



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E  
AMBIENTAL**

Ruanna Matos Almeida Souza

***Moringa oleífera* COMO COAGULANTE NA CLARIFICAÇÃO  
DA ÁGUA PARA TRATAMENTO EM COMUNIDADES  
RURAIS.**

JUAZEIRO – BA

2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E  
AMBIENTAL**

Ruanna Matos Almeida Souza

***Moringa oleífera* COMO COAGULANTE NA CLARIFICAÇÃO  
DA ÁGUA PARA TRATAMENTO EM COMUNIDADES  
RURAIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. D.Sc. Miriam Cleide Cavalcante Amorim.

JUAZEIRO – BA

2017

	Souza, Ruanna Matos Almeida.
S729m	Moringa oleífera como coagulante na clarificação da água para tratamento em comunidades rurais/ Ruanna Matos Almeida Souza--Juazeiro, 2017 xii, 48 f.: il.; 29 cm .
	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus, Juazeiro, 2017.
	Orientadora: Profa. Dra Miriam Cleide Cavalcante de Amorim.
	1. Água – purificação. 2. Controle de qualidade da água. I. Título. II. Amorim, Miriam C. Cavalcante de. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.
	CDD 628.162

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF Bibliotecário:  
Marcio Pataro

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E  
AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO  
PARA TCC

Ruanna Matos Almeida Souza

*Moringa oleífera* COMO COAGULANTE NA CLARIFICAÇÃO  
DA ÁGUA PARA TRATAMENTO EM COMUNIDADES  
RURAIS.

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia agrícola e ambiental, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.



Miriam Cleide Cavalcante Amorim, D.Sc. - UNIVASF  
Orientador



Vanessa Polon Donzeli, D.Sc. - UNIVASF  
Avaliador



Paula Tereza de Souza e Silva, Ph.D. - EMBRAPA  
Avaliador

Aprovado pelo Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela existência e infinita bondade.

Aos meus amados pais, Glaucia e Valtônio, por todo amor, incentivo, cuidado e exemplo de vida.

A minha avó materna “Dona Titinha”, por ser meu ponto de amor e paz.

Ao meu namorado, Eloilton, pelo apoio, união e amor.

A minha família, em especial minha tias maternas Ana, Sandra, Carmineide, Nazaré e Deolinda, por todo carinho e atenção.

Ao meu irmão, pela parceria de sempre.

Aos meus sobrinhos, Anthony e Davi, por me fazer sentir um amor tão belo.

A minha avó Creuza e avô Antônio (ambos *in Memoriam*), por estarem sempre comigo.

A minha sogra Cristina, pela amizade e cuidado.

As minha amigas Fernanda, Rosalenin, Nayara, Patrícia, por serem amigas, anjos na minha vida.

A Janaína de Moraes Peres, por acreditar em mim.

Aos mestres, pela dedicação e ensino.

A minha orientadora, Miriam, pela atenção e dedicação.

A Micaela e Damiana, por toda ajuda concedida.

A UNIVASF, em especial ao grupo PET.

A professora Andreia, pelo apoio e análises realizadas no laboratório de Pós-Graduação em ciência dos Materiais.

A Marcela (COMPESA), por fornecer o Jar Test para as pesquisas.

Aos amigos, por deixarem o caminho mais leve.

Enfim, a todos que contribuíram para a conclusão da minha graduação.

“Não te mandei eu? Esforça-te, e tem bom ânimo; não temas, nem te espantes; porque o Senhor teu Deus é contigo, por onde quer que andares.”

Josué 1:9.

SOUZA, Ruanna Matos Almeida. *Moringa oleífera* como coagulante na clarificação da água para tratamento em comunidades rurais. 2017. 48f. Monografia, Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Juazeiro-BA.

## RESUMO

A disponibilidade de água potável para consumo humano está cada vez menor, e tal situação ainda é mais crítica no meio rural. Dessa forma, o uso de tecnologias de tratamento torna-se indispensáveis na garantia do direito à universalização do acesso a água de qualidade. Com isso, o uso da *Moringa oleífera* como coagulante natural no processo de clarificação vem sendo bastante estudado como uma solução alternativa de baixo custo e eficiente. Assim, o presente trabalho tem por objetivo remover cor aparente e turbidez utilizando a Moringa como tratamento alternativo de água para as comunidades rurais. Os ensaios foram realizados com agitação manual e em Jar Test, variando a dosagem e o tempo de sedimentação. Além desses, foi realizado também análise morfológica e química da semente pela técnica de microscopia eletrônica de varredura. Observou-se que o processo de clarificação empregando a Moringa foi bastante promissor, porém tona-se necessário realizar a filtração e desinfecção para adequar a qualidade da água conforme os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS Nº 2.914/2011.

**Palavras chaves:** Clarificação. Coagulante natural. Potabilidade. Tratamento. Água.

SOUZA, Ruanna Matos Almeida. *Moringa oleifera* as a coagulant in the clarification of water for treatment in rural communities. 2017. 48f. Monograph, Federal University of the São Francisco Valley - UNIVASF, Juazeiro-BA.

## ABSTRACT

The availability of drinking water for human consumption is declining, and this situation is even more critical in rural areas. In this way, the use of treatment technologies becomes indispensable in guaranteeing the right to universal access to quality water. With this, the use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in the clarification process has been widely studied as a low cost and efficient alternative solution. Thus, the present work aims to remove apparent color and turbidity using *Moringa* as an alternative water treatment for rural communities. The tests were performed with manual agitation and in Jar Test, varying the dosage and the sedimentation time. Besides these, morphological and chemical analysis of the seed by the scanning electron microscopy technique was also carried out. It was observed that the clarification process employed by *Moringa* was very promising, but it is necessary to carry out the filtration and disinfection to adapt the water quality according to the standards of potability established by Administrative Rule No. 2.914 / 2011.

**Keywords:** Clarification. Natural coagulant. Potability. Treatment. Water.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Processo de tratamento de água convencional.....	16
<b>Figura 2:</b> Esquematização dos processos de coagulação/floculação com o uso de um coagulante sintético.....	17
<b>Figura 3:</b> Equipamento Jar Test constituído por 3 jarros.....	18
<b>Figura 4:</b> Localização e acesso ao local de coleta da água.....	25
<b>Figura 5:</b> Sementes da Moringa Oleífera.....	26
<b>Figura 6:</b> Equipamento de Microscopia Eletrônica de Varredura.....	28
<b>Figura 7:</b> Etapas do procedimento experimental.....	29
<b>Figura 8:</b> Visualização, em escala nanométrica com aproximação de 1 000X e 2500 X da estrutura do pó da <i>Moringa oleífera</i> respectivamente.....	40
<b>Figura 9:</b> Visualização, em escala nanométrica com aproximação de 1 000X e 2500 X da da estrutura da semente de Moringa oleífera seccionada transversalmente.....	41
<b>Figura 10:</b> Análise da composição química da semente de Moringa Oleífera através do sistema acoplado EDS.....	42

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Valores Máximos Permitidos para os parâmetros de cor aparente, turbidez e pH para controle da qualidade de água.....	15
<b>Tabela 2:</b> Condições experimentais desenvolvidas para o processo de clarificação de água utilizando a <i>Moringa oleífera</i> .....	22
<b>Tabela 3:</b> Condições aplicadas ao processo de clarificação no Ensaio 1.....	27
<b>Tabela 4:</b> Análise estatística dos dados da remoção de cor aparente utilizando forma manual para a mistura do coagulante no processo clarificação.....	30
<b>Tabela 5:</b> Análise estatística dos dados da remoção de cor aparente utilizando o aparelho Jar Test no processo de clarificação.....	31
<b>Tabela 6:</b> Análise estatística dos dados da remoção de turbidez utilizando forma manual para a mistura do coagulante no processo de clarificação.....	32
<b>Tabela 7:</b> Análise estatística dos dados da remoção de turbidez utilizando o aparelho Jar Test no processo de clarificação.....	33
<b>Tabela 8:</b> Valores obtidos para o parâmetro pH após o Ensaio 1.....	35
<b>Tabela 9:</b> Redução de cor aparente e turbidez no processo de clarificação com dosagem de 100 mg L <sup>-1</sup> de <i>Moringa Oleífera</i> e tempo de sedimentação de 60 minutos em Jar Test.....	37
<b>Tabela 10:</b> Redução de cor aparente e turbidez no processo de clarificação com dosagem de 50 mg L <sup>-1</sup> de <i>Moringa Oleífera</i> e tempo de sedimentação de 60 minutos.....	56
<b>Tabela 11:</b> Valores de pH após o Ensaio 2.....	39

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.2. OBJETIVO GERAL .....	14
2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
3.1. QUALIDADE DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO .....	14
3.2. CONSUMO HUMANO NO MEIO RURAL.....	14
3.3. TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO.....	15
<b>3.3.1. Teste de tratabilidade</b> .....	<b>18</b>
3.4. TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NO MEIO RURAL.....	19
<b>3.4.1. Coagulante natural: <i>Moringa oleífera</i></b> .....	<b>19</b>
<b>3.4.2. Estudos sobre a eficiência do uso da <i>Moringa oleífera</i></b> .....	<b>21</b>
3.5. CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DA SEMENTE .....	24
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>25</b>
4.1. COLETA E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA.....	25
4.2. PREPARO DA SOLUÇÃO PADRÃO DO COAGULANTE NATURAL, <i>MORINGA OLEÍFERA</i> .....	26
4.3. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	27
<b>4.3.1. Ensaio 1: clarificação da água</b> .....	<b>27</b>
<b>4.4.2. Ensaio 2: clarificação da água seguida de filtração</b> .....	<b>27</b>
<b>4.4.3. Caracterização do pó da semente</b> .....	<b>28</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>30</b>
5.1. ENSAIO I: CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA .....	30
<b>5.1.1 Resultados para remoção de cor aparente</b> .....	<b>30</b>
<b>5.1.2. Resultados para remoção de turbidez</b> .....	<b>33</b>
<b>5.1.3. Potencial Hidrogeniônico</b> .....	<b>35</b>
5.2. ENSAIO 2: CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA SEGUIDA DE FILTRAÇÃO LENTA.....	36
<b>5.2.1. Resultados do procedimento em Jar Test</b> .....	<b>36</b>
<b>5.2.2. Resultados do procedimento manual</b> .....	<b>36</b>
<b>5.2.3. Potencial Hidrogeniônico</b> .....	<b>39</b>
5.3. CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DA SEMENTE.....	40
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>43</b>
<b>7. SUGESTÕES</b> .....	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>45</b>

## INTRODUÇÃO

A água é fundamental a vida, sendo indispensável ao organismo vivo. Porém, ainda existem comunidades rurais onde o abastecimento de água é proveniente de pequenos açudes sem devido tratamento, contendo assim grande quantidade de materiais sólidos em suspensão e patógenos aderidos a tais superfícies (HENRIQUES et al. ,2014).

