



ANA LETICIA DE OLIVEIRA BORGES

**REMOÇÃO DO INCREMENTO DE MATÉRIA ORGÂNICA
CAUSADO PELA COAGULAÇÃO COM MORINGA
OLEÍFERA POR FILTRO MULTICAMADAS**

LAVRAS – MG

2019

ANA LETICIA DE OLIVEIRA BORGES

**REMOÇÃO DO INCREMENTO DE MATÉRIA ORGÂNICA CAUSADO PELA
COAGULAÇÃO COM MORINGA OLEÍFERA POR FILTRO MULTICAMADAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Camila Silva Franco
Orientadora

**LAVRAS- MG
2019**

ANA LETICIA DE OLIVEIRA BORGES

**REMOÇÃO DO INCREMENTO DE MATÉRIA ORGÂNICA CAUSADO PELA
COAGULAÇÃO COM MORINGA OLEÍFERA POR FILTRO MULTICAMADAS**

**REMOVAL OF THE INCREASE OF ORGANIC MATTER CAUSED BY
COAGULATION WITH OLEIFER MORINGE BY MULTILAYER FILTER**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 13 de junho de 2019.

Profa. Dra. Camila Silva Franco – DRS/UFLA

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira – DRS/UFLA

Profa. Gabriela Rezende de Souza – DRS/UFLA

Profa. Dra. Camila Silva Franco
Orientadora

**LAVRAS – MG
2019**

AGRADECIMENTOS

Em primeiro instante agradeço a Deus, à vida que ele me concedeu e todas as conquistas alcançadas, sem ele nada disso seria possível!

Serei eternamente grata aos meus pais Rosângela e Claudio e ao meu irmão Felipe, que estiveram comigo em todos os momentos da graduação me incentivando e apoiando em todas as minhas decisões, vocês foram essenciais para realização deste sonho.

Ao Eduardo, pelo incentivo e companheirismo!

A aquelas que eu tive o prazer de conviver durante estes anos de graduação Mari e Letícia, à amizade sincera e eterna que levarei comigo por todos os dias da minha vida.

Aos meus queridos amigos e colegas que estiveram comigo nos momentos de alegria e de dificuldades, Dani, Isabela, Thaís, Wesley, Paola. Obrigada pela amizade e companheirismo!

Agradeço a ONG Engenheiro Sem Fronteiras na qual tive o prazer de fazer parte e realizar trabalhos voluntários ao lado de pessoas maravilhosas, foi um desenvolvimento profissional e principalmente pessoal para a minha vida.

A minha orientadora Camila Silva Franco, pela paciência e colaboração para a realização deste trabalho.

A todos que contribuíram para a execução deste trabalho, Juliana Técnica do Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária, Marcos e Alex do Laboratório de Análises de Água do departamento de engenharia, obrigada pelos ensinamentos e acompanhamento durante todas as etapas do experimento.

A todos os professores do Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento UFLA, por repassar seus conhecimentos, experiências e vivências profissionais.

A Universidade Federal de Lavras que contribuiu para minha formação acadêmica.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

O tratamento da água consiste na remoção de impurezas que são indesejáveis à saúde humana, dispondo das etapas de coagulação, floculação, sedimentação e filtração. A *Moringa Oleifera* é um coagulante natural utilizado no processo de clarificação de água, podendo substituir os coagulantes inorgânicos. Porém, por possuir característica orgânica, a mesma pode acrescentar matéria orgânica na água clarificada, que em contato com o Cloro usado na desinfecção pode-se ocorrer a formação do Trihalometano. Este trabalho tem por objetivo avaliar o potencial do tratamento de ciclo completo da água proveniente da lagoa de captação da Universidade Federal de Lavras (UFLA) usando solução da semente de *Moringa Oleifera* como coagulante e a determinação do incremento de matéria orgânica na água clarificada e a sua remoção após a etapa de filtração. Na análise do processo de coagulação utilizou-se os ensaios de Jar Teste sob as condições de 200 rpm em 1 minuto para a mistura rápida (MR), 40 rpm por 20 minutos para mistura lenta (ML) e tempo de sedimentação de 60 minutos posteriormente, a filtração em filtro descendente de camada dupla com areia e antracito como meios filtrantes. As amostras de água bruta, coagulada e filtrada foram analisadas quanto ao pH, turbidez, cor e DQO. A concentração ótima encontrada foi de 1453,3 mg L⁻¹, resultado acima do encontrado na literatura. O tratamento da água não alterou o pH da água mostrando o não consumo de alcalinidade, e removeu 99,0% da turbidez, adequando ao padrão de potabilidade em vigência. Com relação à cor, apesar de ter tido uma remoção de 94,5%, as amostras avaliadas não se enquadraram ao padrão, este fator pode ser proveniente da alta taxa de aplicação utilizada no experimento, sendo necessário outros estudos com diferentes condições de operação do filtro. Pelos resultados obtidos nas análises de DQO, verificou-se um incremento de matéria orgânica de 164,0% não muito diferente do encontrado em outros trabalhos e após a coagulação e remoção de 24,0% depois do filtro, mostrando, portanto, a importância do filtro no tratamento completo quando utilizado o coagulante natural *Moringa Oleifera*.

Palavras-chave: Coagulante natural, Matéria orgânica, Filtração.

ABSTRACT

The treatment of water consists in the removal of impurities that are undesirable to human health, having the steps of coagulation, flocculation, sedimentation and filtration. *Moringa Oleifera* is a natural coagulant used in the process of water clarification and can replace inorganic coagulants. However, by having organic characteristics, you can add organic matter in the clarified water which contact the chlorine used in the disinfection can be formed of Trihalometano. This study aims to evaluate the potential treatment of full cycle of water from the pond to capture the Federal University of Lavras (UFLA) using *Moringa oleifera* seed solution as coagulant and determining the increase of organic matter in the clarified water and after the filtration step. In the analysis of the coagulation process the Jar Test assays were run under conditions of 200 rpm in 1 minute for rapid mixing (MR), 40 rpm for 20 minutes for slow mixing (SM) and sedimentation time of 60 minutes later the filtration filter descending double layer with sand and anthracite as a filter medium. The samples of untreated water coagulated filtered and were analyzed for pH, turbidity, color and COD. The optimal concentration found was 1453.3 mg L⁻¹, a result above that found in the literature. The water treatment did not alter the pH of the water not showing the alkalinity consumption, and removed 99.0% of the turbidity, adjusting the potability standards in force. With respect to color, despite having had a 94.5% removal, the samples tested did not meet the standard, this factor can be from the high application rate used in the experiment, with other studies requiring different operating conditions filter. The results obtained for the analysis of COD, there was an increase of 164.0% organic matter not much different from other studies and found after coagulation and removal of 24.0% after the filter, showing therefore the importance of the filter in the complete treatment when using the natural coagulant *Moringa Oleifera*.

