

**UNIVERSIDADE CESUMAR - UNICESUMAR**  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**COAGULANTE MAGNÉTICO DE *MORINGA OLEIFERA* E GRAFENO PARA O  
TRATAMENTO DE EFLUENTES**

**ISABELLA ZANETTE DA SILVA**

MARINGÁ – PR  
2020

ISABELLA ZANETTE DA SILVA

**COAGULANTE MAGNÉTICO DE *MORINGA OLEIFERA* E GRAFENO PARA O  
TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Química da UNICESUMAR – Universidade Cesumar como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Química, sob a orientação da Prof. Dra. Natália Ueda Yamaguchi.

MARINGÁ – PR

2020

ISABELLA ZANETTE DA SILVA

**COAGULANTE MAGNÉTICO DE *MORINGA OLEIFERA* E GRAFENO PARA O  
TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Química da UNICESUMAR – Universidade Cesumar como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Química, sob a orientação da Prof. Dra. Natália Ueda Yamaguchi.

Aprovado em: 10 de novembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dra. Natália Ueda Yamaguchi - UNICESUMAR

---

Prof. Dr. Fernando Pereira Calderaro - UNICESUMAR

---

Prof. Me. Judson Ricardo Ribeiro da Silva - UNICESUMAR

# COAGULANTE MAGNÉTICO DE *MORINGA OLEIFERA* E GRAFENO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES

Isabella Zanette da Silva, Natália Ueda Yamaguchi

## RESUMO

Atualmente, existe a preocupação ambiental com relação à dificuldade de tratar os efluentes de forma eficiente e econômica para o lançamento em corpos hídricos. A remoção de turbidez e cor é comumente alcançada pelo processo de coagulação e floculação. Geralmente, utiliza-se coagulantes inorgânicos, tais como sais à base de alumínio, mas estes coagulantes promovem problemas ambientais e têm implicações para saúde humana. Assim, o uso de coagulantes naturais tem sido estudado como uma boa alternativa para o tratamento de água e efluentes, devido à sua alta disponibilidade, baixo custo e não-toxicidade. O presente trabalho objetivou estudar a associação de nanopartículas magnéticas e grafeno para funcionalização das sementes de *Moringa Oleifera* (MO) no tratamento de efluentes. O efluente foi obtido de uma empresa em Maringá, Paraná, Brasil. Ensaios de coagulação/floculação e sedimentação (CFS) foram realizados em *Jar Test* com e sem a interferência de um campo magnético externo. A eficiência do processo foi determinada por análises de parâmetros físico-químicos para comparação. A utilização de MO como coagulante associada as nanopartículas e ao grafeno apresentou elevada eficiência para remoções dos parâmetros de qualidade do efluente, obtendo 91,50% em relação a cor aparente e 94,66% para a turbidez. Tais valores foram alcançados em 30 min de sedimentação magnética, comprovando que o processo de CFS pode ser otimizado e que o tempo de sedimentação pode ser reduzido de 90 min para 30 min. Desta forma, verificou-se que o coagulante magnético é um método viável e com baixo impacto ambiental para o tratamento de efluentes.

**Palavras-chave:** Coagulação. Floculação. Sedimentação.

## MAGNETIC COAGULANT OF *MORINGA OLEIFERA* AND GRAPHENE FOR WASTEWATER TREATMENT

### ABSTRACT

Currently, there is an environmental concern with the difficulty of treating effluents efficiently and economically for release into water bodies. The removal of turbidity and color is commonly achieved by the coagulation and flocculation process. Inorganic coagulants, such as aluminum-based salts, are used, but these coagulants promote environmental problems and provide for human health. Thus, the use of natural coagulants has been studied as a good alternative for the treatment of water and effluents, due to its high availability, low cost and non-toxicity. The present work aimed to study an association of magnetic nanoparticles and graphene for the functionalization of *Moringa oleifera* (MO) seeds for wastewater treatment. The effluent was obtained by a company in Maringá, Paraná, Brazil. For this, the coagulation/flocculation and sedimentation tests (CFS) were performed in a Jar Test with and without the interference of an external magnetic field. The efficiency of the process was provided through the analysis of physical-chemical parameters for comparison. The use of MO as a coagulant associated with nanoparticles and graphene expresses efficient removal of the effluent quality parameters, being 91,50% in relation to apparent color and 94,66% for turbidity. Such values were achieved using the best sample in a 30 min magnetic sedimentation time, proving that the CFS process can be optimized and that the sedimentation time can be reduced from 90 min to 30 min. Thus, it was found that the magnetic coagulant is a viable method with a low environmental impact for the treatment of effluents.