Em alguns países em, a água dos rios utilizada para consumo pode, em geral, ter elevada turbidez, contendo material sólido em suspensão, bactérias e outros microrganismos, sendo necessário então, adequá-las aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS Nº 2.914/2011 (PATERNIANI et al., 2010).

Com isso, torna-se necessário submetê-la a diversos processos de tratamento. Dessa forma, tem-se a clarificação como etapa inicial formada pelos processos de coagulação, floculação e sedimentação, cujo objetivo principal consiste na remoção de partículas sólidas presentes na água.

A coagulação compreende a fase de desestabilização das partículas sólidas com carga negativa através da introdução de um coagulante iônico. Posteriormente, na floculação, são fornecidas condições para facilitar o contato e a agregação destas a fim de promover a sedimentação por ação da gravidade (DI BERNARDO, 2005).

Ressalta-se ainda importância dos testes de tratabilidade em estações de tratamento, realizados em aparelho Jar Test, a fim obter dosagens ótimas de coagulantes e melhores condições de mistura para obtenção de maior eficiência no tratamento de água.

Os coagulantes podem ter origem sintética ou natural. Geralmente, o coagulante sintético mais utilizado em estações de tratamento de água é sulfato de alumínio. Porém, existem localidades que não possuem acesso á água tratada, havendo a necessidade de sistemas alternativos de tratamento como o uso de coagulantes naturais.

Assim, têm-se as sementes da *Moringa oleífera* como solução alternativa para remoção da cor aparente e turbidez de águas, para fins potáveis, principalmente em comunidades rurais onde não ocorre o tratamento da água (ARANTES et al., 2012).

## **1. OBJETIVOS**

### **1.2 Objetivo geral**

Assim, o presente trabalho tem por objetivo remover cor aparente e turbidez utilizando a *Moringa* como tratamento alternativo de água para as comunidades rurais.

### **1.3 Objetivos específicos**

- Avaliar a remoção da cor aparente e turbidez utilizando diferentes dosagens da semente de *Moringa oleífera* e tempos de sedimentação.
- Comparar o processo de clarificação manual e em Jar Test para fins de eficiência do uso a nível domiciliar.
- Verificar o atendimento aos padrões da Portaria MS Nº 2914/2011 quanto aos parâmetros de cor aparente, turbidez após a filtração.
- Analisar morfologicamente a semente de *Moringa* triturada através de microscopia eletrônica de varredura com a finalidade de conhecer suas estrutura e composição.

## **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.1. QUALIDADE DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO**

A qualidade da água consiste em um conjunto de características físicas, químicas e biológicas estabelecidas em relação aos seus diversos usos estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005. Quando este é o consumo humano, a mesma deve possuir condições adequadas, segundo a legislação vigente, de forma que não ofereça riscos à saúde pública.

Sendo assim, água para consumo humano é aquela que atende aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS Nº 2914/2011, cuja destinação consiste em ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem (BRASIL, 2011).

Vale salientar que os padrões de potabilidade de água para consumo humano são aplicáveis após a última etapa do tratamento, ou seja, a desinfecção. Entretanto, existem também valores máximos permitidos de alguns parâmetros a fim de avaliar a eficiência da remoção de partículas sólidas após da filtração.

### 3.2. CONSUMO HUMANO NO MEIO RURAL

Segundo a Lei 11.445/2007 (BRASIL, 2007), o abastecimento de água consiste no conjunto de atividades e instalações necessárias ao fornecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição.

Segundo a referida legislação, entre os objetivos citados tem-se a garantia de meios adequados para o atendimento da população rural dispersa, inclusive mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas e sociais peculiares (BRASIL, 2007).

Contudo, no Brasil ainda existe um grande entrave quanto ao serviço público de abastecimento no meio rural, visto que, atualmente, têm-se que 72,2% da população rural ainda acessa água apenas por meio de poços, cacimbas, açudes e barreiros, sendo esse muitas vezes precário e com grande potencial para provocar doenças (IBGE, Censo Demográfico 2010).

Para Arantes et al. (2014), a falta de recursos financeiros pode ser uma das causas dos problemas de fornecimento de água potável na zona rural. Outro fator a ser considerado deve ser a dispersão e baixa densidade populacional, que dificulta a implantação de redes de abastecimento.

### 3.3. TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

O tratamento de água para abastecimento público consiste em um conjunto de técnicas, tecnologias e processos realizados em estações de tratamento de água convencionais visando atender ao padrão de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS Nº 2.914/2011 (BRASIL, 2011).

Existe uma gama de parâmetros especificados na legislação supracitada, sendo estes classificados em físicos, químicos, microbiológicos, organolépticos, de cianobactérias/cianotoxinas e radioatividade. Porém, para fins de avaliação da eficiência da remoção de partículas sólidas no processo clarificação, convém utilizar apenas cor aparente, turbidez e pH.

Deve-se ressaltar que a Portaria não apresenta valores máximos permitidos para os parâmetros de cor aparente e turbidez para água sedimentada, apenas para aquela que passou por filtração e/ou desinfecção, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Valores Máximos Permitidos para os parâmetros de cor aparente, turbidez e pH para controle da qualidade de água.

<b>Valores Máximos Permitidos segundo a Portaria Nº 2.914/2011</b>			
Local	Cor aparente	Turbidez	pH
Saída do Tratamento (após filtração)	15 Uh	0,5 UNT (filtração rápida) 1,0 UNT (filtração lenta)	6 a 9
Rede de Distribuição	15 Uh	5 UNT	6 a 9

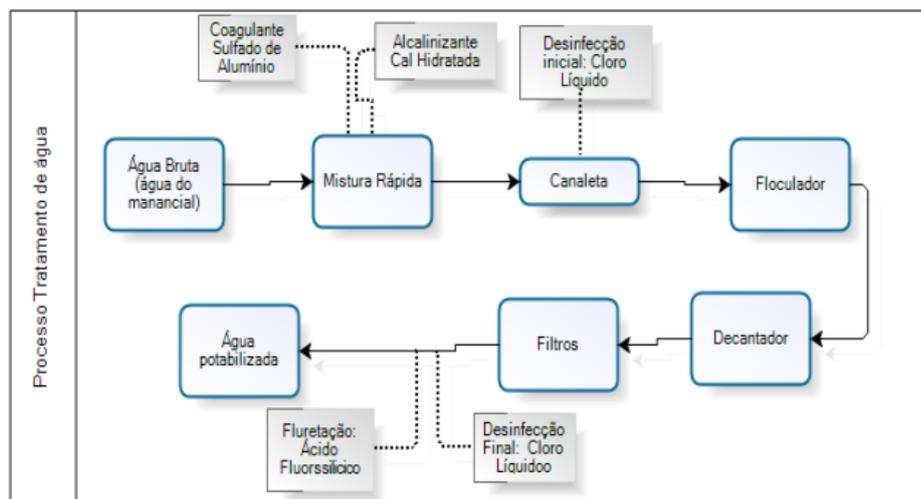
Fonte: Adaptada da Portaria MS Nº 2.914.

Segundo Pastana et al. (2015), os principais objetivos nas estações de tratamento de água são a otimização dos processos de remoção de material particulado e da cor aparente, bem como a produção de uma água segura do ponto de vista microbiológico e químico.

Existem também os tratamentos simplificados ou compactos, cuja definição consiste em instalações de serviço público de pequena capacidade para localidades com até 5000 habitantes, de simples operação e manutenção, baixo custo e tratamento eficiente (CETESB, 1987).

Assim, para que a água esteja em conformidade com padrões de potabilidade, o processo de tratamento em estações convencionais engloba as seguintes etapas: clarificação, filtração e desinfecção (Figura 1).

Figura 1 - Processo de tratamento de água convencional.



Fonte: Oliveira (2014) apud Lima (2015).

Clarificação da água trata-se do processo de separação das fases líquida e sólida da mesma, sendo propiciado pelo conjunto de técnicas sequenciadas em coagulação, floculação e sedimentação (DI BERNARDO, 2005).

A coagulação corresponde ao processo responsável por desestabilizar partículas coloidais com cargas negativas, em um sistema aquoso, através da introdução de um coagulante catiônico para promover a agregação das mesmas por diferença de cargas (DI BERNARDO, 2005).