Keywords: Natural coagulant, Organic matter, Filtration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lagoa de captação de água da UFLA.....	13
Figura 2 – Sementes da Moringa descascadas e trituradas	14
Figura 3 – Processo de filtração da água clarificada.....	15
Figura 4 – Eficiência da remoção de turbidez a partir de diferentes concentrações de MO.....	17
Figura 5 – Gráfico <i>boxplot</i> da variável turbidez.....	21
Figura 6 – Gráfico <i>boxplot</i> da variável cor.....	22
Figura 7 – Gráfico <i>boxplot</i> da variável DQO.....	22
Figura 8 – Gráfico <i>boxplot</i> da variável pH.....	23

LISTA DE SIGLAS

DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
MON	Matéria orgânica natural
MO	<i>Moringa Oleifera</i>
ML	Mistura lenta
MR	Mistura rápida
PAC	Poricloreto de alumínio
THM	Trihalometano
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
UH	Unidade Hazen

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 MATERIAIS E MÉTODOS	12
2.1 Coleta e preparação da água bruta.....	12
2.2 Preparação do coagulante Moringa Oleifera.....	13
2.3 Ensaio de clarificação em Jar Test	14
2.4 Filtração.....	15
2.5 Variáveis de qualidade da água para potabilidade analisadas	15
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4 CONCLUSÃO.....	25
5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1 INTRODUÇÃO

A presença de alguns componentes na água pode ser nocivos à saúde humana, como partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos patogênicos, metais pesados etc. Dessa forma, o tratamento da água vem contribuir para a remoção dessas substâncias indesejáveis e torná-la potável para o consumo humano (LIBÂNIO,2010).

Para a adequação da potabilidade da água são configuradas as estações de tratamento de água (ETA's). Atualmente, o sistema de tratamento de água de ciclo completo envolve as etapas de clarificação (mistura rápida/coagulação, mistura lenta/floculação, decantação e filtração) e desinfecção (FUNASA, 2014).

Comumente, na etapa de coagulação/floculação, são utilizados os coagulantes primários inorgânicos, como o sulfato de alumínio e cloreto férrico, sendo este último o mais eficiente na remoção de matéria orgânica natural (LIBÂNIO, 2010), porém os mesmos possuem concentrações variáveis de metais pesados, podendo ser problema para o tratamento da água e a disposição do lodo gerado (RICHTER, 2009).

Segundo López e Campos (2011) os coagulantes inorgânicos podem ser facilmente absorvidos pelos seres humanos e causar consequências negativas em longo prazo, por possuírem efeitos associados a problemas neurológicos e degeneração do fígado.

Alguns materiais de origem orgânica têm sido estudados como alternativas em substituição aos sais de Ferro e Alumínio, como os coagulantes orgânicos de *Moringa Oleifera* (VALVERDE, 2018; REIS, 2017), *Cactos Opuntia* (PARRA et al., 2011), algas marinhas (PRADO et al., 2011) e os Taninos (ARANTES,2014) que de acordo com os autores mostram eficiência na clarificação das águas de consumo humano. Além de possuir um baixo efeito tóxico ou carcinogênico (EMBRAPA, 1999), não afetam o pH nem a alcalinidade da água, possui baixo custo e produz lodos biodegradáveis e em menor quantidade (MOLINA, 2016).

No entanto, Libânio (2010) não recomenda o emprego de polímeros orgânicos como coagulantes primários no tratamento de água rico em matéria orgânica por serem precursoras na formação de Triahlometano (THM).

Os coagulantes orgânicos possuem proteínas solúveis que atuam no processo como um polieletrólito catiônico natural, que são grandes cadeias moleculares com sítios de carga positiva e negativa com alta capacidade de adsorção, sendo que, a semente da *Moringa Oleifera* (MO) contém 1,0% deste polieletrólito ativo que neutraliza os colóides carregados negativamente (MOLINA, 2016; MANGALE et al., 2012). Nesse sentido, a semente da MO é

de grande importância para o tratamento da água, podendo ser usada principalmente em zonas rurais, onde não possui rede de abastecimento de água.

A *Moringa oleifera* é uma árvore nativa da Índia e amplamente cultivada em diversos países tropicais. Do gênero *Moringa* e família *Moringaceae*, a planta possui uma altura que varia de 5,0 metros a 12,0 metros, com flores brancas perfumadas, fruto como sendo uma espécie de vagem, sementes marrons escuras e com folhas ricas em vitaminas A e C, Cálcio, Ferro e Fósforo. A árvore se desenvolve melhor em solo argiloso e arenoso, neutro e levemente ácido, com a temperatura em média de 26°C a 40°C (EMBRAPA, 2006). Grande parte da planta possui valor medicinal, usada para cura de tumores e doenças de pele.

A *Moringa oleifera* também possui função de tratamento químico de água, por meio de um composto ativo coagulante na semente (EMBRAPA, 2009), confirmado por vários autores. Ritter (2013) observou 97,6% de remoção de turbidez, Lima (2015) de 100% e Ribeiro (2010) de mais de 94%, sendo que estes estudos utilizaram no tratamento as etapas de coagulação e floculação.

A semente de MO apresenta um inconveniente, pois a quantidade de matéria orgânica na água tratada aumenta proporcionalmente em relação à dosagem do coagulante. Observado por Reis (2017) que em seu estudo obteve um acréscimo superior a 100,0% e conseqüente acréscimo da demanda química de oxigênio (DQO) e então propôs em seu trabalho que, para se obter um resultado satisfatório no tratamento de água, é necessário o tratamento em ciclo completo, ou seja, processo de clarificação seguido de filtração, sendo o último capaz de reduzir a quantidade de matéria orgânica adicionada pela semente.

Santos et al. (2016) realizaram o tratamento em ciclo completo da água utilizando a *Moringa oleifera* como coagulante. Comparando à água bruta os autores observaram uma remoção de 22,0% do Carbono orgânico dissolvido após a coagulação/floculação e de 90,0% na etapa de adsorção em carvão.

Com base nos trabalhos realizados por Ritter (2013), Lima (2015) e Ribeiro (2010), nota-se que a utilização da semente de MO no processo de clarificação consiste em resultados satisfatórios. Porém, a reação da matéria orgânica da semente com o Cloro que poderá ser utilizado no processo de desinfecção, tende a formar subprodutos orgânicos como os THM ou ácidos haloacético na água de abastecimento, tendo estes, efeitos carcinogênicos para o ser humano (BONGIOVANI, 2014). Neste sentido, é imprescindível utilizar a etapa de filtração para a remoção da carga orgânica proveniente da MO para não formação de THM após a desinfecção.

As atuais legislações referentes ao padrão de potabilidade não contemplam os compostos orgânicos para água tratada, porém a concentração dos mesmos pode ser determinada por Carbono orgânico total (COT), absorvância por raios ultravioleta, Oxigênio consumido, da demanda química (DQO) e bioquímica (DBO) de Oxigênio. No entanto os dois últimos atributos relacionadas à qualidade da água, raramente são aplicados em estações de tratamento de água, pelo fato de água ser de melhor qualidade (LIBÂNIO, 2010).

