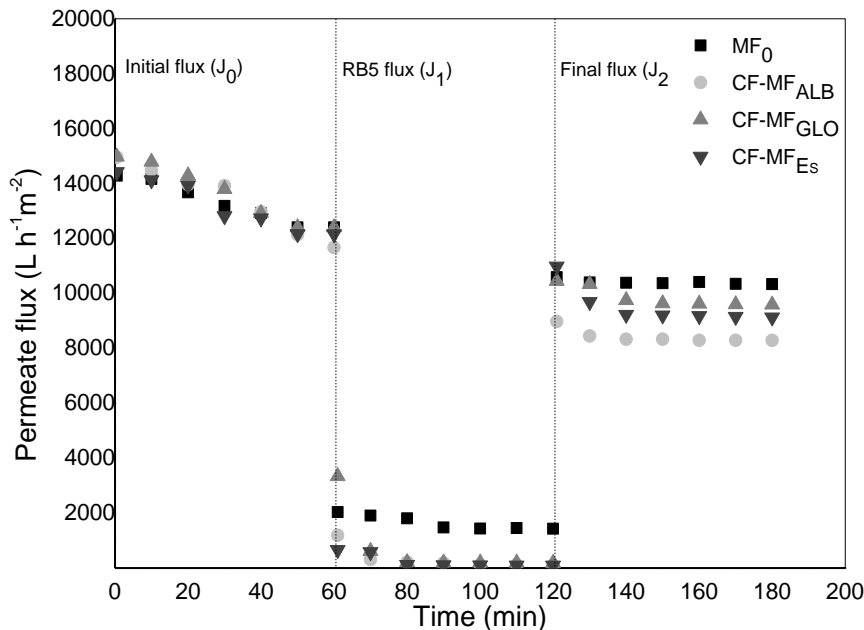


Figura 3: Fluxos de permeado para o processo de microfiltração.

A Tabela 3 sumariza os resultados, para melhor avaliação dos dados. Nota-se que a queda do fluxo na filtração do corante RB5 ocorreu para todos os processos avaliados, e foi mais expressiva quando associado ao processo de coagulação/floculação com ALB e ES. Provavelmente, isso ocorreu devido à aglomeração das partículas de PR5 se acumularem nos poros da membrana.

Tabela 3: parâmetros avaliados durante o processo de microfiltração

Parâmetros	MF ₀	CF-MF _{ALB}	CF-MF _{GLO}	CF-MF _{ES}
Permeabilidade (L/h.m ² .bar)	18463±112			
Remoção PR5 (%)	5,59	96,71	87,31	28,67

Quanto às porcentagens de remoção do PR5, percebe-se que sozinho, o processo de microfiltração não é eficiente, o que justifica a associação com o processo de coagulação/floculação anteriormente. Pode-se dizer que após a coagulação/floculação, as partículas presentes na solução de corante coagularam, originando flocos de dimensões maiores que os poros da membrana, aumentando assim as remoções com o processo combinado de CF-MF. Além disso, quando utilizamos o coagulante ALB a remoção do PR5 subiu de 20,38% (CF) para 96,71% (CF-MF_{ALB}) (Figura 4).



Figura 4: Solução de PR5 (a) inicial, (b) após coagulação/floculação e (c) após microfiltração com o coagulante albumina.

Resultados semelhantes foram encontrados na literatura para a remoção de corantes presentes em solução aquosa, associando o processo de coagulação/floculação com membranas de ultrafiltração (BELUCI *et al.*, 2019) e de nanofiltração (LIANG *et al.*, 2014), comprovando que a combinação de ambos os processos auxilia na superação das limitações que cada um apresenta separadamente.

4 CONCLUSÃO

A combinação do processo de coagulação/floculação com as sementes de *Moringa oleifera* Lam. em diferentes formas de coagulante (albumina, globulina e extrato salino) com o processo de microfiltração com membranas comerciais de polietersulfona apresentou bons resultados de remoção do PR5 presente em solução aquosa. O coagulante albumina conseguiu remover apenas 20,38% do PR5, no entanto quando associado ao processo de microfiltração, a remoção aumentou para 96,71%. Dessa forma, o processo híbrido apresentado demonstrou a eficiência na utilização para remoção de corantes têxteis presentes em solução aquosa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ADESINA, O. A. *et al.* Response surface methodology approach to optimization of process parameter for coagulation process of surface water using *Moringa oleifera* seed. **South African Journal of Chemical Engineering**, v. 28, p. 46-51, 2019.