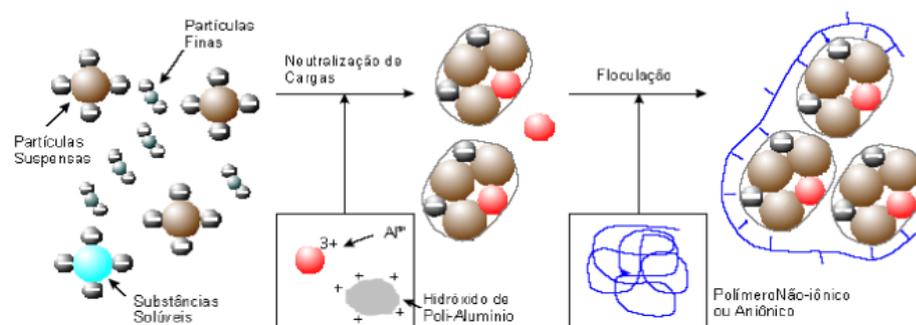
Carvalho (2008) afirma que esta etapa de coagulação deve ser eficiente, visto que caso a mesma não tenha êxito todas as demais estarão prejudicadas, a

ponto de, em certas situações, obrigar o descarte de toda a água da ETA, por estar fora dos padrões de potabilidade.

De acordo com Di Bernardo (2005), a floculação equivale a etapa subsequente à coagulação onde são fornecidas condições para facilitar o contato e a agregação das partículas previamente desestabilizadas provenientes da fase anterior (Figura 2).

Os principais fatores da eficiência da floculação são o gradiente de velocidade e o tempo de detenção, onde estes aliados aos intervenientes no processo de coagulação constituem-se dos parâmetros que governam a densidade e o tamanho dos flocos formados (SILVA, 2011).

Figura 2 - Esquemática dos processos de coagulação/floculação com o uso de um coagulante sintético.



Fonte: Universidade do Porto, 2013

A sedimentação consiste na separação das fases sólida e líquida da água, onde a ação da gravidade propicia o movimento descendente de partículas de menor massa específica que se encontram em suspensão (DI BERNARDO, 2005).

As partículas que não são removidas na sedimentação, seja por seu pequeno tamanho ou por serem de densidade muito próxima a da água, deverão ser removidas na filtração utilizando um meio poroso (filtro) que retém a fase particulada e é permeável ao meio líquido.

Para eficiência dos processos de tratamento de água o controle do pH é indispensável, principalmente com o uso de coagulantes sintéticos como o sulfato de alumínio. Segundo o Boletim de Repartição de Água e Esgoto, em águas pouco alcalinas, coloridas e com baixa turbidez, a floculação se processa em pH baixo, entre 5 e 6,5. Já para águas com alta alcalinidade e turvas o pH pode atingir até 7,4.

### 3.3.1. Testes de tratabilidade

Ensaio de tratabilidade consistem em estudos de laboratório obtidos, geralmente, utilizando reatores estáticos constituídos de jarros (Jar Test), como mostra a Figura 3. Tais práticas objetivam a obtenção de parâmetros de projeto e dosagens otimizadas (DI BERNARDO, 2005).

Figura 3: Jar Test constituído por três jarros.



Fonte: AUTORA.

Talvez o erro mais comum em Estações de Tratamento de Água (ETAs) seja o de basear os estudos nos resultados de uma análise de água. A qualidade da água varia com o tempo, exigindo para o seu controle a realização de análises em várias épocas do ano, diminuindo assim os erros associados (CETESB, 1987).

As condições de misturas e dosagens ótimas de coagulantes em ETAs são obtidas através dos ensaios de tratabilidade. Existem duas condições de mistura, rápida e lenta, sendo estas estabelecidas pelo gradiente de velocidade e o tempo de agitação (DI BERNARDO, 2005).

A mistura rápida tem, portanto, a finalidade de promover a dispersão do coagulante à água. Essa dispersão deve ser homogênea e o mais rápida possível. A eficiência da coagulação está relacionada com a formação dos primeiros complexos de cátions metálicos hidrolisados, sendo esta reação muito rápida, fato este que implica o uso de alta velocidade de mistura (RICHTER E NETO, 2002).

O agente físico responsável pelo processo de floculação é a agitação lenta (RICHTER E NETO, 2002). A mesma, por sua vez, irá propiciar o crescimento dos flocos a partir de uma velocidade de mistura lenta durante um período de tempo maior (PIANTÁ, 2008).

Os ensaios realizados para otimização da mistura rápida e lenta visam à obtenção da combinação do tempo de agitação e gradiente de velocidade, de forma que se tenha maior remoção de cor aparente e turbidez (DI BERNARDO, 2002).

### 3.4. TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NO MEIO RURAL

Os coagulantes são produtos químicos, de origem natural ou sintética, utilizado nos processos de clarificação. Dentre aqueles de origem sintética mais amplamente utilizado tem-se o sulfato Alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ). No entanto, o mesmo vem sendo bastante discutido frente aos danos que podem provocar no organismo humano, relata Ferreira et al. (2008).

Atualmente, diversos estudos (FRANCO et al., 2013; DÍAZ et al., 2014; HENRIQUES et al., 2014; PATERNIANI et al., 2010; dentre outros) vêm sendo realizados com o uso de coagulantes naturais para tratamento de água como solução alternativa para processos de clarificação em áreas que não possuem acesso ao tratamento de água convencional.

#### 3.4.1. Coagulante Natural: *Moringa oleífera*

A *Moringa oleífera* é uma planta originária do norte da Índia e se caracteriza por sua alta adaptabilidade em regiões tropicais e semiáridas, como também a diversos tipos de solos. Além disso, a mesma possui inúmeros benefícios para

saúde humana, dentre eles tem-se o uso da semente como coagulante natural no processo de clarificação de água.

A *Moringa oleífera* contém quantidades significativas de proteínas solúveis com carga positiva (MUNIZ, 2015), e por esta razão tem sido bastante utilizada como coagulante natural. De acordo com Gallão et al. (2006), cerca de 40% da quantidade de proteína é encontrada nas sementes.

Assim, quando a semente é adicionada à água turva, as proteínas liberam cargas positivas atraindo as partículas carregadas negativamente, como barro, argila, bactérias, e outras partículas tóxicas presentes na água (MUNIZ, 2015).

Vale ressaltar ainda que a eficiência desse coagulante na remoção da turbidez depende do valor inicial da turvação das amostras de água (KATAYON et al., 2006), onde aquela que apresenta maiores níveis possuem melhores resultados de remoção.

Katayon et al. (2007) relataram que o uso da semente apresenta diversas vantagens quando comparados aos coagulantes sintéticos, visto que os volumes de lodo gerados são menores, além de apresentar baixo custo, biodegradabilidade e apresentar baixo risco ao meio ambiente.

As principais formas de aplicação consiste de solução padrão aquosa  $10 \text{ g L}^{-1}$  como utilizada por Henriques et al. (2014), Cardoso et al.(2008), Muniz et al.(2015). Tem-se também a utilização de dosagens retiradas soluções-padrão salina de *Moringa oleífera*, como foi estudada por Díaz et al. (2014), Pereira et al. (2015), dentre outros.

Além destes, Okuda (1999) isolou e purificou o componente ativo da semente a partir do extrato bruto através de uma seqüência de etapas que incluiu salgar por diálise, remoção de lipídios e carboidratos por homogeneização com acetona e troca de aniões. O mesmo percebeu que a coagulação foi mais eficiente quando comparada ao uso da solução-padrão salina extratora.

Segundo Moreti et al. (2012), a semente apresenta limitações quanto ao seu uso em solução, pois seu potencial decresce com o tempo de armazenamento tanto em temperatura ambiente( $28^{\circ}\text{C}$ ) quanto em refrigeração ( $3^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.4.2. Estudos sobre a eficiência do uso da *Moringa oleífera*

Vários estudos estão sendo desenvolvidos adotando a semente de *Moringa oleífera* como coagulante natural, avaliando principalmente a sua eficiência na remoção de cor e turbidez.

Henriques et al. (2014), em seu estudo sobre o potencial de uso da *Moringa oleífera* na clarificação de água para abastecimento em comunidades difusas de áreas semiáridas, utilizou o aparelho Jar Test e dois filtros cerâmicos a fim de simular o uso doméstico. O mesmo utilizou os seguintes parâmetros: turbidez, cor aparente, condutividade elétrica, pH e DQO. O autor obteve resultados satisfatórios após a filtração, porém destacou a dificuldade em atender a Portaria para tratamentos alternativos em comunidades rurais.

Díaz et al. (2015), apresentou resultados de remoção de turbidez superiores a 90% utilizando dosagens baixas do coagulante natural para turbidez iniciais maiores a 90,0 UNT. No entanto, para turbidez iniciais menores que 66,0 UNT, notou-se menores eficiências (entre 70 % e 85 %). Concluiu ainda que não existiram alterações significativas no PH e a alcalinidade depois dos ensaios

Paterniani et al. (2010), aplicou a *Moringa oleífera* em águas superficiais, além disso realizou um tratamento da água com Filtração Lenta Direta. Ele observou reduções médias da turbidez e da cor aparente, de 90 e 96% nos processos de sedimentação simples e filtração lenta, respectivamente.

Já Muniz et al.(2015), realizou experimentos da semente com/sem casca e verificou que o extrato das sementes com casca foi mais eficiente na remoção da turbidez, havendo remoção de mais de 99% da turbidez inicial das amostras de água. O mesmo também notou que, as sementes foram mais eficiente na remoção da turbidez de águas com nível de turbidez iniciais maiores.

Silva et al. (2015), utilizando a condições descritas na Tabela 1, constatou os melhores resultados de remoção de cor e turbidez para concentrações de 300 mgL<sup>-1</sup>

com sedimentação no período de 45 minutos e  $70 \text{ mgL}^{-1}$  para o sulfato de alumínio com tempo de sedimentação de 30 minutos.

