

## DESENVOLVIMENTO DE COAGULANTES MAGNÉTICOS PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL.

Heloisa Cristina de Souza Baptista<sup>1</sup>

Marcelo Fernandes Vieira<sup>2</sup>

Rosângela Bergamasco<sup>3</sup>

Angélica Marquetotti Salcedo Vieira<sup>4</sup>

### Recursos Hídricos e Qualidade da Água

#### *Resumo*

Neste estudo foi realizada a associação entre nanopartículas produzidas a partir de óxido de ferro, na forma de magnetita, e o extrato salino da folha do *Ananas comosus* para obtenção de um coagulante magnético capaz de tratar a água proveniente da bacia do rio Pirapó, Maringá-PR. A metodologia proposta para a produção do coagulante é simples, combinando o processo de co-precipitação para síntese das nanopartículas com um método de funcionalização usando o extrato salino das folhas de abacaxi, as quais foram obtidas por meio de doação de produtores da região. Os coagulantes obtidos foram aplicados nos processos de coagulação-floculação-sedimentação (CFS), sob a influência de um campo magnético externo, para o tratamento das amostras da água e como resultados foram obtidas remoções de 70,37% para turbidez, 64,00% para cor aparente e 8,65% para compostos orgânicos com absorção em UV<sub>254nm</sub>, considerando 10 minutos de sedimentação magnética. Após os ensaios CFS, foram realizadas análises microbiológicas que puderam demonstrar que o coagulante sintetizado foi capaz de promover a sedimentação total da bactéria *Escherichia coli*. Diante do exposto, conclui-se que o coagulante magnético desenvolvido forneceu parâmetros satisfatórios de remoção de turbidez, cor aparente e UV<sub>254nm</sub>, além de apresentar potencial bacteriológico, com apenas 10 minutos de sedimentação magnética, apresentando também potencial para aplicação em tratamentos de águas superficiais e na indústria no tratamento de água.

**Palavras-chave:** Nanopartículas; Magnetita; Folha do *Ananas comosus*; Coagulação-floculação-sedimentação (CFS).

<sup>1</sup> Aluna do curso de mestrado em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá - UEM, departamento de Engenharia Química, [heloisacristina\\_baptista@hotmail.com](mailto:heloisacristina_baptista@hotmail.com)

<sup>2</sup> Prof. Dr. na Universidade Estadual de Maringá – Campus de Maringá, Departamento de Engenharia Química, [mfvieira2@uem.br](mailto:mfvieira2@uem.br)

<sup>3</sup> Profa. Dra. na Universidade Estadual de Maringá – Campus de Maringá, Departamento de Engenharia Química, [rbergamasco@uem.br](mailto:rbergamasco@uem.br)

<sup>4</sup> Profa. Dra. na Universidade Estadual de Maringá – Campus de Maringá, Departamento de Engenharia de Alimentos, [amsvieira@uem.br](mailto:amsvieira@uem.br)



## INTRODUÇÃO

O processo de coagulação-floculação é um dos mais utilizados para tratar a água e um dos fatores mais importantes a se considerar é o coagulante utilizado. Os sais de alumínio e de ferro estão entre os coagulantes mais usados no tratamento de água e esgoto, devido ao baixo custo e à satisfatória eficiência. Entretanto, estes compostos contêm, metais não biodegradáveis que podem gerar problemas de saúde à população, além de produzir grande volume de lodo (Silva, 2007), o que a longo prazo não é vantajoso para a população e o meio ambiente.

Neste contexto, estudos estão sendo desenvolvidos coagulantes naturais, com o intuito de minimizar o volume de água empregado nos processos de tratamento e também de reduzir a toxicidade dos lodos gerados (Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, 2015).

Dentre os coagulantes naturais que podem ser utilizados no tratamento de água, encontra-se a folha do fruto *Ananas comosus* da família *Bromeliacea sp.*, popularmente conhecido como abacaxi, o qual é o terceiro fruto tropical mais cultivado no Brasil (IBGE, 2006).

A folha do abacaxi é composta de celulose, hemicelulose e lignina, podendo ser utilizada em processos de descoloração de corantes cristalinos violetas em efluentes têxteis (Neupane, 2014), além de demonstrar potencial para a remoção de metais pesados (Dacera, 2007).