Embora a matéria orgânica não seja aplicada nos padrões de potabilidade, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) e a Portaria 2914 de 2011 do Ministério da Saúde estabelecem um limite de $100,0 \mu\text{g L}^{-1}$ para o THM (BRASIL, 2011).

Dada a aplicabilidade da MO como coagulante no processo de tratamento de água e os riscos associados à sua utilização, este trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência do processo de filtração na remoção do incremento de matéria orgânica causada pela coagulação com MO.

Além de analisar a eficiência de remoção da turbidez e cor após clarificação (coagulação, floculação e sedimentação) e filtração em água turvada aplicando a MO como coagulante, identificar o valor de Demanda Química de Oxigênio (DQO) após a sedimentação e após a filtração e mensurar a redução de DQO, avaliar possíveis alterações do potencial hidrogeniônico (pH) no tratamento e comparar os resultados obtidos com os padrões de potabilidade da Portaria 2914 de 2011 do Ministério da Saúde.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Qualidade de Água do Setor de Engenharia Ambiental e Sanitária, pertencente ao Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no período de 5 a 14 de novembro de 2018.

2.1 Coleta e preparação da água bruta

A água bruta utilizada no experimento foi proveniente da lagoa de captação da Universidade Federal de Lavras (Figura 1). Para cada repetição foram coletados 18,0 L de água bruta, divididos em dois recipientes de Polipropileno, contendo 9,0 L em cada.

Figura 1- Lagoa de captação de água da UFLA.



Fonte: Do autor (2019).

A água da lagoa de captação possui uma série histórica de dados cuja turbidez média e sua variação temporal é de $7,05 \pm 3,9$ UNT, para o período de fevereiro a novembro de 2018. Franco et al. (2017) concluíram que em águas com valores menores ou iguais a 20 UNT a coagulação com a MO prejudica o processo de clarificação, e que apenas para valores acima de 60 UNT sua aplicação promove eficiência relevante na remoção de turbidez.

Desta forma, optou-se por incrementar a turbidez natural da água bruta coletada, pela adição e homogeneização de 40 gramas de solo argiloso, peneirado em peneira de 0,25mm. Após sedimentação por 60 min, o sobrenadante, contendo apenas os colóides suspensos que serão desestabilizados durante a coagulação, foi utilizado para os ensaios seguintes.

2.2 Preparação do Coagulante *Moringa Oleifera*

As sementes de MO foram adquiridas no Departamento de Agricultura da UFLA, pelo Núcleo de Estudos em Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais, Gorduras e Biocombustíveis (G-Óleo), as quais foram descascadas manualmente, maceradas com auxílio de pistilo (Figura 2) e peneiradas em peneira de 0,30 mm. Para diluição das sementes, estas foram pesadas em balança analítica ($\pm 0,001$ g) nas quantidades de 100, 300, 500, 700 e 1000 mg e, após transferidas para balões volumétricos de 1000 mL contendo água deionizada. Após a homogeneização da solução, retirou-se 100 mL da solução de cada balão para o ensaio de clarificação em aparelho JarTest.

Figura 2- Sementes da *Moringa* descascadas e trituradas.



Fonte: Do autor (2019).

2.3 Ensaio de clarificação em *Jar Test*

O equipamento Jar Test (modelo 218/LDB) utilizado neste trabalho é provido de 6 jarros de acrílico com dimensões de 11,5 x 11,5 x 15,12 cm contendo um volume de 2000 mL cada e pás de dimensões 2,5 x 7,5 cm. Para determinar a concentração ótima de coagulante, em cada jarro foi adicionado um volume de 1500 mL da água turva.

O aparelho foi acionado e imediatamente foram acrescentadas as soluções preparadas, sob as seguintes condições de operações: 200 rpm (188 s^{-1}) durante 1 minuto para a mistura rápida (MR), 40 rpm (25 s^{-1}) por 20 minutos para mistura lenta (ML) e tempo de sedimentação de 60 minutos. Os gradientes de velocidade foram calculados a partir da Equação 1, conforme Richter (2009).

$$G = 0,25n^{1,25} \quad (1)$$

em que:

G = Gradiente de mistura (s^{-1});

n = rotação das pás (rpm).

Os resultados do *Jar Test* sob as diferentes concentrações de MO foram plotados em gráfico de dispersão para ajuste de uma equação de segundo grau. E então, a concentração ótima da MO calculada pela derivada do ajuste polinomial de segundo grau da equação foi selecionada para os ensaios seguintes. A eficiência da remoção de turbidez e cor foi calculada a partir da equação 2.

$$E = [(\text{valor inicial} - \text{valor final}) \div (\text{valor inicial})] \times 100 \quad (2)$$

em que:

E: Eficiência (%);

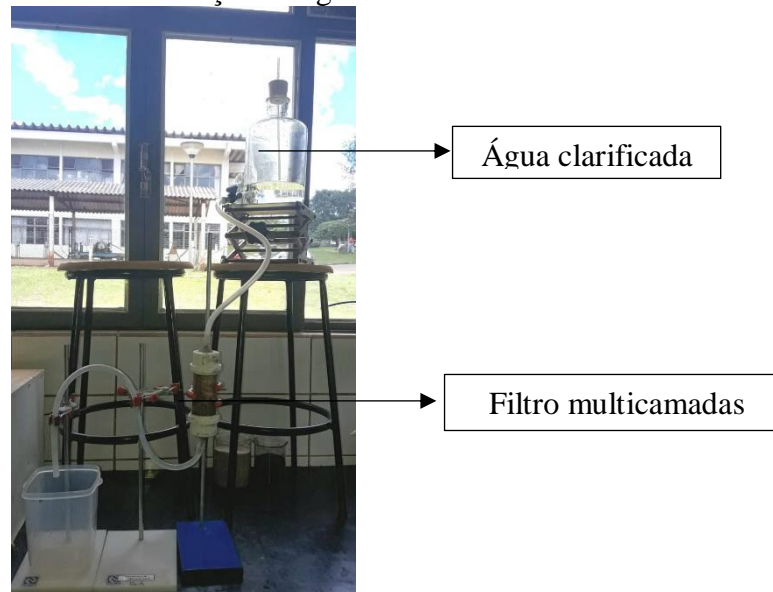
Este procedimento foi realizado em 4 repetições e após o processo de clarificação foram retirados 500 mL das amostras de cada jarro para as análises de qualidade para potabilidade.

2.4 Filtração

Na etapa de filtração, retirou-se de cada jarro 500 mL de água clarificada após o ensaio supracitado. A filtração foi do tipo descendente em um filtro de camada dupla, composto por camadas de areia e antracito. O filtro utilizado foi constituído de um tubo de acrílico de 4,7 cm de diâmetro e 14,6 cm de altura, conexões de PVC, registro e mangueiras. O tubo foi preenchido com 105,73 g de areia e 143,51 g de antracito (VITOR, 2018), correspondendo a 40% e 60% do meio filtrante respectivamente, conforme NBR 12216 (ABNT, 1992).