Vale ressaltar ainda a carência na área científica de estudos voltados para tratamento de água em comunidades rurais a nível domiciliar, sendo estes de suma importância na garantia do direito constitucional da universalização do acesso à qualidade desse recurso fundamental a existência humana.

De fato, todos os trabalhos científicos voltados ao tema realizaram os testes com uso de aparelhos, seja Jar Test ou agitador magnético. Sendo assim a proposta deste trabalho é testar o processo de forma manual para fins de comparação e orientação às comunidades a nível domiciliar.

A Tabela 2 abaixo sumariza diversos estudos desenvolvidos utilizando a *Moringa oleífera* como coagulante natural no processo de clarificação da água, expondo as condições de mistura e o tempo de sedimentação.

Tabela 2 - Condições experimentais desenvolvidas para o processo de clarificação de água utilizando a *Moringa oleifera*.

Unidades operacionais							
Autor (es)	Aparelho	Coagulação		Floculação		Filtração	Temp. Sed.(min)
Ndabigengesere et al. (1994)	Jar Test	2 min	100 rpm	20 min	40 rpm	-	30
Okuda et al. (1999)	Jar Test	2 min	150 rpm	30 min	30 rpm	-	60
Cardoso et al. (2008)	Jar Test	2,3 e 4 min	95 rpm	15 e 16 min	10 rpm	-	30, 60, 90 e 120
Paterniani et al. (2010)	Jar Test	1 min	400 s <sup>-1</sup>	-	Floculador	Filtro lento	Tanque
Díaz et al.(2014)	Jar Test	1 min	200 rpm	20 min	40 rpm	Não filtrou	30
Henrique et al. (2014)	Jar Test	45 seg.	300 rpm	10 min	60 e 40 rpm	Após a sed. E da água bruta s/ tratamento	30
Muniz et al. (2015)	Utilizou bastão e um agitador magnético a 1300 rpm por 30 minutos.						120
Souza et al. (2016)	Utilizou bastão e um agitador magnético com 3 minutos de mistura rápida e 15 para lenta.						6 e 24 h

Fonte: AUTORA.

### 3.5 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DA SEMENTE

A técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) consiste em aplicar um feixe de elétrons no lugar de fótons utilizados em um microscópio óptico convencional, o que permite solucionar o problema de resolução relacionado com a fonte de luz branca (DEDAVID et al., 2007).

A aplicação do MEV para a caracterização morfológica das sementes de *Moringa oleífera* constituiu-se de uma ferramenta de grande valia na interpretação e abordagens no que tange à elucidação dos resultados associados às propriedades adsorptivas desse biomaterial.

Ao MEV pode ser acoplado o sistema de EDS (Energy Dispersive System), o qual possibilita a determinação da composição qualitativa e semi-quantitativa das amostras, a partir da emissão de raios X característicos (DUARTE et al., 2003).

O EDS (energy dispersive x-ray detector, EDX ou EDS) é um sistema essencial no estudo de caracterização microscópica de materiais. Existe um detector instalado na câmara de vácuo do MEV responsável por medir a energia associada a mudança dos níveis de energia quando o feixe de elétrons incide sobre um mineral, como também aquela que é emitida quando há a liberação desta em comprimento de onda no espectro de raios-x.

Dessa forma como os elétrons de um determinado átomo possuem energias distintas, é possível, no ponto de incidência do feixe, determinar quais os elementos químicos estão presentes naquele local e assim identificar em instantes que mineral está sendo observado. Além da identificação mineral, o equipamento ainda permite o mapeamento da distribuição de elementos químicos por minerais, gerando mapas composicionais de elementos desejados.

Dessa forma, o uso dessa técnica permite obter uma caracterização morfológica e química da semente da *Moringa oleífera* e com isso interpretar com maior segurança os resultados associados às propriedades adsorptivas desse biomaterial.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

Para os testes experimentais foram realizadas três coletas diretamente do Rio São Francisco. O ponto de coleta foi próximo à estrutura de captação de água do Sistema de Abastecimento de Água e esgoto (SAAE), Juazeiro, Bahia, conforme Figura 4.

Figura 4 - Localização e acesso ao local de coleta da água.



Fonte: Google Maps (2017).

Após cada coleta, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Vale do São Francisco, campus Juazeiro-BA, onde houve a caracterização destas analisando-se os parâmetros de cor aparente, turbidez e pH. A cor foi determinada em colorímetro de marca Aquacolor cor, a turbidez em turbidímetro marca Homis e o pH foi determinado em um pHmetro marca Tecnopon modelo mPA 210.

Vale ressaltar que a caracterização e posterior realização dos testes aconteceram nas primeiras horas após cada coleta, não havendo assim nenhuma interferência do tempo de armazenamento das amostras nos resultados obtidos.

#### 4.2 PREPARO DA SOLUÇÃO PADRÃO DO COAGULANTE NATURAL, *MORINGA OLEÍFERA*.

Embora Okuda et al. (1999) tenha verificado resultados mais satisfatórios utilizando o extrato ativo puro da semente, foi decido utilizar uma metodologia baseada no preparo de solução aquosa visto que é mais simplificada para utilização a nível domiciliar.

Em conformidade com a metodologia utilizada por HENRIQUE et al. (2014), definiu-se a concentração de  $10 \text{ g L}^{-1}$  para a solução, sendo a mesma preparada da seguinte forma: as sementes foram previamente descascadas e trituradas utilizando um gral de porcelana com pistilo (Figura 5); posteriormente passaram por peneiras do tipo ABNT/ASTM 45, seguindo a pesagem do pó obtido em 1g utilizando uma balança analítica.

Figura 5 - Sementes da *Moringa Oleífera*.



Fonte: AUTORA.

Em seguida adicionou-se 20 mL de água destilada ao produto triturado com a finalidade de obter uma pasta esbranquiçada, a qual foi vertida para um béquer e misturada através de um agitador magnético durante 15 minutos. Posteriormente, a solução passou por um papel filtro e acrescentou-se um volume de

aproximadamente 80 mL de água destilada a fim de aferir o menisco do balão volumétrico.

### 4.3. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

#### 4.3.1. Ensaio 1: Clarificação da água

Os ensaios foram realizados de forma manual e em equipamento Jar Test, onde em ambos foram utilizadas três dosagens 100, 200 e 300 mg L<sup>-1</sup>; e quatro tempos de sedimentação 20, 40, 60 e 120 minutos (Figura 7). Após os ensaios, foram efetuadas análises (em triplicata) segundo os parâmetros de cor aparente, turbidez e pH de cada fator acima. A Tabela 3, resume as condições aplicadas ao processo de clarificação manual e Jar Test.

Tabela 3 - Condições aplicadas ao processo de clarificação no Ensaio 1.

Processos em Jar Test	Processos manuais
Mistura rápida: 200 rpm por 1 minuto	Simulação: 200 rpm por 1 minuto
Mistura lenta: 40 rpm por 20 minutos	Simulação: 40 rpm por 20 minutos
Dosagens: 100, 200 e 300 mg L <sup>-1</sup>	Dosagens: 100, 200 e 300 mg L <sup>-1</sup>
Tempos de sedimentação: 20, 40, 60 e 120 minutos	Tempos de sedimentação: 20, 40, 60 e 120 minutos

Posteriormente, foram aplicadas duas análises estatísticas, sendo uma para os dados obtidos no processo de clarificação manual e a outra com os dados advindos dos resultados em Jar Test.

Utilizou-se o software ASSISTAT versão 7.7 pt (2017), onde dados foram submetidos a um experimento fatorial 3x4, cujo fator 1 correspondeu às dosagens e o fator 2 aos tempos de sedimentação. Posteriormente foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

#### 4.3.2. Ensaio 2: Clarificação da água seguida de filtração lenta

Nesse ensaio, foi estabelecido uma dosagem de 50 mg L<sup>-1</sup> e 100 mg L<sup>-1</sup> e um tempo de sedimentação de 60 minutos tanto para a condição de mistura manual

como para os testes realizados em aparelho tecnológico específico (Jar Test) respectivamente. Os testes envolveram os processos de coagulação/floculação, sedimentação e filtração (filtro de cerâmica de barro com duas velas porosas). Posteriormente, foram realizadas análises (em triplicata) segundo os parâmetros de cor aparente, turbidez e pH para água clarificada e filtrada.

Vale ressaltar que o uso da dosagem acima visou analisar a eficiência de remoção de cor aparente e turbidez utilizando uma menor dosagem de coagulante após a filtração da água clarificada.

#### 4.3.3. Caracterização do pó da semente de *Moringa oleífera*

Nesta etapa foi verificada a estrutura morfológica semente de *Moringa oleífera* e sua composição por meio da análise de microscopia eletrônica de varredura acoplada ao sistema de EDS. Para tanto utilizou-se um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Quorum Q150R ES, e corrente de 15 mA (Figura 6), no laboratório de Pós-graduação em Ciência dos Materiais da UNIVASF.