**Keywords:** Coagulation. Flocculation. Sedimentation.

## 1 INTRODUÇÃO

A preservação do meio ambiente tem sido motivo de preocupação para o ser humano, e entre elas, está a qualidade da água que teve uma significativa deterioração e o acesso à água potável tornou-se um dos principais problemas enfrentados visto o aumento populacional e a industrialização. A partir de dados de mortalidade da Organização Mundial da Saúde (OMS), crianças menores de 15 anos que vivem em países afetados por conflitos prolongados têm, em média, quase três vezes mais chances de morrer de doenças diarreicas causadas pela falta de água potável, saneamento e higiene do que por violência direta (UNICEF, 2019).

Desta forma, o tratamento de efluentes não se configura apenas em uma questão de evitar impactos ambientais, mas é também um dispositivo para mitigação de problemas como corrosão e incrustação, onde o reuso é de grande interesse (SOUZA, 2013). As indústrias, são unidades bastante consumidoras de água e geradoras de efluentes (EL-NAAS *et al.*, 2014). Por este motivo, é de grande interesse o tratamento desses efluentes, de modo que possam ser descartados devidamente nos corpos hídricos sem comprometer a qualidade destes ou para seu reuso na própria indústria.

Para isto, o Art. 3º da Resolução CONAMA Nº 430/2011 que "Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluente" impõe que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis. Assim, é necessário que os efluentes passem pelo processo de CFS de forma a atingirem os parâmetros exigidos pela Resolução CONAMA 430/11 para o lançamento em corpos receptores.

A coagulação consiste essencialmente na desestabilização das partículas coloidais e suspensas presentes na água pela ação de reações químicas e mecanismos físicos rápidos entre a água, as impurezas presentes e o agente coagulante (LIBÂNIO, 2008; FRANCO *et al.*, 2017). Geralmente é seguida pela floculação, em que, através de uma agitação lenta ocorre o contato entre partículas menores formando flocos, promovendo um aglomerado maior das partículas desestabilizadas pela coagulação (DI BERNARDO *et al.*, 2002.; LIBÂNIO, 2008). Os

flocos formados possuem massa específica superior à água, decantando e sendo retirados por descarga de fundo de tanque (LIED, 2011).

Nos processos de coagulação/floculação dos sistemas de tratamento de água e efluentes geralmente empregam-se coagulantes químicos inorgânicos e os mais comuns no tratamento de efluentes são o sulfato de alumínio, cloreto férrico e sulfato ferroso (NUNES, 2012), sendo que o mais utilizado no Brasil é o sulfato de alumínio (GUSMÃO, 2014). Porém, apesar da boa eficiência e do baixo custo apresentados, o alumínio encontra-se excedente na água residual e gera grandes quantidades de lodo que dificulta a degradação, tornando-se indesejável ambientalmente (BONGIOVANI *et al.* 2010).

Ainda, de acordo com os estudos de Amagloh e Benang (2009) e Martyn *et al.* (1989) elevadas concentrações de alumínio acumuladas no meio podem afetar a saúde humana, provocando doenças neurológicas e acelerando inclusive o processo de Mal de Alzheimer.

Por isso, o uso de coagulantes/floculantes naturais vem sendo estudado com uma alternativa viável em substituição aos químicos, principalmente devido à não-toxicidade, biodegradabilidade e baixo índice de produção de lodos residuais (SANTOS *et al.*, 2018; MORAES, 2004).

Entre os coagulantes naturais, está a *Moringa Oleifera* (MO), que se destaca como uma das mais utilizadas (NDABIGENGESERE *et al.*, 1995). Diversos estudos realizados mostraram uma eficiência na remoção da turbidez e cor aparente, de, respectivamente, 95% e 90% em média, nos processos de coagulação e sedimentação com a solução à base de MO (PATERNIANI *et al.*, 2006).

Além disso, a MO é uma alternativa para o tratamento de efluentes, pois é um produto extraído das sementes da árvore Moringa, e por ser natural, o descarte final dos rejeitos é facilitado, já que não apresenta contaminação e risco poluidor, por se tratar de um produto biodegradável (ARANTES *et al.*, 2009).

Todavia, a MO demonstra uma desvantagem quanto ao longo tempo de sedimentação das partículas, que são otimizados entre 60 a 90 minutos, devido a formação de flocos pequeno/leves (MADRONA *et al.*, 2010). Desta forma, estudos mais recentes demonstram grande relevância funcionalizando nanopartículas de magnetita ( $Fe_3O_4$ ) com as sementes de MO no processo de coagulação (SANTOS *et al.*, 2018; MATEUS *et al.*, 2018).

Devido ao poder de clarificação do processo da MO e da rápida sedimentação magnética que as nanopartículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  proporcionam, a junção desses materiais pode resultar em uma ótima alternativa ao uso dos produtos químicos no processo de coagulação do tratamento de água e efluentes, destacando ainda a possibilidade de reutilização deste material em grande escala (OKOLI *et al.*, 2012). Porém, se torna um processo menos viável devido aos métodos de funcionalização, geralmente a microemulsão (OKOLI *et al.*, 2012) ou método sol-gel (SANTOS *et al.*, 2018), que requerem altas temperaturas para a eliminação de material orgânico residual (MATEUS *et al.*, 2019).