Nos processos de coagulação-floculação é interessante, principalmente, do ponto de vista econômico, a redução do tempo de sedimentação, o que leva diretamente à redução do tempo de tratamento e de obtenção da água nos parâmetros almejados. Para isso, uma solução interessante é a associação de coagulantes naturais a materiais nanoparticulados, pois esta associação melhora a atividade do coagulante, visto que acelera e aumenta a eficiência do processo. Além disso, diminui o lodo gerado e possibilita a reutilização do material nanoparticulado (Kim, 2003; Li, 2008; Okoli, 2012; Santos, 2016).

Realização

Apoio Institucional

Objetiva-se nesse estudo a utilização de nanopartículas de óxido de ferro, sintetizadas por meio do método de co-precipitação e funcionalizadas pelo extrato salino da folha do abacaxi, para produzir um coagulante magnético capaz de tratar água superficial, por meio do processo de coagulação-floculação-sedimentação (CFS). A eficácia alcançada pelo trabalho proposto foi avaliada por meio dos percentuais de remoção dos parâmetros físico-químicos da água, além da verificação do potencial bacteriológico.

## METODOLOGIA

### Caracterização da Água Bruta

As amostras de água bruta utilizadas no estudo foram obtidas da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) na cidade de Maringá-PR, proveniente da bacia do Rio Pirapó e foram caracterizadas quanto aos parâmetros de pH, turbidez, cor aparente e  $UV_{254nm}$ . Todas as amostras foram mantidas sob refrigeração, a fim de se garantir a uniformidade ao longo dos experimentos.

### Síntese das Nanopartículas

A síntese das nanopartículas de óxido de ferro ( $Fe_3O_4$ ) foi baseada na metodologia proposta por Khalil (2015) e Rashad (2012), com modificações, e ocorreu em atmosfera e temperatura ambientes ( $25 \pm 2^\circ C$ ), por meio da co-precipitação de 2,8 g de  $FeSO_4$  e 1,1 g de  $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  em 10 ml de água destilada, por 10 minutos, em um béquer de 100 ml, sob agitação. Em seguida, adicionou-se à mistura 1,2 g de NaOH, para precipitação das nanopartículas, e mais uma vez, a suspensão foi agitada, por 15 minutos. Na sequência, a suspensão foi lavada três vezes com água destilada e três vezes com acetona, utilizando-se um ímã de neodímio no fundo do béquer para separar o precipitado de cor negra do restante da solução. Por fim, o precipitado obtido, objeto de interesse, foi seco em estufa por 24 horas a  $50^\circ C$  para posterior utilização.

### Preparação do Pó das Folhas do Abacaxi

As folhas de abacaxi foram obtidas por meio de doação de produtores da região de Maringá-PR. Primeiramente, as folhas foram destacadas das coroas dos abacaxis, lavadas



em água corrente para remover impurezas, cortadas com tesoura em pedaços com cerca de 1 - 2 cm e secas em estufa a 90°C até peso constante. Após secas, foram trituradas em um liquidificador e peneiradas até a obtenção de um pó fino, cujo tamanho das partículas variava entre 1 - 2 mm, de acordo com a referência utilizada de Idris (2013).

### Preparação do Coagulante Natural

O coagulante natural (extrato salino do pó da folha do abacaxi) foi preparado a partir de uma solução salina preparada por meio da adição de 1 g de pó da folha do abacaxi a uma solução de NaCl 1M de 100ml, seguida de homogeneização em liquidificador por um minuto e agitação magnética por 30 minutos. Por fim, a solução foi filtrada a vácuo, utilizando papel de filtro qualitativo, de acordo com a metodologia proposta por Santos (2016), com modificações.

### Preparação dos Coagulantes Magnéticos

Para o preparo dos coagulantes magnéticos, foram utilizadas quantidades de nanopartículas e coagulante natural baseadas em estudos anteriores realizados por Mateus (2018) e Santos (2016). Com o intuito de se obter a melhor remoção dos parâmetros analisados, foram testadas diferentes concentrações de coagulante natural e diferentes massas de nanopartículas. A seguir, a Tabela 1 apresenta o planejamento executado nesta etapa.