O reservatório de água bruta foi do tipo Mariotti, com capacidade de 4,0 L e aplicação da água bruta a uma taxa de $424,76 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (Figura 3). As amostras efluentes foram submetidas às análises de qualidade para potabilidade (APHA, 1999).

Figura 3 - Processo de filtração da água clarificada.



Fonte: Do autor (2019).

2.5 Variáveis de qualidade da água para potabilidade analisadas

As análises foram feitas no Laboratório de Qualidade de Água do núcleo de saneamento ambiental da UFLA e as análises de DQO foram realizadas no Laboratório de Análise de Água – Departamento de Engenharia (LAADeg), todas conforme metodologia *Standard Methods* (APHA, 1999). As variáveis analisadas no experimento estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis analisadas e suas respectivas metodologias.

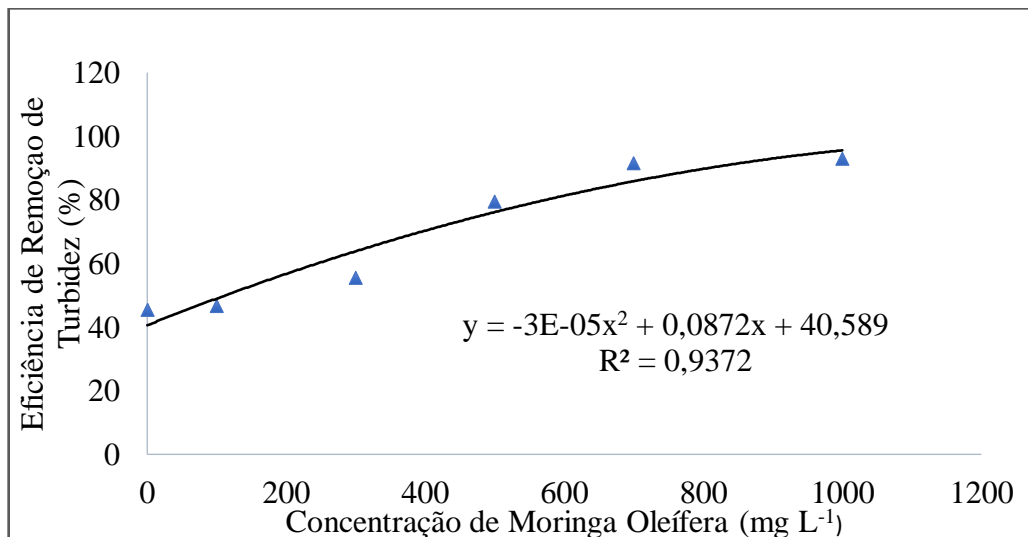
Variáveis	Metodologias – Standard Methods	Precisão do Aparelho
pH	Potenciometria (4500-H ⁺ A)	± 0,01
Turbidez	Turbidimetria (2130 B)	± 0,01
Cor	Colorimetria (2120 A)	± 0,01
DQO	Refluxo aberto (5220 B)	-

Fonte: Do autor (2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta o gráfico de remoção da turbidez utilizando as diferentes concentrações de *Moringa Oleifera*. A concentração ótima de MO encontrada foi de 1453,3 mg L⁻¹. Franco (2017) ao usar a moringa como coagulante e sob diferentes métodos de preparação, encontrou uma remoção máxima de turbidez de 87,3% em uma concentração ótima de 314,8 mg L⁻¹. Porém descartou o método que obteve uma concentração alta, de 498,2 mg L⁻¹ por ocasionar maior geração de lodo e aumento da matéria orgânica que junto ao Cloro na desinfecção pode formar o THM.

Figura 4 - Eficiência da remoção de turbidez a partir de diferentes concentrações de MO.



Fonte: Do autor (2019).

Arantes et al. (2012) encontraram uma concentração ideal da solução da MO de 500,0 mgL⁻¹, obtendo uma remoção de turbidez e cor de 98,0 e 97,7% respectivamente. Da mesma forma, Reis (2017) obteve uma concentração ideal de 497,5 mg L⁻¹ com remoção máxima de turbidez de 62,0%.

Lo Monaco et al. (2012) afirma que concentrações acima de 600 mg L⁻¹ são usadas para águas residuárias, uma vez que estas se encontram em qualidade inferior. Neste sentido observa-se que o valor encontrado foi superior ao registrado na literatura, provavelmente em função da utilização de sementes de plantas e idades distintas. Segundo Narasiah et al. (2012) as sementes de MO de fontes diferentes apresentam desempenho distintos por possuírem proteínas variáveis, influenciando no desempenho da coagulação.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, a aplicação da solução de semente de MO como coagulante, no processo de ciclo completo de tratamento de água é

recomendado, visto que houve uma eficiente remoção de turbidez e cor. Os valores do potencial hidrogeniônico (pH) se encontraram dentro do estabelecido pelo padrão de potabilidade para águas de consumo humano sendo de 6,0 a 9,5, similar ao resultado obtido por Batista (2018), pelo fato de coagulantes polieletrólitos não consumirem alcalinidade da água.

Tabela 2 – Turbidez, cor, pH e DQO analisadas na água bruta, após a coagulação/floculação, filtração e suas respectivas eficiências.

Amostra	Água Bruta	Efluente da clarificação	Efluente da filtração	VMP (Portaria de Potabilidade 2914/2011)	Eficiência/ Incremento (%) de clarificação	Eficiência (%) de filtração
Turbidez (UNT)	112,67±1,15	10,42±1,27	1,12±0,21	5	90,75	99,0
Cor (UH)	509,10±17,43	73,45±5,61	27,42±3,11	15	85,5	94,5
pH	7,44±0,05	7,38±0,01	7,21±0,04	6 - 9,5	-	-
DQO (mg L ⁻¹)	27,02±5,13	44,52±10,79	33,52±6,98		164	24,7

Nota: Portaria n° 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL,2011).

Fonte: Do autor (2019).

Conforme Cardoso (2008), utilizar a MO como coagulante praticamente independe da alcalinidade da água, pois o processo pode ocorrer em uma grande faixa de valores de pH, entre 4 e 12. Da mesma forma, Júnior (2016) ao corrigir o valor do pH de amostras de água para ácido (4,5) e básico (10,8) e tratando as mesmas com a MO, observou que o pH não alterou significativamente os resultados, concluindo ser eficaz em uma larga faixa de pH. Nesse sentido, é dispensado o uso de alcalinizantes, diminuindo então o custo do tratamento.

De acordo com Yao, Nan e Chen (2014), em águas com alta turbidez inicial ocorrem mais colisões entre as partículas e conseqüentemente maiores flocos são formados acarretando em melhores remoções. Muniz (2015) corroborou esta afirmação em seu trabalho, em que tratou água bruta com turbidez de 70 UNT e 400 UNT, e após a floculação obteve remoção de 89,5% e 97,5%, respectivamente.