Como forma de desempenhar um novo método, o presente trabalho propôs a utilização do óxido de grafeno (OG) associado as nanopartículas de ferrita de manganês ( $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ ) e a MO para o tratamento de efluentes, a fim de avaliar o desempenho na remoção dos parâmetros físico-químicos, como turbidez e cor aparente.

## 2 METODOLOGIA

Para os ensaios de CFS, utilizou-se amostras de efluente da saída do reator de aeração, proveniente de uma empresa de tratamento de efluentes da cidade de Maringá/PR, focada no atendimento *Offsite*, que recebe e faz o tratamento de efluentes líquidos de terceiros, cujas características estão descritas na Tabela 1. O efluente foi submetido ao processo de CFS, com a solução padrão salina do coagulante natural de sementes de MO, combinadas com a síntese de composto híbrido de OG e ferrita de manganês.

**Tabela 1:** Caracterização do efluente utilizado nos ensaios de CFS.

Parâmetros	Unidades	Valores
Turbidez	NTU*	266 ± 1,414
Cor Aparente	mg PtCo/L	2007,33 ± 0,012
pH	-	7,73 ± 0,007

\*Unidade Nefelométrica de Turbidez

Fonte: Autor (2020).

O efluente apresenta elevados valores de cor aparente e turbidez, indicando a presença de impurezas ou partículas coloidais e suspensas (ZEMMOURI *et al.*, 2012), sendo provável uma elevada remoção pelo coagulante (PRITCHARD *et al.*, 2010).

Já o alto valor da cor aparente indica que existem impurezas de minerais ou carbono orgânico dissolvido, que precisam ser removidos (CARVALHO *et al.*, 2016). Desta forma, os elevados valores de cor e turbidez evidenciam a boa escolha do sistema de tratamento, visto que a remoção desses parâmetros é geralmente realizada com coagulação e floculação (VIEIRA *et al.*, 2010).

As condições e padrões de lançamentos de efluente em corpos hídricos dispostos na Resolução nº430/2011 do CONAMA definem que o pH do efluente deve estar entre 5,0 e 9,0, e o pH da amostra apresentou o valor de 7,73, apresentando-se dentro dos padrões.

## 2.1 SÍNTESE DO COMPÓSITO HÍBRIDO DE ÓXIDO DE GRAFENO E FERRITA DE MANGANÊS

Para a síntese do óxido de grafeno (OG) foi utilizado o método de Hummers modificado (HUMMERS; OFFEMAN, 1958). O método de Hummers modificado inclui uma etapa pré-oxidação e oxidação. O resultado foi o óxido de grafite seco que possui aparência de um filme. O material resultante foi utilizado para o preparo da síntese com a ferrita de manganês para posteriormente ser utilizada com a MO.

O composto híbrido ( $MnFe_2O_4 - G$ ) foi sintetizado com base em metodologias solvotérmicas de uma única etapa encontradas na literatura (YAMAGUCHI, 2016).

## 2.2 PREPARO DA SOLUÇÃO COAGULANTE MAGNÉTICO

O coagulante natural foi preparado utilizando 5 g de sementes de MO previamente descascadas. As sementes foram trituradas em um misturador doméstico durante 3 minutos com 100 mL de solução salina (NaCl) e posteriormente misturadas utilizando um agitador magnético por 30 minutos. Em seguida foram filtrados à vácuo em filtro qualitativo, obtendo a solução desejada.

Diversas concentrações de MO foram avaliadas, sendo que a concentração ótima foi de 1000 mg/L (20 mL do extrato salino e 5 g de MO). Sendo assim, esta concentração foi estudada em diferentes concentrações com o compósito híbrido (10 mg, 20 mg, 40 mg e 80 mg), que foram para o banho ultrassônico por 5 minutos e

posteriormente agitadas em temperatura ambiente por 30 minutos para a homogeneização, baseadas na metodologia modificada de Santos *et al.*, (2018). Desta forma, a mistura (MO + MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – G) com as diferentes concentrações de MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> - G foram combinadas e avaliadas de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2:** Composição dos tratamentos em relação a quantidade utilizada da solução coagulante.

Solução	0	0/1000	10/0	20/0	40/0	80/0	10/1000	20/1000	40/1000	80/1000
<b>Coagulante</b>										
<b>MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-G (mg)</b>	0	0	10	20	40	80	10	20	40	80
<b>MO (mg/L)</b>	0	1000	0	0	0	0	1000	1000	1000	1000

Fonte: Autor (2020).

O tratamento 0/1000 foi realizado apenas com a concentração de MO e os tratamentos 10/0, 20/0, 40/0 e 80/0 foram realizados com as diferentes concentrações de nanopartículas de ferrita de manganês utilizadas, como forma de controle para avaliar o desempenho do coagulante magnético proposto.

### 2.3 ENSAIOS EM JAR-TEST

Os experimentos de CFS foram realizados em *Jar-Test*, marca Quimis modelo Q305F, microprocessado com 3 jarros e com regulador de giro das hastes misturadoras, em temperatura ambiente, conforme descrito por Couto Junior (2011).

