



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE**

LUAM DE OLIVEIRA SANTOS

**TECNOLOGIAS SOCIAIS DE TRATAMENTO DE ÁGUA USANDO *MORINGA
OLEÍFERA* LAM E BUCHA VEGETAL (*LUFFA CYLLÍNDRICA*)**

**SÃO CRISTÓVÃO /SE
2025**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

S237t Santos, Luam de Oliveira.
Tecnologias sociais de tratamento de água usando *Moringa Oleífera* LAM e bucha vegetal (*Luffa Cyllíndrica*) / Luam de Oliveira Santos; orientador Inajá Francisco de Souza. – São Cristóvão, SE, 2025.
200 f.; il.

Tese (doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) –
Universidade Federal de Sergipe, 2025.

1. Meio Ambiente - Sergipe. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Águas – Estações de tratamento. 4. Água – Qualidade. 5. Bucha (Planta). 6. Cidades e vilas – Abastecimento de água. I. *Moringa Oleífera* LAM. II. Souza, Inajá Francisco de, orient. III. Título.

CDU 502.131.1(813.7)

LUAM DE OLIVEIRA SANTOS

TECNOLOGIAS SOCIAIS DE TRATAMENTO DE ÁGUA USANDO *MORINGA OLEÍFERA* LAM E BUCHA VEGETAL (*LUFFA CYLLÍNDRICA*)

Texto apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe, como requisito para a defesa de Doutorado.

Orientador: Prof. Dr. Inajá Francisco de Souza
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Borges Garcia

Linha de Pesquisa: Tecnologia para o Desenvolvimento Sustentável

SÃO CRISTÓVÃO /SE
Fevereiro de 2025

LUAM DE OLIVEIRA SANTOS

TECNOLOGIAS SOCIAIS DE TRATAMENTO DE ÁGUA USANDO *MORINGA OLEÍFERA* LAM E BUCHA VEGETAL (*LUFFA CYLLÍNDRICA*)

Texto apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe, como requisito para a defesa de Doutorado.

Aprovado em: 14/02/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Inajá Francisco de Souza - UFS
(Orientador)

Prof Dr. Carlos Alexandre Borges Garcia - UFS
(Co-orientador)

Prof^a. Dra. Nídia de Sá Caetano- ISEP/Porto
(Examinador Externo)

Prof. Dr. Gabriel Francisco da Silva - UFS
(Examinador Externo)

Prof. Dr. Silvanito Alves Barbosa - IFS
(Examinador Externo)

Prof. Dr. Gregório Guirad Faccioli - UFS
(Examinador Interno)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me permitiu estar contribuindo para a sociedade, desempenhando meu papel de cidadão, buscando soluções que contribuam com o desenvolvimento sustentável.

A minha família, que estiveram a todo o momento ao meu lado ao longo de toda minha carreira profissional e acadêmica, depositando em mim toda a sua confiança, a qual espero estar contribuindo.

Agradeço ao meu orientador, que contribuiu com a realização deste trabalho, confiando sempre no meu potencial, atuando sempre que necessário para as contribuições na melhoria da qualidade do trabalho e me dando orientações, conselhos, tirando minhas dúvidas nos momentos que eu mais precisei.

Agradeço especialmente ao professor Gabriel, que tornou este trabalho uma realidade, me apresentando ao mundo da tecnologia social, ao potencial da *Moringa oleífera*, e me ensinando a importância de ajudar a população em situação de vulnerabilidade, tornando este trabalho não só acadêmico, mas principalmente uma ferramenta para a população que está em situação de crise hídrica, sem água de qualidade para consumo.

Agradeço ao meu co-orientador, por todo apoio e dedicação, contribuindo sempre para a melhoria deste trabalho.

A Silvanito, que me abriu as portas do laboratório multidisciplinar do IFS Campus Aracaju, onde realizei a maior parte das análises.

As técnicas do laboratório, Florilda, Érica e Bárbara, do curso de saneamento, que me ajudaram a realizar as análises, emprestaram a sonda para realização das análises e contribuíram com as análises microbiológicas.

Agradeço a minha esposa, pela paciência nos momentos de estresses e ansiedade com o nascimento de nossa filha e especialmente no momento mais delicado que ela esteve sempre ao meu lado.

Agradeço a CAPES pela bolsa de doutorado sanduíche que me permitiu a realização de boa parte do meu trabalho em Portugal, contribuindo para minha formação pessoal e acadêmica e estreitando laços de parceria entre as instituições.