Paterniani et al. (2009) utilizaram água bruta de 100 UNT e verificaram uma eficiência de 92,0% na remoção de turbidez. Análogo a este trabalho que alcançou 90,75% de remoção após a clarificação, em água bruta de 112 UNT.

A turbidez alcançada após a filtração esteve abaixo de 5 UNT, valor máximo permitido pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Da mesma forma, Santos et al. (2016) utilizaram a MO no processo combinado coagulação/floculação seguido de adsorção em coluna com carvão ativado, obtendo uma eficiência de remoção de turbidez de 99,0% de remoção com efluente final de 0,3 UNT.

Em seu experimento, Henriques (2012) operou dois diferentes tipos de tratamento, o Sistema 1 (água bruta aplicada a filtro cerâmico caseiro) e Sistema 2 (água bruta coagulada com MO e filtrada em filtro de cerâmico caseiro). O comportamento da turbidez no primeiro sistema não adequou ao padrão de potabilidade, enquanto que o segundo atingiu o padrão, alcançando valores abaixo de 5 UNT e até mesmo abaixo de 1 UNT, provavelmente em função da desestabilização das partículas coloidais presentes na água bruta e redução da repulsão no meio filtrante.

A cor, apesar da alta eficiência após a filtração, excedeu o valor máximo permitido pela portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde de 15 UH. Este resultado pode estar relacionado à taxa de aplicação de $424,76 \text{ m}^{-3} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, uma vez que está acima do recomendado pela NBR 12216 para filtro descendente de dupla camada que é de $360 \text{ m}^{-3} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Segundo Heller e Pádua (2010) o uso da filtração direta descendente deve ocorrer apenas em águas brutas com valor de cor máximo de 25 uH, outra possível razão para o resultado não adequado deste trabalho.

Júnior (2016) trabalhou com as etapas de clarificação e de filtração separadamente e visualizou a importância destas, visto que ambos obtiveram uma remoção na cor de 80%. No entanto, os dois processos juntos alcançaram uma eficiência de 100%, mostrando melhores resultados no complemento destes.

Em uma associação entre extrato natural da MO (80%) e o coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) (20%), Valverde et al. (2014) identificaram uma remoção de 80% na cor utilizando o processo de coagulação, floculação e sedimentação. Para melhores resultados os autores complementaram o tratamento com filtro rápido de fluxo descendente e adquiriu uma eficiência de 95,0% alcançando o valor de 1 NTU para o parâmetro, o adequando ao padrão de potabilidade da água. No tocante a cor, pode-se dizer que tal parâmetro apresentou resultados similares aos autores citados, com 85,5% de remoção na clarificação e 94,5% ao passar pela filtração. Porém, o fato de não ter se adequando à legislação brasileira não inviabiliza a utilização da MO no tratamento completo da água, mas sim prosseguir com pesquisas sobretudo no que tange a filtração e tentar solucionar os erros do processo.

Pelos valores de DQO, pode-se observar que apesar da concentração ótima utilizada ter sido alta, o incremento da carga orgânica após a clarificação de 164,0% não mostrou ser exorbitante comparado a outros trabalhos, como de Reis (2017) que ao utilizar uma concentração ótima de 497,5 mg/L teve um incremento de 163,0%. Do mesmo modo, Batista (2018), ao usar a torta de moringa na clarificação, atingiu incremento de 355,0% com uma concentração ótima de 393 mg/L.

Este incremento de carga orgânica está relacionado à adição da MO, visto que, é uma semente rica em substâncias orgânicas, com concentrações de proteínas, lipídeos e carboidratos (GIDDE, BHALERAO e MALUSARE, 2012).

A etapa de filtração contribuiu para a remoção da matéria em 24,7%, mostrando a importância do filtro no tratamento da água quando utilizada a MO ou qualquer outro coagulante orgânico. De acordo com Santos et al. (2016), existe uma fração da matéria orgânica de baixa massa molecular, como proteínas, polissacarídeos e aminoácidos que são removidos apenas por filtração.

Valverde et al. (2018) associaram a MO e o Policloreto de Alumínio (PAC) como coagulantes na ordem de 80%/20% e 60%/40%, respectivamente e também identificaram que, após os processos de clarificação e filtração o aumento da DQO em relação à água bruta de forma proporcional à dosagem de MO. Os autores perceberam que houve um maior incremento de matéria orgânica na associação de 80%/20% com valor de 5,975 mg L⁻¹ enquanto que a água bruta tinha 4,160 mg L⁻¹.

Nos ensaios manipulados em seu experimento, Henriques (2012) verificou no Sistema 1 (água bruta aplicada a filtro cerâmico caseiro) que a remoção da matéria orgânica pode ocorrer utilizando apenas o filtro, e no Sistema 2 (água bruta coagulada com MO e filtrada em filtro de cerâmico caseiro) um aumento na DQO da água bruta após o uso da MO e diminuição após o filtro, na ordem de 52,0;115,0 e 60 mg L⁻¹, respectivamente, ou seja, obteve incremento de aproximadamente 221,0% e extração de 47,0%. De acordo com que Henriques (2012) mostrou, este estudo apresentou resultados semelhantes, porém o valor de incremento foi de 164,0% e decréscimo de 24,0% abaixo do autor, e pode ser pelo fato de a água bruta ter apresentado baixa DQO ou a MO utilizada possuir sementes de plantas e idades diferentes.

Pomini et al. (2017) trabalhando com água residuária de laticínio e a MO diluída em solução de Cloreto de Potássio como coagulante, observaram que não foi possível haver redução significativa da DQO utilizando apenas as etapas de clarificação, devido à alta carga orgânica do residual e também pela alta concentração de coagulante utilizada (3000 mg L⁻¹).

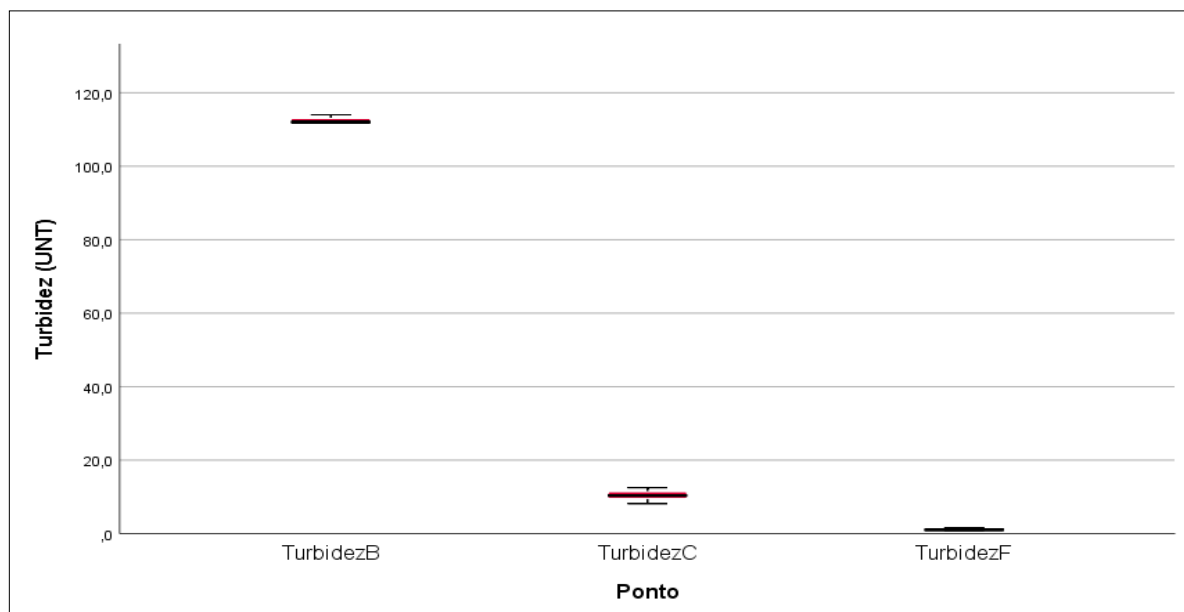
Desta forma, os autores usaram filtração por membranas (microfiltração e nanofiltração) após a clarificação e tal associação mostrou uma eficiência na remoção da DQO de 96,0%.