No jarro, 1000 mL de efluente foram misturados com a solução coagulante magnético descrito no item 2.2 na ausência e na presença de um campo magnético externo. Para os ensaios com a presença de campo magnético, um ímã foi alocado abaixo dos recipientes contendo 1000 mL de efluente para analisar a influência do campo magnético no tempo de sedimentação.

As condições de operação, como o tempo e as velocidades de misturas e o tempo de sedimentação foram de 3 minutos para a mistura rápida, 15 min para a mistura lenta e de até 90 min para a sedimentação, sendo que alíquotas das amostras foram coletadas para análise do desempenho na remoção de cor aparente e turbidez nos tempos 30, 60 e 90 min de sedimentação. As velocidades de mistura foram mantidas em 100 rpm para a mistura rápida e em 30 rpm para a mistura lenta.

## 2.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Após o procedimento de CFS, uma alíquota dos efluentes tratados foram retiradas de cada recipiente, com o auxílio de uma pipeta automática. Em seguida, os parâmetros de turbidez, cor aparente e pH foram mensurados.

O equipamento utilizado para a análise da turbidez foi o turbidímetro portátil – Modelo 2100P com amostras de 25 mL de acordo com o método nefelométrico 2130B do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA 2012).

Para a análise da cor aparente, o equipamento utilizado foi o espectrofotômetro BEL, modelo 2000UV utilizando o método de comparação visual 2120 B do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA 2012) com a solução padrão APHA 500 em comprimento de onda de 455 nm.

Para a determinação do pH foi utilizado o pHmetro thermo scientific orion VCTAR92 versastar e adotou-se o método eletrométrico 4500-HB do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA 2012).

A eficiência de remoção de cada parâmetro analisado foi calculada de acordo com a Equação (1), em que  $C_i$  e  $C_f$  são os valores iniciais e finais de cada parâmetro, respectivamente. Todas as análises foram realizadas em duplicatas.

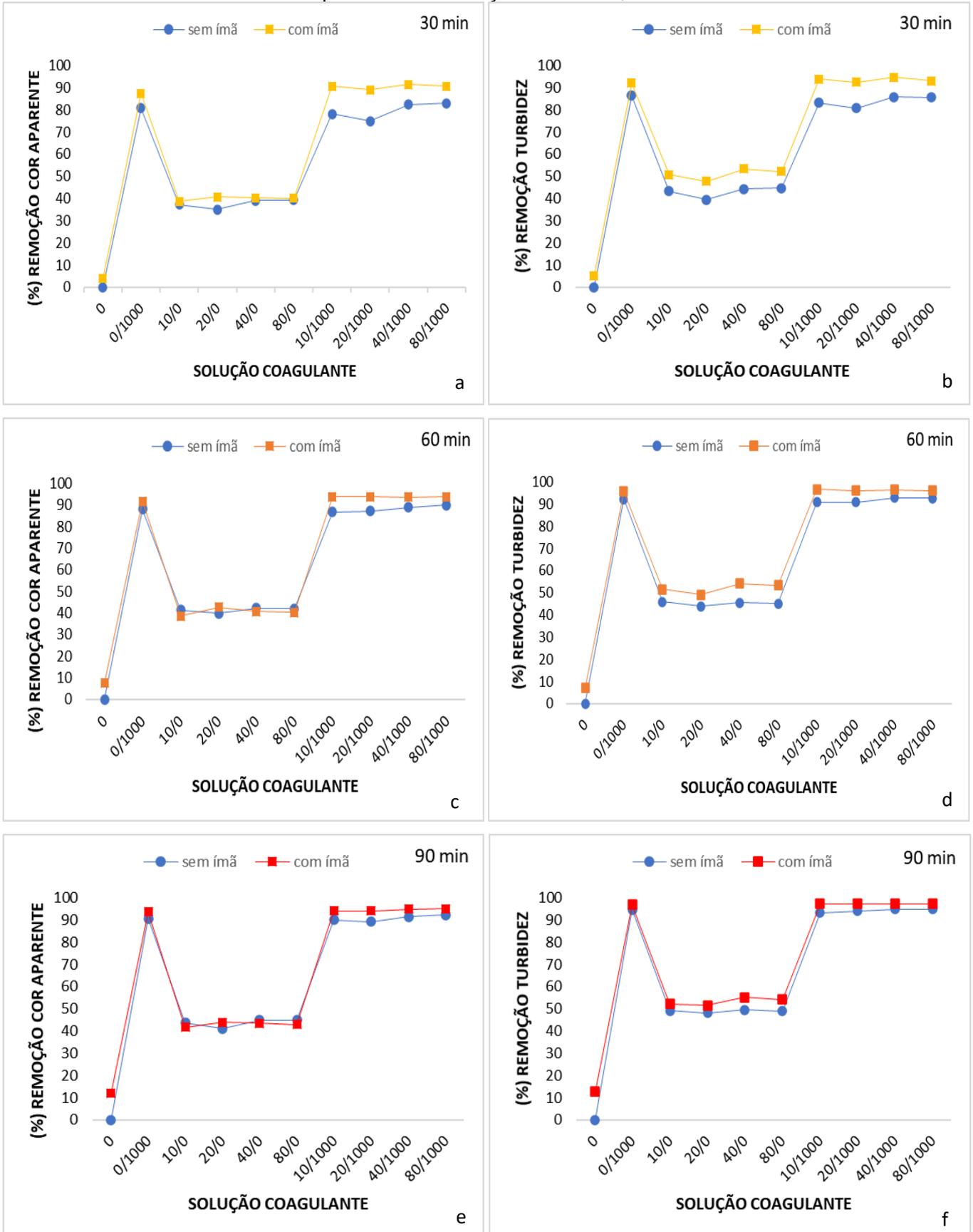
$$\text{Eficiência de remoção (\%)} = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CFS NA PRESENÇA E NA AUSÊNCIA DE UM CAMPO MAGNÉTICO EXTERNO