Agradeço a FAPITEC pela minha bolsa de doutorado e projeto de extensão que me permitiu a compra de material, realização de experimentos e desenvolvimento da tecnologia social junto ao município de Nossa Senhora Aparecida/SE.

Agradeço ao IFS pelo meu processo de afastamento que me permitiu um maior foco no doutorado, fazendo com o mesmo tivesse todos seus objetivos alcançados.

Agradeço a todo o pessoal do sindicato dos produtores rurais de Nossa Senhora Aparecida/SE pela parceria, em especial ao Eduilson, que permitiu a coleta da água do barreiro trincheira, contribuíram para a confecção da cartilha e transformou num grande êxito a distribuição dos kits simplificados de tratamento de água aos produtores rurais da cidade de Nossa Senhora Aparecida/SE.

Agradeço ao ISEP por ter me recebido tão bem durante meu processo de doutorado sanduíche, em especial a professora Nídia que tornou a experiência ainda mais gratificante por estar sempre me apoiando, me ensinando e tornando essa tese cada vez mais completa e melhorando sua qualidade sempre.

RESUMO

O projeto tem como tema tecnologias sociais e desenvolvimento sustentável sendo a linha de pesquisa formas alternativas de tratamento de água para consumo humano tendo como motivação a redução do uso de produtos químicos no tratamento da água, além de possibilitar maior autonomia de populações ribeirinhas no consumo de água segura e de qualidade, de forma simples, contribuindo assim com o desenvolvimento sustentável nas três esferas: ambiental, econômica e social. A hipótese desse projeto é: Tecnologias sociais usando a *Moringa oleífera* e bucha vegetal para o tratamento da água de barreiro trincheira pode ser eficaz no tratamento da água para uso e consumo humano. O objetivo deste trabalho é a construção de tecnologias sociais de tratamento de água que possam ser utilizadas por comunidades com dificuldade de acesso à água segura, de forma a garantir água de qualidade para consumo humano. A água para tratamento foi coletada num barreiro trincheira pertencente à comunidade de Santa Rita, localizada no município de Nossa Senhora Aparecida no estado de Sergipe. O projeto foi realizado em parceria da UFS, ISEP e IFS, onde foram analisados parâmetros da água bruta, água coagulada, assim como da água após os tratamentos com as biomassas. Os parâmetros analisados foram, pH, cor aparente, acidez total, acidez carbônica, dureza total, dureza de cálcio, dureza de magnésio, alcalinidade, cloretos, sódio, lítio e potássio, além das análises microbiológicas de coliformes totais e *Escherichia coli*. Como resultados foram publicados seis artigos e um capítulo de livro, uma premiação internacional e uma premiação nacional, foram analisados três sistemas de tratamento, sendo o FIME o FMC e o FMC de garrafa PET, além do uso de outras sementes e cascas oleaginosas para uso como coagulante naturais e também do uso da moringa como desemulsificante natural no tratamento da água produzida. Na análise das biomassas de MO e bucha vegetal apresentadas no primeiro artigo, verificou-se que a MO tem maior eficiência de adsorção mas a bucha vegetal aumenta a vazão sistema de filtração e por esse motivo foi selecionado a biomassa de MO e bucha vegetal na proporção de 70% de MO e 30% de bucha como biomassa. No segundo artigo, verificou-se que a tecnologia social de proposta de FIME mostrou-se eficaz, obtendo-se após todos os tratamentos propostos redução de 99,52% da cor aparente, 97,66% da turbidez e 100% dos coliformes totais e *Escherichia coli*, sendo agora a água tratada, considerada segura para consumo humano. No terceiro artigo, percebe-se que o sistema de FMC não é uma tecnologia muito apropriada para uso a nível domiciliar ou comunitário como o FIME, sendo que para comunidades que não tenham acesso à energia elétrica é aconselhável o uso do sistema FMC em pequena escala, no caso, feito com garrafa PET. No quarto artigo vale destacar que entre as sementes oleaginosas estudadas, a MO foi que teve maior eficiência de redução de turbidez, mas com destaque também para a castanha espanhola que obteve eficiência de redução de turbidez de até 69,8% em água sintética de alta turbidez. No quinto artigo, verificou-se que a MO também pode ser utilizada como desemulsificante natural em água produzida, com eficiência de redução do teor de óleos e graxas em até 66,7%, no sexto artigo foi confeccionada a cartilha em conjunto com a comunidade e distribuído os kits simplificados de tratamento de água, composto da cartilha, farinha de semente de MO e hipoclorito de sódio, além da capacitação da comunidade e distribuição de mudas de MO, completando dessa forma todas as etapas de pesquisa e extensão e atingindo todos os objetivos proposto nesta tese.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento sustentável; Filtração lenta; *Moringa oleífera*; Tecnologia social; Tratamento da água.