Apesar da eficiência de remoção da DQO não ter apresentado um resultado tão representativo quanto dos autores citados, foi possível constatar o incremento de carga orgânica na água clarificada após o uso da MO, porém a etapa de filtração sempre contribuirá para melhor eficiência de tratamento. Mudança nas condições de operações do filtro ou até mesmo no tipo de filtro pode contribuir para melhores resultados.

Não foi possível verificar uma comparação da variável DQO com as legislações, visto que, para tal parâmetro não existem padrões de potabilidade vigente.

As Figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam gráficos *boxplot* das variáveis de qualidade de água analisadas. As hastes superiores e inferiores compreendem o limite superior e inferior com os valores máximos e mínimos, extremidades inferior e superior da caixa são os percentis 25 e 75%, e a linha dentro da caixa representa a mediana ou percentil 50%.

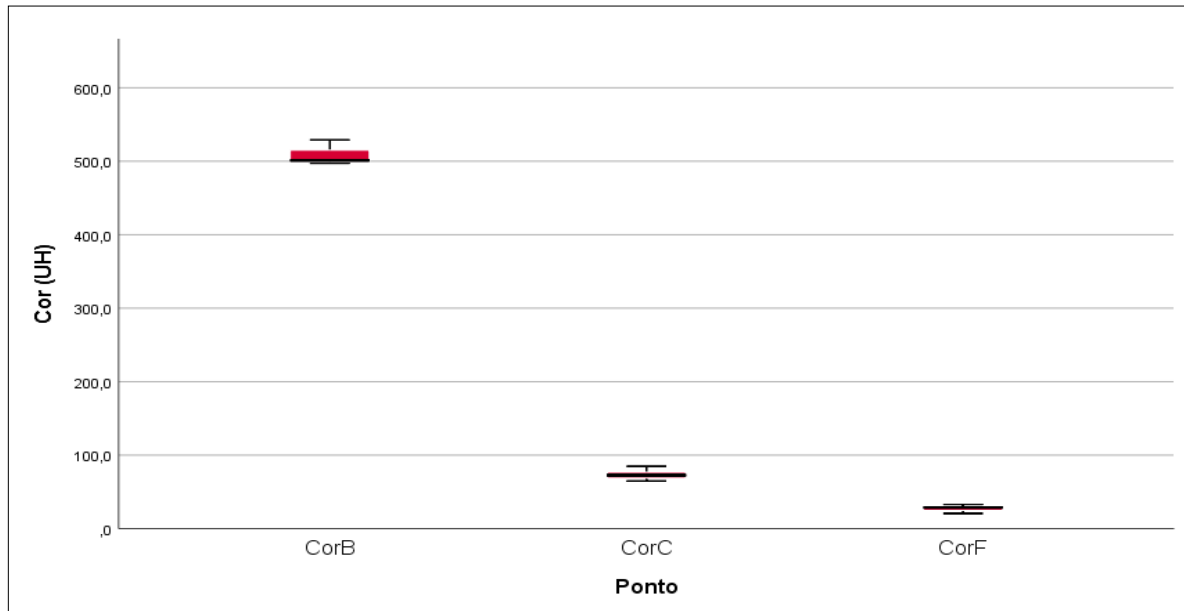
Figura 5 – Gráfico *boxplot* da variável turbidez.



Notas: TurbidezB: Turbidez amostra bruta; TurbidezC: Turbidez amostra clarificada; TurbidezF: Turbidez amostra filtrada.

Fonte: Do autor (2019).

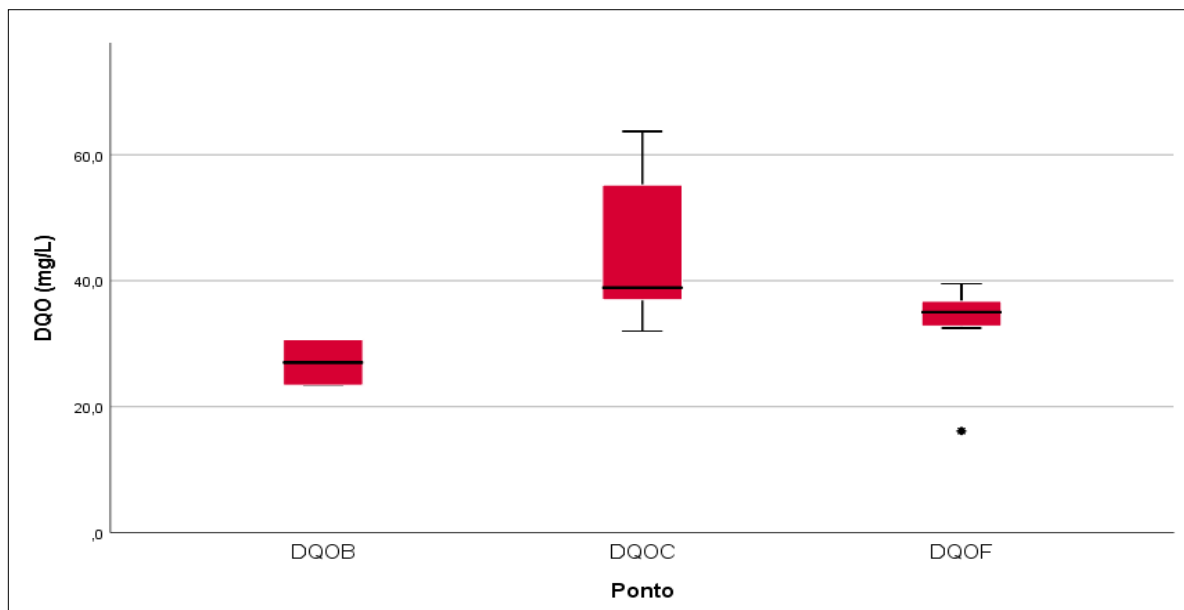
Figura 6 – Gráfico *boxplot* da variável cor.