A eficiência da remoção dos parâmetros cor aparente e turbidez no processo de CFS foram avaliadas de acordo com as diferentes concentrações propostas na Tabela 2. A avaliação dos diferentes tempos de sedimentação na ausência e na presença de um campo magnético externo para a eficiência de remoção dos parâmetros cor aparente e turbidez pode ser observada nas Figura 1.

**Figura 1:** Avaliação de remoção dos parâmetros de cor aparente (a,c,e) e turbidez (b,d,f) nos tempos de sedimentação de 30 min, 60 min e 90 min.



Utilizando as combinações da solução coagulante magnético, para os parâmetros cor aparente e turbidez avaliados, observou-se bons resultados na remoção das análises. Os melhores resultados na ausência do campo magnético externo foram a combinação 80/1000 (80 mg  $MnFe_2O_4$  – G e 1000 mg/L MO) removendo 92,33% da cor aparente e a combinação 40/1000 (40 mg  $MnFe_2O_4$  – G e 1000 mg/L MO) removendo 94,96% da turbidez, ambas em 90 min. No entanto, destaca-se que, na presença do campo magnético, a eficiência de remoção em apenas 30 min de sedimentação foi de 91,50% da cor aparente e de 94,66% de remoção da turbidez, ambas obtidas com a combinação 40/1000.

Analisando os resultados obtidos na Figura 1, notou-se, de uma forma geral, que quanto maior o tempo de sedimentação, maior é a eficiência de remoção dos parâmetros de qualidade analisados. Isso ocorre, pois quanto maior o tempo de repouso, maior a quantidade de partículas floculadas que decantarão (CARDOSO *et al.*, 2008). Porém, apesar de nos tempos de 60 min e 90 min de decantação na existência do campo magnético a remoção da cor aparente alcançar até 93,99% e 95,15%, respectivamente, e a turbidez apresentar remoção de até 96,64% e 97,38%, respectivamente, a pequena diferença na eficiência de remoção de cor aparente e turbidez não justifica maior tempo de sedimentação e de tratamento comparado aos 30 min destacados.

Além disso, a variação do pH foi analisada após todos os testes de CFS para acompanhar as possíveis modificações, e concluiu-se que não houve variação significativa do pH em todos os processos, permanecendo entre 7,73 e 7,97, obtendo uma média de pH das amostras de 7,88. Desta forma, percebe-se que a alteração de concentração de  $MnFe_2O_4$  - G e a utilização de MO como coagulante não alteram significativamente o pH do efluente, sendo uma grande vantagem em relação aos coagulantes químicos. Ndabigengesere e Narasiah (1998) relataram que comparado com o tratamento com sulfato de alumínio, a semente de MO não precisa de ajustes de pH e alcalinidade, e não resulta em problemas de corrosão, além de produzir um baixo volume de lodo, que é biodegradável.

CARDOSO *et al.* (2008) alcançaram a melhor eficiência na remoção da turbidez de 90,5% e 84,9% da cor aparente em 90 min de sedimentação em água superficial com 247 NTU proveniente do rio Pirapó, com solução aquosa de moringa. Tal eficiência de remoção pode ser observada neste estudo com 30 min de sedimentação magnética e pode, ainda, serem comparadas aos 90 min com

metodologia gravitacional utilizada no ensaio realizado sem o campo magnético utilizando o tratamento 0/1000 (apenas a concentração de MO), que alcançou 90,64% de remoção da cor aparente e 94,62% de remoção da turbidez.