ABSTRACT

The project focuses on social technologies and sustainable development, with its research line dedicated to alternative methods of water treatment for human consumption. The motivation stems from the desire to reduce the use of chemicals in water treatment while enabling greater autonomy for riverside populations to access safe and high-quality water in a simple manner. This contributes to sustainable development in the three dimensions: environmental, economic, and social. The hypothesis of this project is: Social technologies utilizing *Moringa oleifera* and loofah sponge for trench-bar water treatment can be effective for water treatment intended for human use and consumption. The objective of this study is to develop social technologies for water treatment that can be applied by communities with limited access to safe water, ensuring water quality for human consumption. The water for treatment was collected from a trench-bar reservoir located in the community of Santa Rita, in the municipality of Nossa Senhora Aparecida, in the state of Sergipe, Brazil. The project was conducted in partnership with UFS, ISEP, and IFS, where parameters of raw water, coagulated water, and water treated with biomass were analyzed. The analyzed parameters included pH, apparent color, total acidity, carbonate acidity, total hardness, calcium hardness, magnesium hardness, alkalinity, chlorides, sodium, lithium, and potassium, in addition to microbiological analyses of total coliforms and *Escherichia coli*. As results, six articles and one book chapter were published, alongside one international and one national award. Three treatment systems were evaluated: FIME, FMC, and FMC with PET bottles, as well as other seeds and oilseed hulls as natural coagulants and the use of MO as a natural demulsifier for produced water treatment. In the analysis of MO and loofah sponge biomass presented in the first article, it was observed that MO had greater adsorption efficiency, whereas loofah sponge increased the filtration system's flow rate. Thus, a biomass combination of 70% MO and 30% loofah sponge was selected. The second article demonstrated that the proposed FIME social technology was effective, achieving reductions of 99.52% in apparent color, 97.66% in turbidity, and 100% in total coliforms and *Escherichia coli*, rendering the treated water safe for human consumption. The third article highlighted that the FMC system is not as suitable for household or community use as FIME. However, for communities without access to electricity, the FMC system on a small scale (e.g., using PET bottles) is recommended. The fourth article emphasized that among the studied oilseeds, MO showed the highest turbidity reduction efficiency, with the Spanish chestnut also achieving a turbidity reduction efficiency of up to 69.8% in highly turbid synthetic water. The fifth article revealed that MO can also serve as a natural demulsifier in produced water, with a reduction efficiency of oils and grease content of up to 66.7%. In the sixth article, a handbook was developed collaboratively with the community, and simplified water treatment kits were distributed. These kits included the handbook, MO seed powder, and sodium hypochlorite, alongside community training and the distribution of MO seedlings. This completed all research and outreach stages, meeting all the objectives proposed in this thesis.

KEYWORDS: *Moringa oleifera*; Slow filtration; Social technology; Sustainable development; Water treatment.

LISTA DE SIGLAS

µm (micrometro)	NR (Normas Regulamentadoras)
ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental)	NTU (unidades nefelométricas de turbidez)
ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)	ODM (Objetivos do Milênio)
ANA (Agência Nacional de Águas)	ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável)
cm (centímetros)	OMS (Organização Mundial da Saúde)
CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior)	ONU (Organização das Nações Unidas)
EDTA (ácido etilenodiaminotetracético)	PDSE (Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior)
ETA (Estação de Tratamento de Água)	pH (Potencial Hidrogeniônico)
FAPITEC (Fundação de Apoio a Pesquisa e a Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe)	Qa (vazão afluente)
FiME (Filtração em Múltiplas Etapas)	SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento)
FMC (Filtro de Múltiplas Camadas)	STD (Sólidos Totais Dissolvidos)
g/L (gramas por litro)	TS (Tecnologia Social)
IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)	UC (Unidade de Cor)
IFS (Instituto Federal de Sergipe)	UFS (Universidade Federal de Sergipe)
ISEP (Instituto Superior em Engenharia do Porto)	und. (unidade)
l/min (litros por minutos)	UNICEF (Fundo das Nações Unidas para a Infância)
m ³ /m ² .dia (metros cúbicos por metro quadrado dia)	UT (Unidade de Turbidez)
mm (milímetros)	WHO (World Health Organization)
MO (<i>Moringa oleífera</i>)	
MS (Ministério da Saúde)	
NMP (Número mais provável)	