Tabela 1 - Tratamentos propostos e suas combinações de nanopartículas magnéticas com coagulante natural

T	AS	AC	BS	BC	CS	CC	DS	DC	ES	EC	FS	FC	GS	GC	HS	HC	IS	IC	JS	JC	KS	KC	LS	LC
N	0	0	0	0	50	50	25	25	25	25	25	25	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100
A	0	0	100	100	0	0	50	50	100	100	150	150	50	50	100	100	150	150	50	50	100	100	150	150

\* Mateus (2018)

\*\* As letras S e C se referem a sem ímã e com ímã, respectivamente

\*\*\* T se refere a tratamento, N às nanopartículas (mg) e A ao coagulante natural (mg/ml)

Em béqueres de vidro de 25 ml foram adicionadas as quantidades de nanopartículas e coagulante natural requeridas, de acordo com o planejamento da Tabela 1. Posteriormente, a mistura foi homogeneizada em banho de ultrassom por 5 minutos e submetida à agitação magnética por 1 hora, para obtenção do coagulante magnético.

### Ensaio em *Jar Test*

Os ensaios de CFS foram realizados utilizando um equipamento do tipo *Jar test* Modelo 218 LDB (Nova Ética), sob as condições de operação baseadas em estudos de Mateus (2018), utilizando um volume de água bruta de 500 ml. O objetivo dessa etapa é determinar a proporção de coagulante natural e de nanopartículas de óxido de ferro que fornece a melhor remoção para os parâmetros estudados, utilizando o planejamento descrito na Tabela 1 e as condições de operação dadas pela Tabela 2. A etapa de sedimentação foi avaliada por gravidade e sob a influência de um campo magnético externo gerado por um ímã de neodímio, a fim de se avaliar as propriedades magnéticas do coagulante e se estas influenciavam no processo de separação da fase fluida da fase sólida. As concentrações de coagulante natural foram variadas entre 50, 100 e 150 mg/ml, enquanto que as massas de nanopartículas foram variadas entre 25, 50 e 100 mg. A Tabela 2 a seguir apresenta as condições de operação utilizadas nos ensaios, baseadas nos experimentos realizados por Mateus (2018) com modificações.

Tabela 2 - Condições de operação utilizadas nos ensaios de Jar Test

Condições de Operação	
Velocidade de mistura rápida (VMR)	120 rpm
Tempo de mistura rápida (TMR)	1 min
Velocidade de mistura lenta (VML)	30 rpm
Tempo de mistura lenta (TML)	20 min
Tempo de sedimentação (TS)	10 min

Mateus (2018).

### Análises Físico-Químicas

As medidas de pH foram realizadas por meio de um pHmetro do tipo Thermo Scientific™ Orion™ Versa Star Pro™, as medidas de turbidez foram realizadas por meio de um turbidímetro Hach modelo 2100P, utilizando o método nefelométrico e as medidas de cor aparente e UV<sub>254nm</sub> foram realizadas por meio de um espectrofotômetro Hach modelo DR/5000. As medidas de turbidez, cor aparente e UV<sub>254nm</sub> foram realizadas em triplicata e uma média dos valores foi adotada, enquanto que as medidas de pH foram realizadas apenas uma vez.



## Caracterização

O coagulante magnético foi caracterizado por espectroscopia no infravermelho por refletância atenuada (FTIR-ATR). A caracterização foi realizada utilizando um equipamento Bruker Vertex 70v, utilizando o cristal Platinum ATR Diamond, com 128 scans, intervalo de 128, abertura de 6 mm e velocidade de scanner de 10 kHz.

## Análises Microbiológicas

Análises microbiológicas foram realizadas com o intuito de avaliar o potencial bacteriológico do coagulante magnético desenvolvido. Esta etapa foi realizada utilizando água bruta, o coagulante magnético sintetizado na melhor combinação e uma suspensão bacteriana (cepa da bactéria *E. coli* (ATCC 11229)) de 54.400 UFC.100 ml<sup>-1</sup> (unidades formadoras de colônia em 100 ml de água). Os testes foram realizados na água bruta, no lodo remanescente após o tratamento de CFS e no sobrenadante. As placas Petrifilm TM EC (3M Company, St. Paul, MN, EUA) foram inoculadas com alíquotas de 1,0 ml das amostras. As análises foram feitas em duplicata. Após a inoculação, as amostras foram incubadas a 35°C por 24 e 48h, por fim as colônias de *E.coli*, foram contadas e os resultados expressos em UFC.100 ml<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes da realização dos experimentos, a água bruta foi caracterizada para comparação dos parâmetros estudados neste trabalho, os valores obtidos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização da água bruta