BAPTISTA, A. T. A. *et al.* Coagulation – flocculation process with ultrafiltered saline extract

of Moringa oleifera for the treatment of surface water. **CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL**, v. 276, p. 166-173, 2015.

BAPTISTA, A. T. A. *et al.* Protein fractionation of seeds of Moringa oleifera Lam and its application in superficial water treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 180, p. 114-124, 2017.

BELUCI, N. DE C. L. *et al.* Hybrid treatment of coagulation/flocculation process followed by ultrafiltration in TiO₂-modified membranes to improve the removal of reactive black 5 dye. **Science of The Total Environment**, v. 664, p. 222-229, 10 maio 2019.

BICHI, M. H. A review of the applications of Moringa oleifera seeds extract in water treatment. **Civil and Environmental Reserach**, v. 3, n. 8, p. 1-11, 2013.

BOURAIE, M. EL; DIN, W. S. EL. Biodegradation of Reactive Black 5 by Aeromonas hydrophila strain isolated from dye-contaminated textile wastewater. **Sustainable Environment Research**, v. 26, n. 5, p. 209-216, 2016.

COUTO, C. F.; LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S. A critical review on membrane separation processes applied to remove pharmaceutically active compounds from water and wastewater. **Journal of Water Process Engineering**, v. 26, p. 156-175, 2018.

DOTTO, J. *et al.* Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 656–665, 2019.

ERTUGAY, N.; BAYHAN, Y. K. Biosorption of Cr (VI) from aqueous solutions by biomass of Agarius bisporus. **Journal of Hazardous Materials**, v. 154, n. 432-439, 2007.

IRITANI, E. *et al.* Membrane pore blocking during cake formation in constant pressure and constant flux dead-end microfiltration of very dilute colloids. **Chemical Engineering Science**, v. 122, p. 465-473, 2015.

KATALO, R. *et al.* Moringa oleifera coagulation as pretreatment prior to microfiltration for membrane fouling mitigation. **Environmental Science Water Research & Technology**, v. 4, p. 1604-1611, 2018.

LIANG, C.-Z. *et al.* Treatment of highly concentrated wastewater containing multiple synthetic dyes by a combined process of coagulation/flocculation and nanofiltration. **Journal of Membrane Science**, v. 469, p. 306-315, 2014.

MADRONA, G. S. *et al.* Study of the effect of saline solution on the extraction of the Moringa oleifera seed's active component for water treatment. **Water Air Soil Pollut2**, v. 211, p. 409-415, 2010.

MATEUS, G. A. P. *et al.* Obtaining drinking water using a magnetic coagulant composed of magnetite nanoparticles functionalized with Moringa oleifera seed extract. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 4, p. 4084-4092, 2018.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S. Quality of water treated by coagulation using Moringa oleifera seeds. **Water Research**, v. 32, n. 3, p. 781-791, 1998.

- NETHAJI, S.; SIVASAMY, A. Adsorptive removal of an acid dye by lignocellulosic waste biomass activated carbon: Equilibrium and kinetic studies. **Chemosphere**, v. 82, n. 10, p. 1367-1372, 2011.
- NISHI, L. *et al.* Hybrid process of coagulation/flocculation with *Moringa oleifera* followed by ultrafiltration to remove *Microcystis sp.* cells from water supply. v. 42, n. august, p. 865-872, 2012.
- NORDMARK, B. A.; PRZYBYCIEN, T. M.; TILTON, R. D. Effect of humic acids on the kaolin coagulation performance of *Moringa oleifera* proteins. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 4, p. 4564-4572, 2018.
- PANDEY, A.; SINGH, P.; IYENGAR, L. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 59, n. 2, p. 73-84, 2007.
- PATHANIA, D.; SHARMA, A.; SIDDIQI, Z.-M. Removal of congo red dye from aqueous system using *Phoenix dactylifera* seeds. **Journal of Molecular Liquids**, v. 219, p. 359-367, 2016.
- RECK, I. M. *et al.* Protein Fractionation of *Moringa oleifera* Lam. Seeds and Functionalization with Magnetic Particles for the Treatment of Reactive Black 5 Solution. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 97, n. 8, p. 2309-2317, 2019.
- VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 93, n. 1, p. 154-168, 2012.
- ZEMMOURI, H. *et al.* Coagulation Flocculation Test of Keddara's Water Dam Using Chitosan and Sulfate Aluminium. **Procedia Engineering**, v. 33, p. 254-260, 2012.