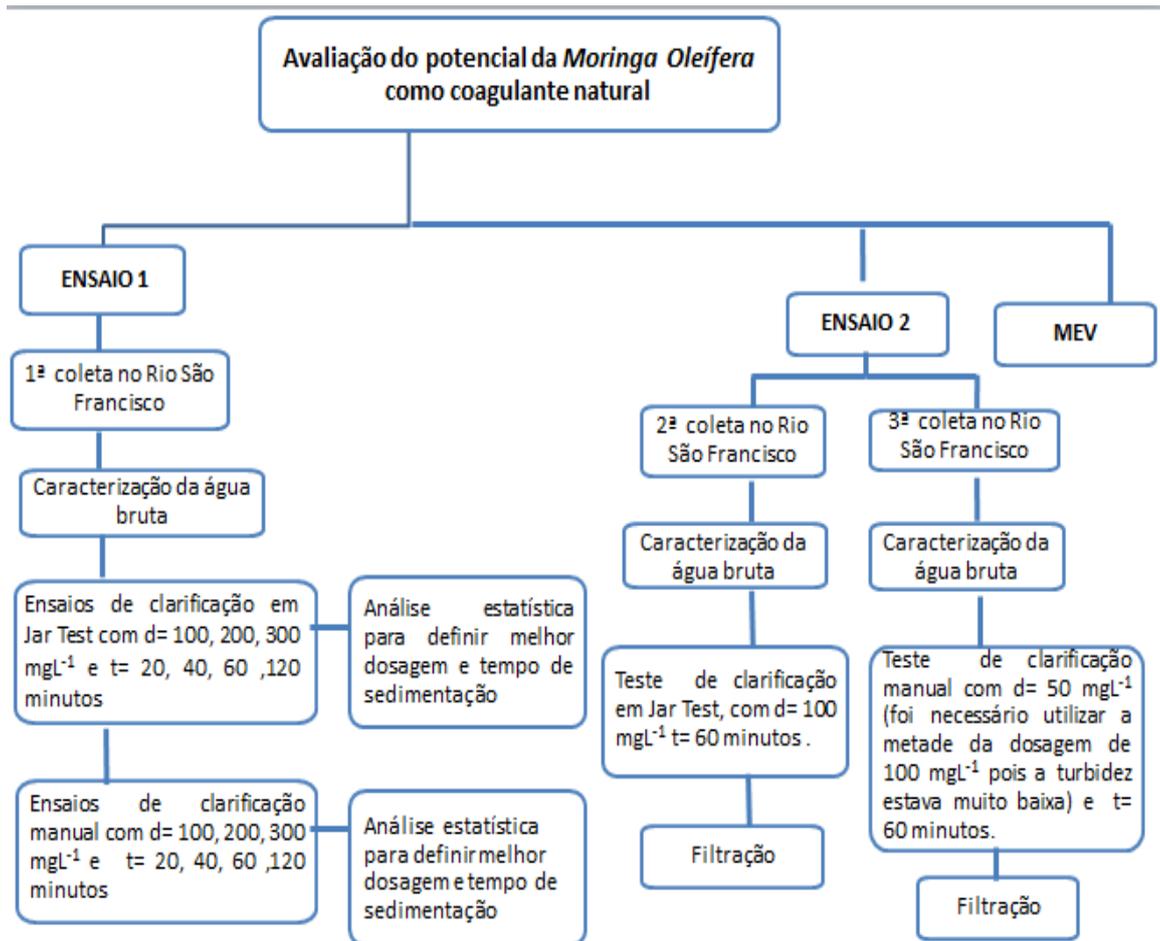
Foram utilizadas duas amostras, sendo uma da Moringa em pó e a outra em grão seccionada transversalmente. As mesmas foram cuidadosamente manipuladas com uma pinça fina e colocadas em suporte, aderidas por fita adesiva condutiva.

Figura 6 - Equipamento de Microscopia Eletrônica de Varredura.



Fonte: AUTORA.

Figura 7: Condução do experimento.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. ENSAIO 1: CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA.

#### 5.1.1. Resultados para remoção de cor aparente

A Tabela 4 abaixo mostra os resultados do experimento fatorial quanto ao processo de clarificação conduzidos manualmente, utilizando o coagulante natural *Moringa oleífera* para remoção de cor aparente.

Tabela 4 – Análise estatística dos dados da remoção de cor aparente utilizando forma manual para a mistura do coagulante no processo clarificação.

Dosagens/tempos de sedimentação	Remoção de cor aparente utilizando condições manuais			
	20 minutos	40 minutos	60 minutos	120 minutos
100 mgL <sup>-1</sup>	18.2804 bD	28.1371 aC	31.6361 cB	43.4015 aA
200 mgL <sup>-1</sup>	15.4186 cC	20.5072 cB	33.0670 bA	33.3830 cA
300 mgL <sup>-1</sup>	23.0485 aC	26.2285 bB	42.7643 aA	41.9721 bA

\* As letras maiúsculas correspondem as colunas e as minúsculas as linhas. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando os dados acima, nota-se que no período de 120 minutos não houve diferença significativa entre tratamentos. Observa-se ainda que a melhor remoção foi para dosagem 100 mg L<sup>-1</sup> para um período de 120 minutos, sendo que esta não diferiu significativamente da concentração 300 mg L<sup>-1</sup> em 60 minutos.

De fato, como o experimento foi realizado manualmente espera-se que se utilize uma maior concentração de coagulante em períodos de tempo maiores para obter resultados mais satisfatórios quando comparados aos testes realizados com maior otimização.

Nota-se ainda que a dosagem de 300 mg L<sup>-1</sup> conseguiu obter maior remoção em 20 minutos quando comparado as outras dosagens, podendo-se inferir que

houve formação de flocos de maior densidade em razão do aumento da quantidade de coagulante no meio líquido, proporcionando maior dispersão deste, mesmo na ausência de agitadores automatizados.

Cardoso et al (2008) também verificou melhores resultados para remoção de parâmetros de qualidade avaliados em períodos de decantação superiores a 60 minutos, onde de uma forma geral, quanto maior o tempo de repouso, maior a quantidade de partículas floculadas que decantarão.

A Tabela 5 apresenta os resultados do experimento fatorial quanto ao processo de clarificação conduzidos em Jar Test, utilizando o coagulante natural *Moringa oleífera* para remoção de cor aparente.

Tabela 5 - Análise estatística dos dados da remoção de cor aparente utilizando o aparelho Jar Test no processo de clarificação.

Dosagens/tempos de sedimentação	Remoção de cor aparente em aparelho Jar Test			
	20 minutos	40 minutos	60 minutos	120 minutos
100 mgL <sup>-1</sup>	9.0600 cC	32.4336 cB	49.1235 aA	49.4418 aA
200 mgL <sup>-1</sup>	16.3740 aD	36.0845 aC	39.9025 bB	49.1235 aA
300 mgL <sup>-1</sup>	14.6256 bD	34.4956 bC	39.1073 bB	48.9648 aA

\* As letras maiúsculas correspondem as colunas e as minúsculas as linhas. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com valores acima, nota-se que não houve diferença significativa para remoção de cor aparente entre os tratamentos no intervalo de 120 minutos.

Sendo assim, a dosagem de 100 mg L<sup>-1</sup> com um tempo de sedimentação de 60 minutos torna-se mais efetiva, visto que a mesma não diferiu estatisticamente dos melhores resultados obtidos no tempo de 120 minutos.

Nota-se também que mesmo utilizando condições de misturas automatizadas em parelho Jar Test, os resultados obtidos não apresentaram uma grande diferença quando comparados aos testes realizados manualmente observados anteriormente.

Dessa forma, pode-se dizer que o potencial de neutralização/desestabilização de cargas com introdução do coagulante é menor quando atua em sólidos dissolvidos sendo estes o responsável pela formação de cor na água.

Esse potencial de remoção baixo de cor aparente quando comparado a turbidez está relacionados dificuldades a problemas na floculação, pois a falta de partículas maiores (superiores a 1,2  $\mu\text{m}$ ) impedem a ocorrência de nucleação, dando origem a flocos pequenos e de baixa velocidade de sedimentação. Essa situação é muito frequente em águas que apresentam cor elevada e baixa turbidez.

Em estudos realizados por Moreti et al. (2013), onde fez-se o uso da solução de *Moringa oleífera* para tratamento de água e utilizando aparelho Jar Test constatou-se que a porcentagem de remoção de cor aparente variou entre 43 a 100 %, onde os melhores resultados foram observados com o aumento das dosagens estabelecidas e níveis elevados de turbidez.

### 5.1.2. Resultados para remoção de turbidez

Na Tabela 6 abaixo tem-se os resultados do experimento fatorial quanto ao processo de clarificação conduzidos manualmente, utilizando o coagulante natural *Moringa oleífera* para remoção de turbidez.

Tabela 6 - Análise estatística dos dados da remoção de turbidez utilizando forma manual para a mistura do coagulante no processo de clarificação.

Dosagens/tempos de sedimentação	Remoção de Turbidez utilizando condições manuais			
	20 minutos	40 minutos	60 minutos	120 minutos
100 $\text{mgL}^{-1}$	25.3802 aD	37.8713 aC	48.4157 bB	68.7572 aA
200 $\text{mgL}^{-1}$	5.3814 bC	17.7919 bB	43.9388 bA	46.9968 cA
300 $\text{mgL}^{-1}$	30.7994 aC	37.5781 aB	63.5310 aA	62.6879 bA

\*\*As letras maiúsculas correspondem as colunas e as minúsculas as linhas. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Novamente, os resultados das três doses não diferem estatisticamente entre si no período de 120 minutos. Nota-se ainda que o percentual de remoção utilizando a dosagem de 300 mg L<sup>-1</sup> apresentou-se análogo aquele observado com a dosagem de 100 mg L<sup>-1</sup> no maior tempo de sedimentação.

Assim, a dosagem de 300 mg L<sup>-1</sup> no tempo de sedimentação de 60 minutos apresentou um resultado bastante satisfatório, sendo interessante no que tange maior agilidade na produção de resultados desejados no processo para posterior consumo.