Nos estudos de NISHI *et al.* (2011), também analisando água superficial proveniente do rio Pirapó, a eficiência de remoção da turbidez variou de 68,9% a 94,6% para água de 250 NTU e a remoção da cor variou de 21,8 a 88,4% para água de cor aparente inicial 1000 mg PtCo/L, com concentrações entre 150 mg/L e 300 mg/L, bem menores do que a utilizada neste estudo. Entretanto, as concentrações ótimas e as diversas eficiências de remoção de cor aparente e turbidez podem ser justificadas pelas diferenças dos tipos de amostras utilizadas em cada trabalho, além de outros fatores, como a qualidade das sementes da MO e as concentrações avaliadas.

Em estudos avaliando efluentes, Couto Junior *et al.* (2012) empregaram a MO como coagulante no tratamento de efluente de estamparia industrial e analisaram a eficiência da remoção da cor e turbidez, obtendo uma remoção de 97,28% da cor aparente do efluente e 97,30% da turbidez, com concentração ótima de 2500 mg/L em 30 min de sedimentação. Já Mateus *et al.* (2017) avaliaram a remoção de cor e turbidez de um efluente lácteo utilizando a semente da MO extraída com KCl na concentração de 3000 mg/L em concordância com as etapas de microfiltração e/ou nanofiltração. O processo que utilizou ambas as filtrações em união com a coagulação e floculação obteve 99% de remoção de cor e turbidez, caracterizando-a como própria para o reuso não potável.

Em ambos os estudos citados acima, a concentração de MO para o tratamento dos efluentes foi bem maior do que a utilizada neste (1000 mg/L), obtendo-se uma vantagem quanto a menor quantidade de solução de MO utilizada, tendo atingindo valores próximos de eficiência.

Avaliando ainda, a Figura 1, nota-se que o tempo de sedimentação na presença do campo magnético diminui consideravelmente e mantém a eficiência de remoção dos parâmetros avaliados. Utilizando a solução coagulante 40/1000 na remoção da cor aparente, em 30 min de sedimentação com o ímã, removeu-se 91,50% da cor aparente, a mesma porcentagem obtida em 90 min na ausência do campo magnético. A comparação é válida na remoção da turbidez, sendo que o coagulante 40/1000 removeu 94,66% da turbidez em 30 min na presença do campo magnético, e com 90 min sem o ímã removeu 94,96%. Visto que o aumento de

tempo representou uma mudança mínima ou nula, definiu-se como ideal um tempo de 30 minutos para sedimentação na presença do campo magnético externo utilizando a solução coagulante 40/1000.

Mateus *et al.* (2018) utilizando MO combinada com nanopartículas de óxido de ferro na presença de um campo magnético externo, obtiveram remoção de 96,8% da turbidez e 97,1% da cor aparente em apenas 10 min de sedimentação no tratamento de águas superficiais. Já Santos *et al.* (2018), utilizando a MO funcionalizada com as nanopartículas na existência do campo magnético, conseguiram remoção de 90% da turbidez e 85% de cor aparente em 30 min utilizando águas superficiais, concordando com o tempo ótimo de remoção dos parâmetros deste estudo.

Desta forma, os benefícios de funcionalizar a MO com as nanopartículas magnéticas estão além do menor tempo de sedimentação e da diminuição da turbidez, sendo útil na adsorção de compostos orgânicos, na remoção de íons metálicos e na atividade bactericida (AKBARZADEH *et al.*, 2012; HATAMIE *et al.*, 2016 citados por TRIQUES, 2019).

Santos *et al.* (2018) descrevem que a diminuição do tempo de decantação adjunto de um campo magnético pode ser esclarecida pelas teorias da curva de magnetização, que explicam que quando as nanopartículas se encontram em um campo magnético externo constante, o momento magnético interno girará na mesma direção deste. Desta forma, às impurezas da água se agregam pelo aumento das características magnéticas das nanopartículas, melhorando o desempenho de CFS (LU *et al.*, 2007; FARAJI *et al.*, 2010).

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que os tratamentos envolvendo  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$  - G foram eficientes e que, na presença de um campo magnético o tempo de decantação para a remoção dos parâmetros físico-químicos diminuiu de forma considerável. Assim, o coagulante apresenta-se como uma boa alternativa para o tratamento de efluentes.

## 4 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou que a síntese de nanopartículas magnéticas com o grafeno para a funcionalização de MO possui considerável potencial de eficiência para remoção dos parâmetros físico-químicos analisados. Em 30 min de sedimentação na presença de campo magnético o coagulante considerado ótimo foi a combinação 40/1000 (40 mg  $MnFe_2O_4$  – G e 1000 mg/L de MO) removendo 91,50% da cor aparente e 94,66% da turbidez das características iniciais do efluente, sendo satisfatório em relação as técnicas gravitacionais tradicionais utilizadas. A MO apresenta subprodutos biodegradáveis e orgânicos, além de apresentar não-toxicidade ao ambiente. Também foi constatado que a associação do óxido de grafeno às nanopartículas magnéticas foi benéfica e eficaz para o menor tempo de sedimentação para a remoção dos parâmetros analisados. Desta forma, obtém-se uma solução para dois problemas ambientais, o tratamento eficiente de efluentes e a possibilidade de substituição aos sais de alumínio utilizados como coagulantes no processo.