Parâmetros	Valores
pH	8,48
Turbidez (NTU)	92,7 ± 2,0
Cor aparente (uH) <sup>(1)</sup>	488 ± 6
UV <sub>254nm</sub> (cm <sup>-1</sup> )	0,293 ± 0,001

unidade Hazen = (mg Pt-Co.L<sup>-1</sup>)

## Caracterização

O espectro obtido pela análise FTIR-ATR do coagulante magnético sintetizado, expresso entre 400 e 4000  $\text{cm}^{-1}$  representado pela Figura 1, apresenta um pico entre 582 e 634  $\text{cm}^{-1}$ , característico da formação de nanopartículas de magnetita e que também está relacionado a ligações entre os grupos funcionais  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{O}^{-2}$  e à deformação simétrica em sítios octaédricos (Cheng, 2014), indicando o magnetismo do coagulante sintetizado (Mateus, 2018). Também são observados picos próximos a 1200  $\text{cm}^{-1}$ , o que indica estiramento assimétrico da ligação C-O-C, em 1600  $\text{cm}^{-1}$ , indicando estiramento da ligação C=O, em 2800  $\text{cm}^{-1}$ , apontando para estiramento assimétrico da ligação C-H e em 3300  $\text{cm}^{-1}$ , o que aponta para deformação axial da ligação O-H, características relacionadas aos grupos funcionais presentes nas fibras de abacaxi (Santos, 2013). Como o espectro apresentou grupos funcionais tanto da magnetita quanto das fibras do abacaxi, isto representa um forte indício de que ocorreu a funcionalização e formação do coagulante magnético.

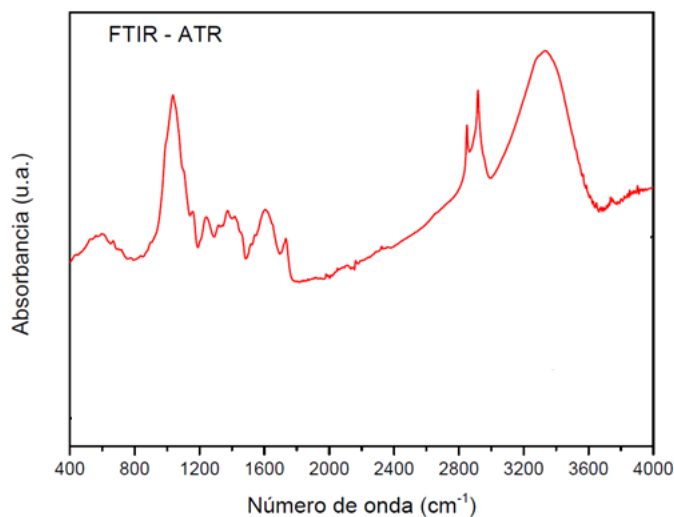


Figura 1 - Espectro no infravermelho por refletância total atenuada para o coagulante magnético.

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação

Os ensaios em *Jar Test* foram realizados de acordo com a metodologia proposta anteriormente e foram obtidos os valores residuais para cada parâmetro e para cada combinação da Tabela 1. A Tabela 4 a seguir apresenta os valores residuais obtidos.