Também nota-se que existe uma diferença perceptível do percentual de remoção entre os diferentes tempos de sedimentação em cada dosagem, ou seja, como já esperado houve um aumento contínuo de remoção ao longo do tempo.

Muniz et al. (2015), percebeu que foi necessário utilizar uma dosagem maior (500 mg L<sup>-1</sup>) de *Moringa oleífera* com um tempo de sedimentação de 120 minutos quando se utiliza equipamentos menos eficiente para as condições de mistura, no caso em estudo, o agitador magnético. Tal fato assemelha-se aos processos manuais, visto que não se tem o controle das misturas, tornando o processo menos eficiente e sendo necessário uma dosagem superior quando comparados aqueles otimizados.

A Tabela 7 abaixo mostra os resultados do experimento fatorial quanto ao processo de clarificação conduzidos em aparelho Jar Test, utilizando o coagulante natural *Moringa oleífera* para remoção de turbidez.

Tabela 7 - Análise estatística dos dados da remoção de turbidez utilizando o aparelho Jar Test no processo de clarificação.

Dosagens/tempos de sedimentação	Remoção de Turbidez aparente em aparelho Jar Test			
	20 minutos	40 minutos	60 minutos	120 minutos
100 mgL <sup>-1</sup>	1.9125 bD	55.2847 bC	72.5519 aB	85.6343 aA
200 mgL <sup>-1</sup>	17.3776 aC	65.9275 aB	71.3392 abB	85.7349 aA
300 mgL <sup>-1</sup>	13.2850 aC	70.5221 aB	66.6379 bB	85.6130 aA

\* As letras maiúsculas correspondem as colunas e as minúsculas as linhas. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando os dados tem-se que as três dosagens não obtiveram diferença estatística e apresentaram os maiores percentuais de remoção de turbidez. Observa-se também que a dosagem de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  em um período

Este resultado está de acordo aqueles registrados por Ledo et al. (2009), para sementes de *Moringa oleífera* usadas como coagulante natural em águas de baixa turbidez, onde o mesmo encontrou valores de remoção em torno de 74% com o uso de uma dosagem de  $50 \text{ mg L}^{-1}$ .

Díaz et al. (2014), em seu estudo sobre a eficiência da *Moringa Oleífera* como coagulante natural na remoção de turbidez no rio Sínu, encontrou uma remoção de 70% para valores iniciais de turbidez de 24 NTU e um tempo de decantação de 30 minutos. Concluiu ainda que, para turbidez iniciais altas (230 UNT a 365 UNT) obteve-se uma remoção em torno de 94,8 % e 98,4 % com doses aplicadas entre  $7 \text{ mg L}^{-1}$  e  $15 \text{ mg L}^{-1}$  do coagulante natural.

### 5.1.3. Potencial hidrogeniônico

O pH é um parâmetro de grande relevância para os processos de clarificação, existindo assim um valor ótimo de acordo com as variações na composição da água bruta e clarificada.

Dessa forma, a Tabela 8 mostra os valores de pH da água clarificada com o uso do coagulante natural, como também permite analisar se o pH da água bruta estava adequado para o processo de coagulação realizado.

Tabela 8 - Valores obtidos para o parâmetro pH após o ensaio 1.

Água	Dosagens						
	Bruta	Jar Test	Manual	Jar Test	Manual	Jar Test	Manual
Período (minutos)		$100 \text{ mg L}^{-1}$	$100 \text{ mg L}^{-1}$	$200 \text{ mg L}^{-1}$	$200 \text{ mg L}^{-1}$	$300 \text{ mg L}^{-1}$	$300 \text{ mg L}^{-1}$
0	7,89	-	-	-	-	-	-
20		7,86	7,74	8,43	7,84	7,79	7,76
40		8,24	7,88	7,91	7,78	8,18	7,66
60		8,03	7,85	7,88	7,77	7,7	7,73
120		7,59	7,83	7,51	7,8	7,56	7,63

Analisando a Tabela 8 acima nota-se que não houve variação expressiva do pH após o processo de clarificação quando comparado ao valor do mesmo na água bruta de 7,89. Tal fato mostra que o pH de mistura foi adequado e não influenciou na eficiência do processo. Esses resultados mostram-se em conformidade com aqueles encontrados por Díaz et al. (2015), onde segundo o mesmo o pH e a alcalinidade não sofreram alterações depois dos ensaios.

É possível observar ainda que não houve diferenças marcantes no que tange os processos manuais e automatizados, como também em relação às diferentes dosagens e ao tempo de sedimentação. Isso revela que o coagulante natural não altera o potencial hidrogeniônico da água, sendo dessa forma possível mantê-lo na faixa limitante, entre 6 e 9, estabelecida pela Portaria N° 2.914.

A baixa variabilidade nos valores de pH, tanto para a água bruta como para aquela clarificada, também foi encontrada na pesquisa desenvolvida por Santos et al., (2011).

## 5.2. ENSAIO 2: CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA SEGUIDA DE FILTRAÇÃO LENTA

### 5.2.1. Resultados do procedimento em Jar Test

A Tabela 9 abaixo mostra os valores absolutos e remoções de cor aparente e turbidez equivalentes ao processo de sedimentação e filtração quando submetidos às condições mencionadas anteriormente.

Tabela 9 - Redução de cor aparente e turbidez, respectivamente, no processo de clarificação com dosagem de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de *Moringa Oleífera* e tempo de sedimentação de 60 minutos em Jar Test.

a)				
Cor aparente				
Processos	Valor inicial (uH)	Valor final (uH)	% de remoção	VMP (uH)
Sedimentação	183	90	50,8	-
Filtração	183	61	66,6	15

b)				
Turbidez				

Processos	Valor inicial (NTU)	Valor final (NTU)	% de remoção	VMP (NTU)
Sedimentação	29	6	79,3	-
Filtração	29	4	86,2	1

É possível perceber que o percentual de remoção de cor aparente e turbidez foram superiores após a filtração quando comparado a água sedimentada, situando em torno de 67% e 87% respectivamente.

Verifica-se ainda que mesmo após a filtração, os resultados situaram-se acima daqueles estabelecidos na referida Portaria, cujo valor máximo permitido para turbidez após filtração lenta é 1 UNT e para cor 15 uH. Logo ressalta-se a importância do saneamento rural, principalmente quanto a investimentos voltados a formas alternativas de tratamento de água.

Tal resultado também foi observado por Henriques et al. (2014), onde o mesmo notou que apenas o processo de clarificação com as sementes de *Moringa oleífera* não é suficiente para adequar a cor aparente e a turbidez ao padrão de potabilidade, todavia, após a filtração, foram atingidos valores bem abaixo de 15 uH e 5 UNT respectivamente.

O autor supracitado também verificou que após a formação de filme biológico no elemento filtrante (filtro de cerâmica) obtiveram-se valores abaixo de 1 UNT para turbidez. Isso justifica os valores encontrados acima, superiores ao valor máximo permitido, visto que o filtro de cerâmica possuía uso recente, com isso ainda não possuía filme biológico.

Paterniani et al. (2010) também encontrou percentuais de remoção satisfatórios após o processo de filtração lenta, atingindo valores de 1 UNT para turbidez.

Notou-se ainda que os valores absolutos de cor aparente e turbidez foram menores quando comparados ao melhor resultado obtido pela análise estatística do

ensaio em Jar Test (dosagem de 100 mg L<sup>-1</sup> e tempo de sedimentação de 60 minutos).

### 5.2.2. Resultados do procedimento manual

Embora os resultados do Ensaio 1 tenham mostrado que a melhor dosagem e tempo de sedimentação para o processo manual tenham sido de 300 mg L<sup>-1</sup> e 60 minutos, para fins de averiguar os resultados após a filtração decidiu-se utilizar uma dosagem de 50 mg L<sup>-1</sup> e um tempo de sedimentação de 60 minutos.

Vale ressaltar que a dosagem foi estabelecida mediante a turbidez da água bruta (em torno de 15 UNT) no ponto de coleta do rio, onde buscou avaliar o potencial do coagulante para valores menores de turbidez. Ainda, procurou-se obter uma simulação do cotidiano das pessoas que utilizam o manancial para abastecimento sem o devido tratamento, onde existe uma variação dos níveis de turbidez no decorrer do ano.

A Tabela 10 abaixo mostra os valores e remoções de cor aparente e turbidez equivalentes ao processo de sedimentação e filtração quando submetidos a dosagem ótima definida em condições manuais de mistura.

Tabela 10 - Redução de cor aparente e turbidez, respectivamente, no processo de clarificação com dosagem de 50 mg L<sup>-1</sup> de *Moringa Oleífera* e tempo de sedimentação de 60 minutos.

a)				
Cor aparente				
Processos	Valor inicial (uH)	Valor final (uH)	% de remoção	VMP (uH)
Sedimentação	139	151	8,63	-
Filtração	139	134	9,64	15

b)				
Turbidez				
Processos	Valor inicial (NTU)	Valor final (NTU)	% de remoção	VMP (NTU)
Sedimentação	15	19	0	-
Filtração	19	14	26,3	1

Pode-se perceber que em níveis muito baixos de turbidez da água bruta, quando adiciona-se o coagulante natural ocorre um aumento desse parâmetro em razão da alta carga orgânica contida na semente e não ocorre remoção.

Paterniani et al. (2010) também observou que para concentrações maiores de coagulantes ( $300 \text{ mg L}^{-1}$ ) e turbidez de 50 UNT ocorreu um aumento bastante significativo da turbidez e da cor, devido ao aumento na quantidade de partículas dissolvidas e em suspensão decorrente do próprio coagulante.