Para trabalhos futuros, tem-se a sugestão de avaliar a DQO e metais pesados de efluentes e sua eficiência de remoção com a solução coagulante, além de novas condições operacionais para reduzir ainda mais o tempo de sedimentação do processo.

## REFERÊNCIAS

AKBARZADEH, A.; SAMIEI, M.; DAVARAN, S. **Magnetic nanoparticles: preparation, physical properties, and applications in biomedicine.** *Nanoscale Research Letters*, v. 7, n. 144, 2012.

AMAGLOH, F. K., & BENANG, A. **Effectiveness of Moringa Oleifera Seed as Coagulant for water purification.** *African Journal of Agricultural Research*, v. 4, n.1, p. 119-123. 2009. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/AJAR>>.

APHA, AWWA, WEF, 2012. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*, 22 ed. American Public Health Association.

ARANTES, C. C.; PATERNIANI, J. E. S; RIBEIRO, L. C. L. J. **Uso de coagulantes naturais a base de sementes de moringa oleifera e tanino visando a redução de turbidez e cor aparente em águas de abastecimento para comunidades rurais.**

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25ª edição. Anais, Recife, 2009.

BONGIOVANI, M. C. et al. **Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável**. Acta Scientiarum Technology. Maringá, v. 32, n. 2 p. 167-170, 2010.

CAI, W.; LAI, T.; DAI, W.; YE, J. **A facile approach to fabricate flexible all-solid-state supercapacitors based on MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/graphene hybrids**. Journal of Power Sources, v. 255, n. 0, p. 170-178, 2014.

CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E. S.; MORAES, C. K. **Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleífera Lam**. Acta Scientiarum. Technology, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.

CHELLA, S.; KOLLU, P.; KOMARALA, E. V. P. R.; DOSHI, S.; SARANYA, M.; FELIX, S.; RAMACHANDRAN, R.; SARAVANAN, P.; KONERU, V. L.; VENUGOPAL, V.; JEONG, S. K.; NIRMALA GRACE, A. **Solvothermal synthesis of MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-graphene composite—Investigation of its adsorption and antimicrobial properties**. Applied Surface Science, v. 327, n. 0, p. 27-36, 2015.

COUTO JUNIOR, O. M. **Tratamento de efluentes da indústria têxtil por coagulação e floculação utilizando polímeros naturais**. 2011. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química, Universidade do Estadual de Maringá, Maringá, 2011).

COUTO JUNIOR, S. S. et al. Tratamento de efluente da indústria têxtil por coagulação e floculação utilizando coagulantes naturais. **Revista Ciências Exatas**. Taubaté. v. 18, n. 1, 2012. Disponível em: <<http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/exatas/article/view/1457/1023>>. Acesso em: 10 set. 2020.

CROOK, J. **Crêterios de qualidade da água para reuso**. Revista DAE, v. 53, n. 174, p. 10-18, 1993.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; FILHO, P. L. C. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos, Rima, 2002.

EL-NAAS, M.H., ALHAIJA, M.A., AL-ZUHAIR, S., **Evaluation of a three-step process for the treatment of petroleum refinery wastewater**. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 2, p. 56-62, Mar, 2014.

FRANCO, C. S.; BATISTA, M. D. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KOHN, G. P.; FIA, R. Coagulation with moringa oleifera seed prepared by different methods in water turbidity of 20 to 100 UNT. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 4. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522017000400781&lng=pt&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017000400781&lng=pt&tlng=pt)>. Doi: [10.1590/s1413-41522017145729](https://doi.org/10.1590/s1413-41522017145729) .

GUSMÃO, A. L. S. **Uso de Taninos no tratamento de água para abastecimento**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio grande do Sul, departamento de Engenharia química. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/109719/000950670.pdf?sequence=1>>.

HATAMIE, A.; PARHAM, H.; ZARGAR, B.; HEIDARI, Z. **Evaluating magnetic nano-ferrofluid as a novel coagulant for surface water treatment**. *Journal of Molecular Liquids*, v. 219, p. 694-702, 2016.

HUMMERS, W. S.; OFFEMAN, R. E. **Preparation of Graphitic Oxide**. *Journal of the American Chemical Society*, v. 80, n. 6, p. 1339-1339, 1958.

LI, Z.; GAO, K.; HAN, G.; WANG, R.; LI, H.; ZHAO, X. S.; GUO, P. **Solvothermal synthesis of MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> colloidal nanocrystal assemblies and their magnetic and electrocatalytic properties**. *New Journal of Chemistry*, v. 39, n. 1, p. 361-368, 2015.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 2 ed. Campinas: Editora Átomo, 2008.

LIED, E. B.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T. **Avaliação da eficiência do tratamento de água residuária de fecularia por coagulação/floculação utilizando extrato de moringa oleífera**. *Anais, 2º Encontro Brasileiro de Gestão Ambiental*, João Pessoa, 2011.