Notas: CorB: Cor amostra bruta; CorC: Cor amostra clarificada; CorF Cor amostra filtrada.

Fonte: Do autor (2019).

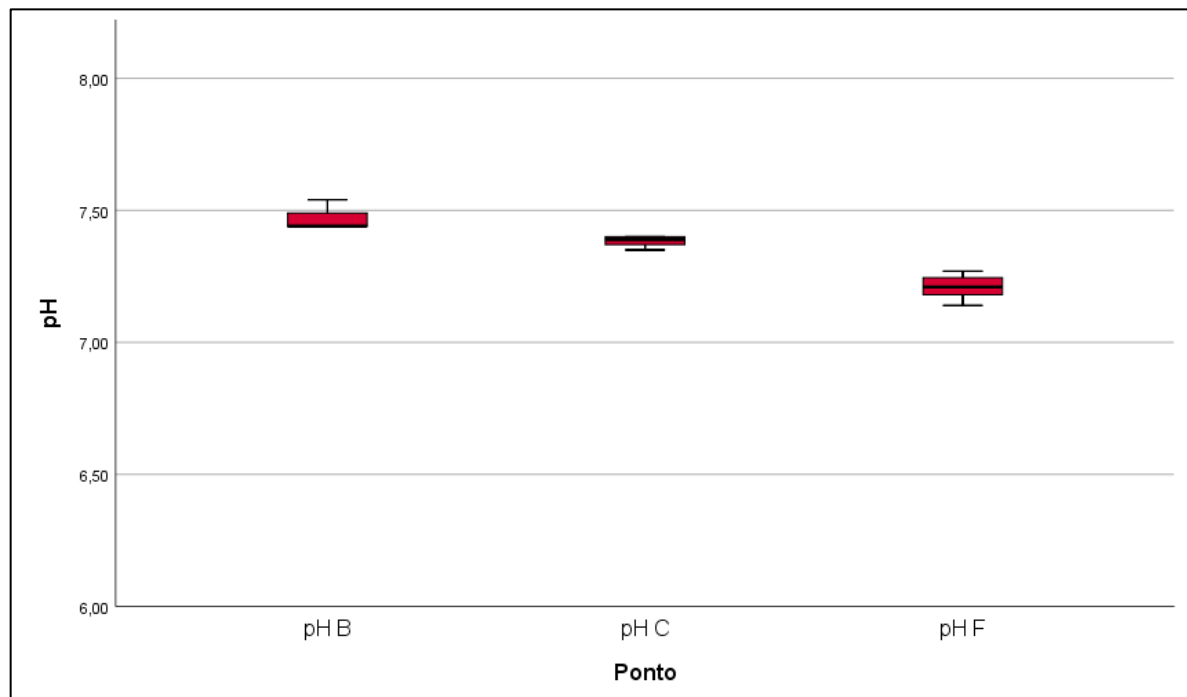
Figura 7 – Gráfico *boxplot* da variável DQO.



Notas: DQOB: DQO amostra bruta; DQOC: DQO amostra clarificada; DQOF: DQO amostra filtrada.

Fonte: Do autor (2019).

Figura 8 – Gráfico *boxplot* da variável pH.



Notas: pH B: pH amostra bruta; pH C: pH amostra coagulada; pH F: pH amostra filtrada.

Fonte: Do autor (2019).

Pode-se visualizar através das Figura 5 e 6 a remoção de turbidez e cor durante todo o tratamento da água, tendo em vista que ocorreu um decaimento significativo do valor da água bruta para a água filtrada, resultando em uma turbidez dentro do estabelecido pela Portaria 2914 de 2011 do Ministério da Saúde, como citado anteriormente.

Os valores de DQO apresentaram maiores amplitudes, com valores variando entre 28 e 38 mg L⁻¹ na água filtrada. Por se tratar da única variável sem medição direta, o procedimento de análise influencia na variação dos dados.

Pelo gráfico do pH (Figura 8) constata-se a pequena variação deste parâmetro, ou seja, a MO utilizada no tratamento não contribui para alterações do pH. Observa-se baixas amplitudes nos valores de turbidez, cor e pH em cada etapa do tratamento da água.

Arantes et al (2014) usando a MO e tanino demonstraram o comportamento dos dois coagulantes em duas diferentes condições de operação na coagulação/floculação e usou filtração direta com uso de geotêxtil sintético como meio filtrante, o resultado adquirido foi que ao longo da filtração para cada um dos ensaios, o tanino por ser um produto industrializado apresentou um comportamento mais estável em relação a MO na remoção de turbidez, porém mesmo havendo variações com a MO, houve redução do parâmetro para menos de 5 NTU.

A *Moringa Oleifera* por ser um coagulante natural pode não apresentar um comportamento homogêneo quando utilizado diferentes formas de aplicação, por exemplo, concentrações diferentes, e isso é devido ao preparo ser direto das sementes podendo apresentar variações em suas características e conseqüentemente influência na eficiência do tratamento, diferente de um coagulante inorgânico que é um produto industrializado e padronizado.

É conveniente a continuação de estudos com a semente de MO para obtenção de melhores resultados e possível padronização e isto posto, haverá constantes aplicações da mesma no tratamento completo da água.

4 CONCLUSÃO

O tratamento completo da água utilizando a MO como coagulante natural não contribuiu negativamente para alterações significativas do pH, a remoção de turbidez apresentou eficiência de 90,75% na etapa de clarificação e a filtração complementou tal remoção para 99,0%. Para a remoção da cor o filtro também foi de extrema contribuição, visto que no processo de clarificação obteve 85,5% de eficiência e na filtração 94,5%. No que se refere à matéria orgânica, retratada pela DQO, houve incremento de 164,0% após a clarificação com semente de MO, análogo a alguns trabalhos e após a filtração o decréscimo foi de 24,0% não contribuindo para a completa remoção da matéria orgânica incrementada na água.

Os valores de pH e a turbidez apresentaram resultados dentro dos padrões de potabilidade de água para consumo humano. Os valores de cor estiveram acima do preconizado pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, embora tenha apresentado alta eficiência de remoção. Tal fator pode estar relacionado às condições de operação do filtro, neste sentido, é preciso a continuação de trabalhos para possível padronização das condições dos filtros gerando melhores resultados e conseqüentemente mais aplicações da semente de *Moringa Oleífera* no tratamento completo da água.