A presença de matéria orgânica já foi constatada até mesmo na água após o tratamento por Ndabigengesere & Narasiah (1998); Okuda et al. (1999) e onde os mesmos verificaram que a etapa de filtração é necessária para a remoção da matéria orgânica introduzida pelo coagulante.

Verifica-se também que após o processo de filtração é possível obter dados mais satisfatórios, porém ainda ineficientes segundo os padrões de potabilidade designados pelo Ministério da Saúde.

Notou-se ainda que os valores absolutos de cor aparente e turbidez foram superiores quando comparados ao melhor resultado obtido pela análise estatística dos ensaios manuais (dosagem de  $300 \text{ mg L}^{-1}$  e tempo de sedimentação de 60 minutos). Isso pode ser justificado pela alta carga orgânica introduzida em valores mais baixos de turbidez.

### 5.2.3. Potencial hidrogeniônico

A Tabela 11 - mostra os valores de pH após os processos de clarificação, realizados manualmente e em Jar Test, e filtração.

Tabela 11 - Valores de pH após o Ensaio 2.

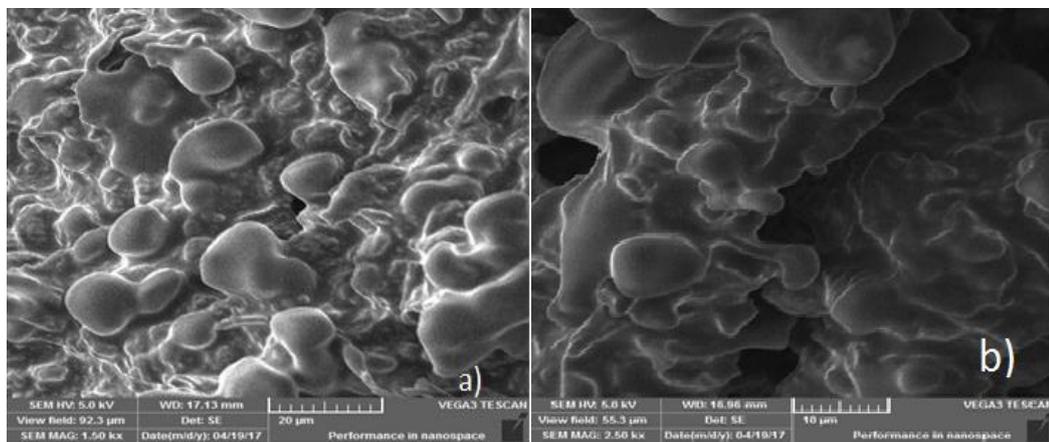
Etapas	Jar Test	Manual
	pH	pH
Água Bruta	7,5	8
Sedimentação	7,8	7,9
Filtração	7,9	8,46

Percebe-se que os valores de pH durante o processo de clarificação e filtração não obtiveram variação de grande significância, e se concentraram na faixa preconizada pela Portaria vigente.

### 5.3. CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DA SEMENTE

A Figura 7 mostram a estrutura morfológica do pó semente de *Moringa oleífera* observada através do uso da técnica de microscopia eletrônica de varredura.

Figura 7 - visualização em escala nanométrica em 1 000X e 2500 X da estrutura do pó da *Moringa oleífera* respectivamente.

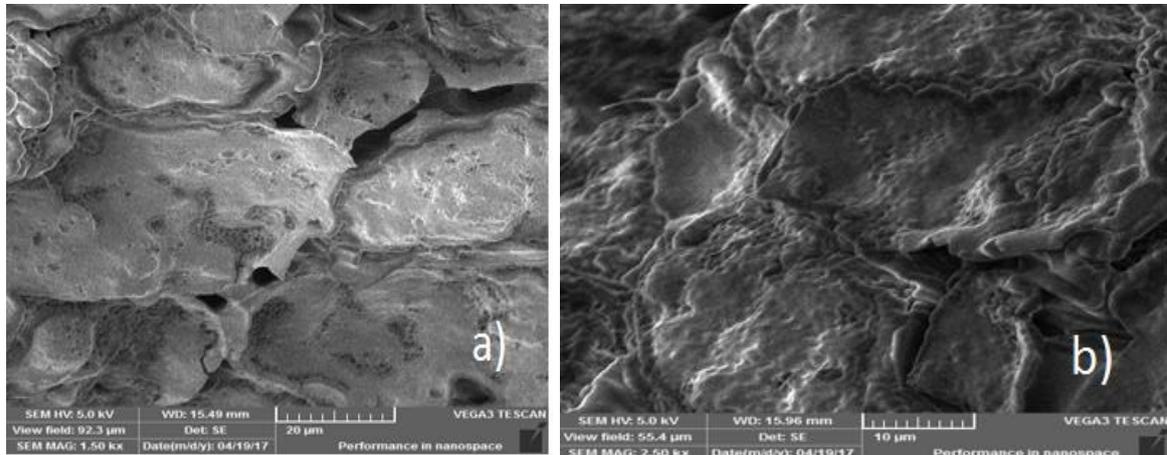


A técnica de microscopia eletrônica de varredura aplicada permitiu verificar que o material apresenta uma matriz com distribuição heterogênea relativamente porosa. Segundo Damásio (2015), tal característica se justifica por se tratar da semente integral totalizando uma grande diversidade de componentes que constituem a biomassa em estudo, como celulose, hemicelulose e lignina.

Constatou-se também que os poros apresentam tamanhos variados, e estes contribuem para aumentar a superfície específica e, conseqüentemente, para reter maior quantidade de partículas sólidas, apresentado-se como um eficiente adsorvente.

As imagens de MEV são capazes apenas de mostrar poros grandes, portanto não é possível ver de forma clara a estrutura de macro, meso e microporos.

Figura 8 – Visualização, em escala nanométrica com aproximação em 1000 X e 2500X da estrutura da semente de Moringa oleífera seccionada transversalmente.



Percebe-se que a semente seccionada também possui uma textura formada por poros, porém estes são menores quando comparados à estrutura do pó da mesma, como foi visto anteriormente.

Em conformidade com Damásio (2015), a melhor forma de aplicação consiste naquela com menores dimensões da partícula, visto que é capaz de promover maior aumento da área superficial do biosorvente em contato com os coloides, e consequentemente exibem um maior número de sítios ativos, fazendo com que sua capacidade adsorptiva seja ainda mais aprimorada.

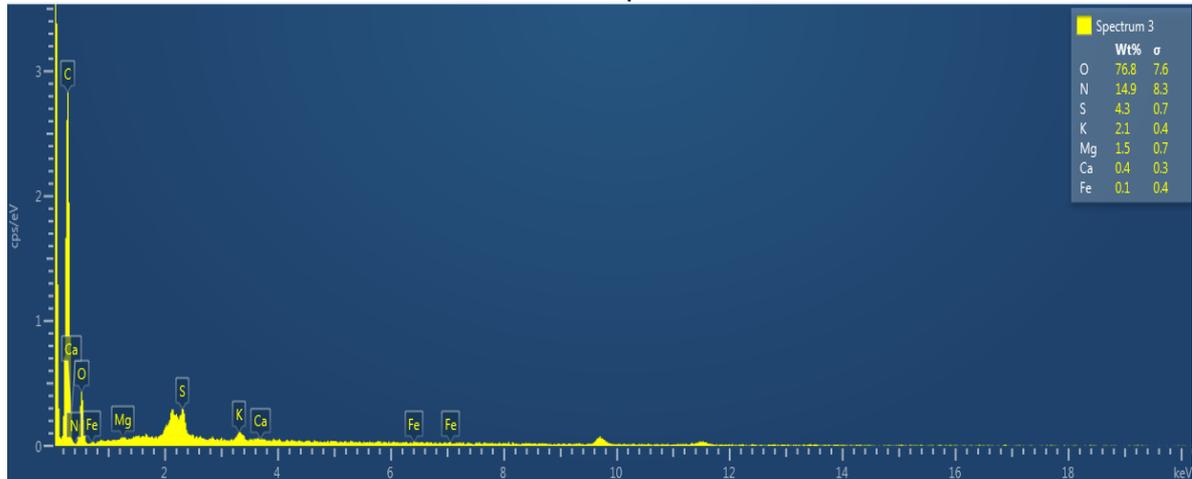
Com isso, para a obtenção de maior eficiência de remoção de cor aparente e turbidez é necessário utilizar o pó da semente, uma vez que este possui maior superfície de adsorção quando comparado com a semente inteira.

Por sua vez, também é de suma importância conhecer os constituintes desse coagulante natural e averiguar as características que confere a propriedade de coagulante. Sendo assim, a Figura 8 abaixo mostra os principais componentes, ressaltando sua alta carga proteica, estando assim em conformidade com a

afirmação de Schwarz (1996), de que as sementes de moringa contêm quantidades significativas de proteínas solúveis com carga positiva.

A Figura 15 mostra os resultados em termos de espectro de EDS (Energy Dispersive System) para o pó da *Moringa oleífera*.

Figura 9 - Análise da composição química da semente de Moringa Oleífera através do sistema acoplado EDS.



Por meio da análise de composição química da semente de *Moringa Oleífera* observada acima, nota-se que a mesma possui uma alta carga orgânica, sendo o carbono o principal elemento constituinte, seguido do oxigênio, nitrogênio e enxofre.

Os principais constituintes da semente desse coagulante são os elementos químicos carbono, oxigênio e nitrogênio, sendo esses os responsáveis por formar o grupamento carboxila (COOH) e amina (NH<sub>2</sub>), onde juntamente com o radical formam a estrutura da menor unidade de uma proteína. Assim, comprova-se o que foi verificado por Sgobi et al. (2015) onde os mesmos notaram que as sementes desse vegetal possuem aproximadamente 33,9% de proteínas.