Tabela 4 – Valores residuais após os ensaios de CFS

Ensaio	pH	Turbidez (NTU)	Cor aparente (uH)	UV <sub>254 nm</sub> (cm <sup>-1</sup> )
AS	7,74	81,7 ± 0,6	442 ± 1	0,295 ± 0,000
AC	7,79	81,0 ± 0,0	439 ± 1	0,290 ± 0,000
BS	7,60	31,0 ± 0,4	214 ± 0	0,255 ± 0,002
BC	7,62	29,8 ± 0,1	207 ± 1	0,249 ± 0,001
CS	7,92	49,8 ± 0,1	299 ± 1	0,240 ± 0,001
CC	7,88	42,4 ± 0,1	273 ± 1	0,225 ± 0,000
DS	7,82	67,5 ± 0,5	446 ± 1	0,282 ± 0,002
DC	7,83	38,7 ± 0,1	269 ± 1	0,234 ± 0,001
ES	7,74	38,0 ± 0,3	249 ± 1	0,281 ± 0,002
EC	7,78	29,1 ± 0,2	196 ± 1	0,178 ± 0,053
FS	8,22	44,9 ± 0,2	300 ± 0	0,257 ± 0,001
FC	7,79	33,6 ± 0,1	238 ± 0	0,220 ± 0,000
GS	7,79	41,1 ± 0,4	257 ± 1	0,287 ± 0,001
GC	7,82	27,5 ± 0,1	176 ± 1	0,268 ± 0,001
HS	7,82	43,2 ± 0,4	305 ± 1	0,199 ± 0,001
HC	7,82	30,4 ± 0,1	217 ± 1	0,177 ± 0,000
IS	7,89	60,7 ± 0,2	461 ± 2	0,232 ± 0,001
IC	7,82	32,5 ± 0,3	247 ± 1	0,165 ± 0,001
JS	7,83	45,4 ± 0,2	337 ± 1	0,149 ± 0,000
JC	7,81	29,1 ± 0,1	220 ± 1	0,112 ± 0,001
KS	7,99	74,4 ± 0,5	473 ± 1	0,302 ± 0,001
KC	7,91	44,2 ± 0,3	279 ± 2	0,278 ± 0,000
LS	7,89	69,6 ± 0,2	472 ± 4	0,328 ± 0,001
LC	7,81	43,1 ± 0,1	273 ± 1	0,276 ± 0,001

De acordo com as Tabelas 3 e 4, pode-se observar que ocorreu uma remoção dos parâmetros, tanto nos ensaios com como nos ensaios sem a presença do ímã de neodímio, no entanto ao se utilizar o ímã na etapa de sedimentação ocorreu um aumento nas porcentagens de remoção, o que comprova o caráter magnético do coagulante sintetizado e demonstra que as nanopartículas de óxido de ferro sintetizadas foram funcionalizadas pelos compostos presentes no extrato salino da folha de abacaxi. Uma vez que os parâmetros de remoção apresentaram melhores resultados ao se utilizar o coagulante magnético, do que quando se utilizou apenas a folha do abacaxi ou as nanopartículas como coagulante, conclui-se que a formulação bem sucedida do coagulante magnético está de acordo com os resultados obtidos pela análise FTIR-ATR do coagulante magnético, que apresentou tanto picos característicos de nanopartículas de óxido de ferro



quanto do extrato salino da folha de abacaxi.

As combinações que apresentaram valores residuais após o tratamento maiores do que o valor inicial para a água bruta para o parâmetro de compostos com absorção em  $UV_{254nm}$ , foram excluídas do estudo posterior. Tais valores podem ser obtidos com a utilização de coagulantes naturais, pois estes podem aumentar o teor de matéria orgânica da amostra (Silva, 2005).

O ensaio utilizando a combinação GC (50 mg de nanopartículas – 50 mg/ml de coagulante natural) foi o que obteve os maiores percentuais de remoção para os parâmetros de turbidez e cor (70,37%; 64,00%), já o ensaio JC (100 mg de nanopartículas - 50 mg/ml de coagulante natural) apresentou o maior percentual de remoção para o parâmetro de absorção de compostos em  $UV_{254nm}$  (61,89%), portanto, o ensaio GC deve ser considerado a melhor combinação, visto que o ensaio JC, apesar de ter apresentado melhor remoção dos compostos com absorção em  $UV_{254nm}$  do que o ensaio GC (Turbidez: 70,37%; Cor: 64,00% e  $UV_{254nm}$ : 8,65%), necessita do dobro da concentração de nanopartículas para apresentar resultados inferiores em cerca de 2% e 10% para os parâmetros de turbidez e cor aparente, respectivamente, quando comparados aos resultados obtidos no ensaio GC. Os ensaios EC (25 mg de nanopartículas – 100 mg/ml de coagulante natural), FC (25 mg de nanopartículas – 150 mg/ml de coagulante natural) e IC (50 mg de nanopartículas – 150 mg/ml de coagulante natural) também apresentaram resultados satisfatórios, no entanto, em todos eles foram utilizadas concentrações maiores de coagulante natural para obter resultados semelhantes aos do ensaio GC. Logo, adotou-se a combinação GC como sendo a melhor combinação para a obtenção do melhor coagulante e um estudo posterior microbiológico foi realizado adotando-a.