5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES

- Realizar o tratamento completo da água, porém, com outras condições de operação na filtração, a fim de promover uma melhor eficiência na remoção da cor;
- Além da etapa de clarificação e filtração, completar o tratamento com a desinfecção e aplicar a análise de clorofórmio por meio de cromatografia para verificar a formação de Trihalometano antes e após o incremento da matéria orgânica oriunda da MO;
- Avaliar outros tipos de coagulantes naturais e suas respectivas possibilidades de incremento de matéria orgânica na água clarificada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANTES, C.C.; RIBEIRO, T.A.P.; PATERNIANI, J.E.S. Processamento de sementes de *Moringa oleifera* utilizando-se diferentes equipamentos para obtenção de solução coagulante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.6, p. 661-666, 2012.
- ARANTES, C.C., et al. Uso de coagulantes naturais à base de *Moringa Oleifera* e Tanino como auxiliares da filtração em geotêxtil sintético não tecido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.4, p.780-788, jul 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, p.18.1992.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION/ AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION/ WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 20 th ed. Washington, 1999.
- BATISTA, M.D.A. **Potencial de clarificação de água por coagulação com óleo e torta de semente de Moringa Oleífera**. 2018. 38p. Monografia (TCC Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- BONGIOVANI, M. C. et al. Improvement of the coagulation/flocculation process using a combination of *Moringa oleifera* Lam with anionic polymer in water treatment. **Environmental Technology**, v.35, n.17, p.2227-2236, 2014.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **PORTARIA Nº 2914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 03 mar. 2019.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde – 2. ed. – Brasília: Funasa, 2006. 146 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014. 112p.
- CARDOSO, K.C., et al. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio de *Moringa oleifera* Lam. **Acta. Sci. Tech**, v.30, n.2, p.193-198, Maringá, 2008.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 03 mar.2019.

EMBRAPA, Moringa oleífera. **uma planta de uso múltiplo**. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/44719/1/CPATC-DOCUMENTOS-9-MORINGA-OLEIFERA-UMA-PLANTA-DE-USO-MULTIPLO-FL-13127A.pdf>>. Acesso em: 05 mar.2019.

EMBRAPA, **Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do Semi-Árido do Brasil**. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/16002/1/documentos53.pdf>>. Acesso em: 05 mar.2019.

FRANCO, C.S., et al. Coagulação com semente de Moringa Oleifera preparada com diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.22, n.4, p. 781-788, 2017.

GIDDE, M. R.; BHALERAO, A. R.; MALUSARE, C. N. Comparative study of different forms of Moringa oleifera extracts for turbidity removal. **International Journal of Engineering Research and Development**, v.2, n.1, p.14-21, 2012.

HENRIQUES, J. A. **Potencial de uso da Moringa Oleifera Lamarck na clarificação de água para abastecimento em comunidades difusas da Mesorregião Agreste Paraibana**. 2012. 43p. Monografia (TCC Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, Campo Grande, 2012.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de água para o consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

JÚNIOR, J.C.B. **Uso da semente da moringa oleífera no tratamento de água em corpos lânticos – Estudo de caso Lago Igapó II**. 2016. 79p. Monografia (TCC Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

LIMA, N, M. **Aplicação da Moringa Oleífera no tratamento de água com turbidez**. 2015. 57p. Dissertação (Mestrado Desenvolvimento de Processos Ambientais) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2015.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3º Edição. Campinas: Editora Átomo, 2010.

LO MONACO, P.A.V., et al. Ação coagulante do extrato de sementes de Moringa Oleifera preparado em diferentes substâncias químicas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.20, n.5, 2012.

LÓPEZ, G.; et al. Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarino (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. **Tecnología en Marcha**, v.24, n.2, p.18-26, jun 2011.

MANGALE, S.M.; CHOND, S.G.; RAUT, P.D. Use of Moringa Oleifera (Drumstick) seed as Natural Absorbent and an Antimicrobial agent for Ground water treatment. **Research Journal of Recent Sciences**, Kolhapur, n.3, v.1, p.31-40, 2012. Disponível em:

<http://www.isca.in/rjrs/archive/v1/i3/5.ISCA-RJRS-2012-050_Done.pdf>. Acesso em: 05 abr.2019.

MOLINA, N.F.; RODRIGUEZ, E.J.M.; ARIZA, C.P. Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto de $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. **Producción + Limpia**, Caldas, n.2, v.11, p. 41-54, dec 2016. Disponível em: <<http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1238/1029>> Acesso em: 06 abr.2019

MUNIZ, G. L., et al. Uso de semente de Moringa oleífera na remoção da turbidez de água para abastecimento. **Revista Ambiente e Água**, v.10, n.2, p.455-463, 2015.

NARASIAH, K.S.; VOGEL A.; KRAMADHATI, N.N. Coagulation of turbid waters using Moringa oleifera seeds from two distinct sources. **Water Science Technology**, v.2, n.5-6, p.83-88, 2002.

PARRA, Y., et al. Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de opuntia wentiana (Britton e Rose)/(Cactaceae). **Ciencias Exactas, Naturales y Agropecuarias**, v.1, n.1, 2011.

PATERNIANI, J.E.S.; MANTOVANI, M.C.; SANT'ANNA, M.R. Uso de semente de Moringa oleífera para o tratamento de águas superficiais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p. 765-771, 2009.

POMINI, A.M., et al. Coagulation/Flocculation with Moringa oleifera and Membrane Filtration for Dairy Wastewater Treatment. **Water Air Soil Pollut**, p.228-342, 2017.

RIBEIRO, A. T. A. **Aplicação da Moringa Oleífera no tratamento de água para consumo humano: Remoção de poluentes por coagulação e floculação**. 2010.98 p. Dissertação (Mestrado Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2010.

RICHTER, C. A. **Métodos e tecnologia de tratamento de água**. 1º Edição. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

RITTER, C. M. **Estudo da utilização de polímeros naturais Abelmoschus esculentus (L) Moench (Malvaceae) e Moringa oleífera Lam (Moringaceae) no tratamento de água de abastecimento**. 2013. 53p. Monografia (TCC Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

REIS, L. O. **Incremento de matéria orgânica e alterações físicas e químicas em água clarificada com Moringa Oleífera**. 2017. 35p. Monografia (TCC Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

SANTOS, T. R. T. dos. et al. Trihalomethanes minimization in drinking water by coagulation/flocculation/sedimentation with natural coagulant Moringa oleífera Lam and activated carbono filtration. **The Canadian Journal of chemical engineering**, v.94, p.1277-1284, 2016.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Analisis of trihalomethanes in drinking water by liquid/liquid extraction**. 1999.

VITOR, D.A. **Aplicação de filtração direta no tratamento da água de captação da UFLA no período de estiagem.** 2018. 26p. Monografia (TCC Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

VALVERDE, K. C., et al. **Avaliação do processo de tratamento de água utilizando a associação do coagulante natural *Moringa Oleifera* Lam e coagulantes químicos.** 2014. 185p. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014.

VALVERDE, K. C., et al. Combined water treatment with extract of natural *Moringa Oleifera* Lam and synthetic coagulante. **Revista Ambiente e Água**, v.13, n.3, 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto – princípios do tratamento de esgoto biológico das águas residuárias.** 3ª Edição. v.1. Belo Horizonte: Editora Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

YAO, M.; NAN, J.; CHEN, T. Effect of particle size distribution on turbidity under various water quality levels during flocculation processes. **Desalination**, v.354, p.116-124, 2014.