A proteína catiônica introduz na água um potencial elétrico, dando aos coloides a capacidade de se moverem sob ação desse campo, ou seja, em direção as cargas positivas, uma vez que as partículas coloidais presentes na água apresentam carga negativa. Assim, haverá uma diminuição das forças de repulsão existentes entre os coloides e ocorrerá a formação de flocos.

Dessa forma, como a semente possui alto peso molecular advindo de proteínas, tem-se que a mesma irá introduzir mais cargas positivas e ocorrerá maior formação de flocos.

## 6. CONCLUSÃO

Diante do exposto, notou-se que os maiores percentuais de remoção foram para as dosagens de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  e  $300 \text{ mg L}^{-1}$ , com um tempo de decantação de 60 minutos para os processos em Jar Test e simulação manual respectivamente.

Como previsto, os ensaios realizados em Jar Test foram mais satisfatórios quando comprados aqueles referentes ao processo manual. Porém, este possuiu resultados promissores para o processo de clarificação a nível domiciliar em comunidades rurais.

Observou-se que a filtração lenta proporcionou maior remoção de cor aparente e turbidez, todavia ainda não atenderam aos limites preconizados pela Portaria MS Nº 2.914. Assim, tem-se a necessidade de maiores estudos voltados ao desenvolvimento de técnicas que potencializem o efeito coagulante da semente.

Percebeu-se que a *Moringa oleífera* não interfere no pH da água, visto que os valores não apresentaram variação expressiva nos ensaios de clarificação, como também após a filtração lenta.

Notou-se ainda que a semente possui maior capacidade de adsorção quando aplicada em forma de pó e que os principais elementos constituintes foram o carbono, seguido do oxigênio, nitrogênio e enxofre, fato este que comprova a alta carga orgânica da semente.

Dessa forma, a semente de *Moringa oleífera* mostra-se como um grande potencial para estudo e desenvolvimento de técnicas simplificadas para tratamento a nível domiciliar de comunidades rurais.

## 7. SUGESTÕES

Diante dos resultados do presente estudo, sugere-se:

- Estudos posteriores, com ensaios utilizando o método de extração do composto ativo puro da *Moringa oleífera* para água com baixa turbidez, como sugerido por Okuda et al. (1999).
- A realização do teste manual até o processo de filtração utilizando a dosagem de  $300 \text{ mg L}^{-1}$  e o tempo de sedimentação de 60 minutos, visto que este apresentou o melhor resultado estatístico para o processo realizado manualmente.
- Acrescentar a etapa de desinfecção e a esterilização prudente para testes microbiológicos.
- Realizar a técnica de microscopia eletrônica de varredura com outros tipos de soluções extratoras de *Moringa oleífera*.

## REFERÊNCIAS

ARANTES, C. C.; RIBEIRO, T. A.; 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, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 661–666, 2012.<<http://dx.doi.org/10.1590/S141543662012000600011>>. Acesso em 1 set. 2017.

AZEVEDO, Ramona conceição Moreira de. **Uso de tecnologias sociais Para adequação da qualidade da água armazenada em cisternas para consumo humano**. 2014. 93f. Dissertação (Mestrado e Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, PE, 2014.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Leino 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm)> Acesso em: 23 ago. 2017.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS nº 2.914**, 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, Brasília. Editora do Ministério da Saúde, 2011. Disponível em <<http://www.in.gov.br/imprensa/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=43&data=04/01/2012>>. Acesso em 07 agosto 2017.

CARDOSO, K.C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E.S.; KONRADT-MORAES, L.C. (2008) **Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleifera** Lam. Revista Acta Sci. Tech., v. 30, n. 2, p. 193-198.

CARVALHO, M. J. H., **Uso de Coagulantes Naturais no Processo de Obtenção de Água Potável**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2008.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. 3.ed., v.1, São Paulo,1987.

DAMÁSIO, Fernanda Queiroz. **Remoção de diclofenaco do meio aquoso utilizando sementes de Moringa oleifera**. 2015. 104f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2015.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 1.ed. São Carlos: Rima Editora, 2005. v.1, 1584p.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A., CENTURIONE FILHO, P.L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. 3.ed. São Carlos: Rima Editora, 2002.

DÍAZ, J. J. F.; ROA, S. B., TORDECILLA, A. M. E. **Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú**. Junho, 2014, Vol.9, Nº 1, 9-22.

FERREIRA, P.C.; PIAI, K.A.; TAKAYANAGUI, A.M.M.; SEGURA-MUÑOZ, S.I. **Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer**. Revista Latino Americana de Enfermagem, Ribeirão Preto, v. 16, jan./fev. 2008. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010411692008000100023&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010411692008000100023&lng=en&nrm=iso&tlng=en)>. Acesso em 10 agosto 2017.

FRANCO, C. S.; BATISTA, M. D. A. **Eficiência de redução na turbidez da água de abastecimento por extrato de semente de Moringa oleífera obtido por duas metodologias**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola ,17, Fortaleza, Ceará, 2013.

GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. **Avaliação química e estrutural da semente de Moringa**. Revista Ciência Agrônômica, Fortaleza, v.37, n. 01, p. 106-109, 2006.

HENRIQUES, J.A.; OLIVEIRA, R. de.; MEIRA, C.M.B.S.; NASCIMENTO, R.S. do.; SANTOS, E.C. dos.; **Potencial de uso da Moringa oleifera Lamarck na clarificação de água para abastecimento em comunidades difusas de áreas semiáridas**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, Nº 31, 2014.

KATAYON, S.; NOOR, M.J.M.M.; ASMA, M.; GHANI, L.A.A.; THAMER, A.M.; AZNI, I.; Ahmad, J.; KHOR, B.C.; SULEYMAN, A.M. **Effects of storage condicions of Moringa oleifera seeds on its performance in coagulation**. *Bioresourse Technology*, v. 97, p. 1455-1460, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852405003603>>. Acesso 3 de set de 2017.

LÉDO, P.G.S., LIMA, R.F.S.; PAULO, J.B.A.; DUARTE, M.A.C. **Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleifera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad**. Información Tecnológica. V. 20, 2009.

LIMA, Niedja Maria de. **Aplicação de Moringa oleífera no tratamento de água com turbidez**. 2015. 57f. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento de processos ambientais) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, PE, 2015.

**Microscopia Eletrônica de Varredura**. Disponível em: <<http://www.degeo.ufop.br/laboratorios/microlab/mev.htm>> Acesso em 4 de set de 2017.

MUNIZ, G. L.; DUARTE, F. V.; OLIVEIRA, S. B. de. **Uso de sementes de Moringa oleifera na remoção da turbidez de água para abastecimento.** Revista Ambiente e Água. v. 10, Taubaté, 2015.

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. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004313549400161Y>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

OKUDA, T. et al. **Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seed.** *Water Research*, vol. 33, p. 3373-3378, 1999.

PASTANA, K. C. C.; OLIVEIRA, T. A. de; DANTAS FILHO, H. A. Análise comparativa da utilização de dois tipos de coagulantes para o tratamento de água de abastecimento. In: Encontro do Profissionais da Química da Amazônia ,14, Amazônia, 2005. **Análise comparativa da utilização de dois tipos de coagulantes para o tratamento de água de abastecimento.** Disponível em: <<http://docplayer.com.br/10445664-Analise-comparativa-da-utilizacao-de-dois-tipos-de-coagulantes-para-o-tratamento-de-agua-de-abastecimento.html>> Acesso em: 12 ago. 2017.

PATERNIANI, J. E. S.; RIBEIRO, T. A. P.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. **Water treatment by sedimentation and slow fabric filtration using Moringa oleifera seeds.** *African Journal of Agricultural Research*, v. 5, n. 11, p. 1256-1263, 2010. Disponível em < <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR09.600>> Acesso em setembro de 2017.

PIANTÁ, C. A. V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso de sulfato de alumínio no tratamento de água.** Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J.M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada.** São Paulo, SP, 2002.

RICHTER, Carlos A. **Água Métodos e Tecnologia de Tratamento.** São Paulo-SP, 2009.

SANTOS, T. M.; PEREIRA, D. F.; SANTANA, C. R.; SILVA, G. F. **Estudo do tratamento físico químico da água produzida utilizando Moringa oleifera Lam em comparação ao sulfato de alumínio.** *Exacta*, v.9, p.317-321, 2011.

SCHWARZ, D. **Water clarification using Moringa oleifera.** 2000. Disponível em: <[http://www.deutschaethiopischer-verein.de/Gate\\_Moringa.pdf](http://www.deutschaethiopischer-verein.de/Gate_Moringa.pdf)>. Acesso em: 2 set. 2017.

SGOBI, L. M.; CARDINES, P. H. F.; BAPTISTA, A. T. A.; GOMES, R. G.; VIEIRA, A. M. S.. **Avaliação das propriedades funcionais das sementes da moringa oleifera.** *Revista Tecnológica – Edição Especial de 2014.* Maringá, p. 237-246.

SILVA, G. F. DA; SANTOS, W. R. DOS; MATOS, D. B. DE.; OLIVEIRA, B. M. DE.; SANTANA, T. M.; SANTANA, M. M. DE. **Estudo do tratamento e clarificação de água com torta de sementes de *Moringa oleifera* Lam.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 295-299, 2011.

SOUZA, R. M.A.; MONTEFUSCO, N. E.G.; BARBOSA, P. da S.; AMORIM, M. C. C. de. **Avaliação da *Moringa oleifera* na remoção de cor e turbidez da água do Rio São Francisco.** In: Congresso Brasileiro de Educação Ambiental Interdisciplinar, Petrolina, 2016.