MADRONA, G. S.; SERPELLONI, G. B.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L.; CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R. **Study of the Effect of Saline Solution on the Extraction of the Moringa oleífera Seed's Active Component for Water Treatment**. *Water, Air & Soil Pollution*, v. 211, p. 409-415, 2010.

MARTYN, C. N., BARKER, D. J., OSMOND, C., HARRIS, E. C., EDWARDSON, J. A., LACEY, R. F. **Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminum in drinking water**. *Lancet*, 1(8629): 59-62, 1989.

MATEUS, G. A. P.; FORMENTINI-SCHMITT, D. M.; NISHI, L.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R. **Coagulation/Flocculation with Moringa oleífera and Membrane Filtration for Dairy Wastewater Treatment**. *Water, Air & Soil Pollution*, v. 228, p. 342, 2017

MATEUS, G. A. P.; PALUDO, M. P.; DOS SANTOS, T. R. T.; SILVA, M. F.; NISHI, L.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R. **Obtaining drinking water using a magnetic coagulant composed of magnetite nanoparticles functionalized with Moringa oleífera seed extract**. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v.6, n.4, p. 4084-4092, 2018.

MATEUS, G. A. P., DOS SANTOS, T. R. T., POMINI, A. M., YAMAGUCHI, N. U., BERGAMASCO, R. **UTILIZAÇÃO DO EXTRATO DA PLANTA Moringa oleífera E NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS PARA REMOÇÃO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA**. Congresso ABES – Congresso Brasileiro de Engenharia

Sanitária e Ambiental, 30ª edição, 2019, Natal, Brasil, jun 2019. Anais eletrônicos Natal: ABES, 2019, p. 54.

MORAES, L. C. K. **Estudo da coagulação e ultrafiltração para produção de água potável. 2004.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S.; TALBOT, B. G. **Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera.** Water Research, v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995.

NISHI, L.; MADRONA, G. S.; VIEIRA, A. M. S.; BASSETI, F. J.; SILVA, G. F.; BERGAMASCO, R. **Floculação com Sementes de Moringa oleifera Lam para Remoção de Cistos de Giardia spp. e Oocistos de Cryptosporidium spp. da água.** Advances in Cleaner Production "CLEANER PRODUCTION INITIATIVES AND CHALLENGES FOR A SUSTAINABLE WORLD". 3rd International Workshop. São Paulo, Brazil, Maio, 2011.

NUNES, José A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais.** 6. ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2012.

OKOLI, C.; BOUTONNET, M.; JÄRAS, S.; RAJARAO-KUTTUVA, G. **Protein-functionalized magnetic iron oxide nanoparticles: time eficiente potential-water treatment.** Journal of Nanoparticle Research, v. 14, n. 10, p. 1194-1199, 2012.

PATERNIANI, J. E. S.; SANT'ANNA, M. R. **Eficiência da Sedimentação com uso de coagulante obtido de semente de Moringa oleifera. Relatório Final de Iniciação Científica.** Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 2006.

Resolução CONAMA Nº 430/2011 - "Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA." - Data da legislação: 13/05/2011 - Publicação DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89

SANTOS, T. R. T.; SILVA, M. F.; de ANDRADE, M. B.; VIEIRA, M. F.; BERGAMASCO, R. **Magnetic coagulant based on Moringa oleifera seeds extract and super paramagnetic nanoparticles: optimization of operational conditions and reuse evaluation.** Desalination and Water Treatment, v. 106, p. 226-237, 2018.

SOUZA, R.B.A., RUOTOLO, L.A.M. **Electrochemical treatment of oil refinery effluent using boron-doped diamond anodes,** Journal of Environmental Chemical Engineering, v.1, pp. 544-551, Sep. 2013.

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2005. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. **Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano.** *Scientia Agrícola*, São Paulo, v. 59, n. 1, p. 181-186, 2002.

TRIQUES, C.C. **ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA TRATABILIDADE DE EFLUENTES DE CIP DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS LÁCTEOS**. Dissertação (Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo, 2019.

UNICEF BRASIL. Crianças que vivem em conflitos prolongados têm três vezes mais chances de morrer de doenças relacionadas à água do que em decorrência da violência. Disponível em: <<https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/criancas-que-vivem-em-conflitos-prolongados-tem-tres-vezes-mais-chances-de>>. Acesso em: 08 de maio de 2020.

WENZEL, H.; KNUDSEN, H.H. **Water savings and reuse in the textile industry**. In: OMELCHENKO, A.; PIVOVAROV, A. A.; SWINDALL, W. J. (Ed.). Modern tools and methods of water treatment for improving living standards. Amsterdam: Springer Netherlands, 2005, p. 169-189

YAMAGUCHI, N. U.; BERGAMASCO, R. ; HAMOUDI, SAFIA . Magnetic MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-Graphene Hybrid Composite for Efficient Removal of Glyphosate from Water. **Chemical Engineering Journal**, v. 1, p. 391-402, 2016.