Das Tabelas 3 e 4 observa-se que todas as combinações resultaram em valores de pH menores que o valor inicial medido na água bruta. O ensaio GC apresentou um pH de 7,82.

Os valores residuais do ensaio GC (27,5 NTU de turbidez; 176 uH de cor aparente;  $0,268\text{ cm}^{-1}$  de  $UV_{254nm}$ ), não se enquadraram aos limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, anexo XX do Ministério da Saúde, que para turbidez é de 5 uT (5 NTU) e para cor aparente é 15 uH.



Evidenciando a necessidade de um estudo de otimização das condições operacionais do equipamento de *Jar Test*, visto que as massas e concentrações de ambos os componentes do coagulante magnético já foram otimizadas. Todavia, os resultados foram positivos quando comparados aos valores iniciais da água bruta e considerando que o método de tratamento proposto por este trabalho é relativamente simples. Os valores de compostos com absorção em UV<sub>254nm</sub> não se encontram presentes em nenhuma legislação para que possam ser comparados. Logo, não é possível avaliar se os resultados finais obtidos para este parâmetro estão conformes.

### **Análises Microbiológicas**

As análises microbiológicas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta anteriormente e os resultados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Análise Microbiológica de *E. coli*

<b>Amostra</b>	<b>Colônias (UFC.100 mL<sup>-1</sup>)</b>
<b>Água Bruta</b>	300
<b>Lodo</b>	300
<b>Sobrenadante</b>	Ausente

De acordo com a Tabela 5, pode-se observar que o coagulante sintetizado não foi capaz de inativar a bactéria *E. coli*, em contrapartida, fez com que todo o microrganismo fosse sedimentado ficando presente apenas no lodo, obtendo-se uma remoção de 100% na água tratada, devido à ausência do mesmo no sobrenadante.

Tal característica é uma descoberta de extrema importância, pois em um sistema de tratamento de água que utilizasse o coagulante magnético proposto seria possível separar o sobrenadante livre de contaminação, do lodo contaminado, que possui menor volume, para tratá-lo posteriormente. Além disso, este resultado está de acordo com os limites estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, anexo XX do Ministério da Saúde, que determina que haja ausência da bactéria em 100 ml de água tratada.

## **CONCLUSÕES**

De acordo com a caracterização e com os resultados obtidos, pôde-se comprovar

que o coagulante proposto foi sintetizado com sucesso, por meio da funcionalização de nanopartículas de magnetita pelos compostos presentes no extrato salino do pó da folha de abacaxi, tornando-se um coagulante alternativo e viável para o tratamento de águas superficiais. O tratamento mais eficiente (50 mg de nanopartículas de óxido de ferro e 50 mg/ml de coagulante natural), com 10 minutos de sedimentação magnética, removeu 70,37% da turbidez (27,5 NTU de turbidez residual), 64,00% da cor aparente (176 uH de cor aparente residual) e 8,65% para  $UV_{254nm}$  ( $0,268\text{ cm}^{-1} UV_{254nm}$  residual) e apresentou pH final de 7,82. Além disso, as análises microbiológicas demonstraram que o coagulante sintetizado foi capaz de sedimentar totalmente a bactéria *E. coli*, o que é bastante interessante, pois além de remover os parâmetros físico-químicos, auxilia na desinfecção da água a ser tratada.

## AGRADECIMENTOS

CNPQ, CAPES – Financing code 001, CONCAP.

## REFERÊNCIAS

- ALWI, Habsah; IDRIS, Juferi; MUSA, Mohibah; HAMID, Ku Halim Ku. A Preliminary Study of Banana Stem Juice as a Plant-Based Coagulant for Treatment of Spent Coolant Wastewater. *Journal Of Chemistry*, [S.L.], v. 2013, p. 1-7, 2013. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/165057>.
- BRASIL. Portaria de Consolidação nº. 5, de 28 de setembro de 2017, anexo XX: Ministério da Saúde 2017.
- CHENG, Gong. Construction of a high-performance magnetic enzyme nanosystem for rapid tryptic digestion. *Scientific Reports*, [S.I.], v. 4, p. 1-10, nov. 2014.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 37., 2015, São Carlos. *Aplicação de Processos de Coagulação/Floculação e Eletrocoagulação para o Tratamento de Efluente Têxtil*. São Carlos: Blucher Proceedings, 2015.
- DACERA, Dominica del Mundo et al. Heavy metals removal from contaminated sewage sludge by naturally fermented raw liquid from pineapple wastes. *Water Science And Technology*, [S.L.], v. 56, n. 7, p. 145-152, 1 out. 2007. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2007.680>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- KHALIL, Mutasim I.. Co-precipitation in aqueous solution synthesis of magnetite nanoparticles using iron(III) salts as precursors. *Arabian Journal Of Chemistry*, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 279-284, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.02.008>.
- KIM, Do Kyung; MIKHAYLOVA, Maria; ZHANG, Yu; MUHAMMED, Mamoun. Protective Coating of Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Chemistry Of Materials*, [S.L.], v. 15, n. 8, p. 1617-1627, 22 mar. 2003. American Chemical Society (ACS).



<http://dx.doi.org/10.1021/cm021349j>.

LI, Qilin; MAHENDRA, Shaily; LYON, Delina Y.; BRUNET, Lena; LIGA, Michael V.; LI, Dong; ALVAREZ, Pedro J.J.. Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: potential applications and implications. *Water Research*, [S.L.], v. 42, n. 18, p. 4591-4602, nov. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.08.015>.

MATEUS, Gustavo Affonso Pisano; PALUDO, Michele Putti; SANTOS, Tássia Rhuna Tonial dos; SILVA, Marcela Fernandes; NISHI, Leticia; FAGUNDES-KLEN, Márcia Regina; GOMES, Raquel Gutteres; BERGAMASCO, Rosângela. Obtaining drinking water using a magnetic coagulant composed of magnetite nanoparticles functionalized with Moringa oleifera seed extract. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 4084-4092, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2018.05.050>.

NEUPANE, Shuvee; RAMESH, S.T.; GANDHIMATHI, R.; NIDHEESH, P.V.. Pineapple leaf (*Ananas comosus*) powder as a biosorbent for the removal of crystal violet from aqueous solution. *Desalination And Water Treatment*, [S.L.], v. 54, n. 7, p. 2041-2054, abr. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2014.903867>.

OKOLI, Chuka. Protein-functionalized magnetic iron oxide nanoparticles: time efficient potential-water treatment. *Springer Nature: Nanotechnology for Sustainable Development*, [S.I.], v. 14, p. 127-135, set. 2012.

RASHAD, M.M.; EL-SAYED, H.M.; RASLY, M.; NASR, M.I.. Induction heating studies of magnetite nanospheres synthesized at room temperature for magnetic hyperthermia. *Journal Of Magnetism And Magnetic Materials*, [S.L.], v. 324, n. 23, p. 4019-4023, nov. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2012.07.010>.

SANTOS, Roni Marcos dos. Extração e caracterização de nanocristais de celulose a partir de folhas de abacaxi. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

SANTOS, Tássia R. T.; SILVA, Marcela F.; NISHI, Leticia; VIEIRA, Angélica M. S.; KLEIN, Márcia R. F.; ANDRADE, Murilo B.; VIEIRA, Marcelo F.; BERGAMASCO, Rosângela. Development of a magnetic coagulant based on Moringa oleifera seed extract for water treatment. *Environmental Science And Pollution Research*, [S.L.], v. 23, n. 8, p. 7692-7700, 8 jan. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-015-6029-7>.

SILVA, Cleuza Aparecida da. Estudos aplicados ao uso da Moringa Oleifera como coagulante natural para melhoria da qualidade de águas. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2005.31>

SILVA, Marcos Erick Rodrigues da. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. *Revista Tecnologia, Fortaleza*, v. 2, n. 28, p. 178-190, dez. 2007.