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Métodos de análises físico-químicas e microbiológicas:.....	16
Quadro 2: Métodos de análises físico-químicas e microbiológicas:.....	36
Quadro 3: Cronograma de Execução das atividades.....	Erro! Indicador não definido.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cobertura de água potável por macrorregião do Brasil.....	17
Figura 2: Moringa oleífera com Vagem e Folhas.	18
Figura 3: Fruto da Bucha Vegetal.	20
Figura 4: Mecanismos de transporte na filtração.	23
Figura 5: Representação da filtração em múltiplas etapas – FiME.	25
Figura 6: Esquema de uma unidade de pré-filtração dinâmica de britas.	26
Figura 7: Esquema de um pré-filtro de pedras com fluxo ascendente.	27
Figura 8: Os 17 objetivos de Desenvolvimento Sustentável, Agenda 2030.	33
Figura 9: (A) Localização da cidade de Nossa Senhora Aparecida no mapa de Sergipe; (B) Barreiro Trincheira na comunidade de Santa Rita localizada no município.	34
Figura 10: Fluxograma de etapas de pesquisa.....	35

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO	16
1.1 ANÁLISES DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	16
1.2 DESAFIOS AO FORNECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL	16
TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA TRATAMENTO DA ÁGUA	18
2.1 FORMAS ALTERNATIVAS AO TRATAMENTO DA ÁGUA.....	18
2.1.1 Uso da <i>Moringa oleífera</i>	18
2.1.2 Uso da bucha vegetal (<i>Luffa cylindrica</i>)	20
2.2 TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO LENTA	21
2.2.1 MECANISMOS DE FILTRAÇÃO POR TRANSPORTE	22
2.2.2 MECANISMOS DE FILTRAÇÃO POR ADERÊNCIA.....	23
2.2.3 MECANISMOS DE PURIFICAÇÃO	24
2.3 SISTEMA DE FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS (FiME).....	24
2.3.1 PRÉ-FILTRO DINÂMICO.....	25
2.3.2 PRÉ-FILTRO GROSSEIRO	26
TECNOLOGIA SOCIAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	28
3.1 TECNOLOGIA SOCIAL.....	28
3.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	31
3.2.1 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)	32
CAPÍTULO I.....	34
MATERIAIS E MÉTODOS	34

4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E OBJETO DE ESTUDO.....	34
4.2	FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE PESQUISA	35
4.3	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS	35
4.4	CONSTRUÇÃO DA CARTILHA.....	36
CAPÍTULO II: ARTIGO 1: ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES BIOMASSAS NO TRATAMENTO DA ÁGUA DE BARREIRO TRINCHEIRA PARA CONSUMO HUMANO		38
CAPÍTULO III: ARTIGO 2: TECNOLOGIA SOCIAL DE TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO FIME COM BIOMASSA DE MORINGA OLEÍFERA E BUCHA VEGETAL		55
CAPÍTULO IV: ARTIGO 3: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE FILTRAÇÃO DE ÁGUA POR MÚLTIPLAS ETAPAS VS MÚLTIPLAS CAMADAS COM BIOMASSA DE MORINGA OLEÍFERA E BUCHA VEGETAL.....		72
CAPÍTULO V: ARTIGO 4: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE DIFERENTES SEMENTES E CASCAS OLEAGINOSAS PARA USO COMO COAGULANTES NATURAIS		87
CAPÍTULO VI: ARTIGO 5: USO DA MORINGA OLEÍFERA LAM COMO DESEMULSIFICANTE NA REDUÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS E TURBIDEZ DA ÁGUA PRODUZIDA ..		104
CAPÍTULO VII: ARTIGO 6: DISTRIBUIÇÃO DE KITS SIMPLIFICADOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA À COMUNIDADE DE SANTA RITA EM NOSSA SENHORA APARECIDA-SE.....		119
CONSIDERAÇÕES FINAIS		129
REFERENCIAS.....		131
Anexo 1: Artigo 4 traduzido para o português.....		146
Anexo 2: Artigo 6 traduzido para o português.		163
Anexo 3: Capítulo de livro publicado.....		173
Anexo 4: Cartilha.....		196
Anexo 5: Premiações.....		198

INTRODUÇÃO GERAL

O projeto tem como tema tecnologias sociais e desenvolvimento sustentável sendo a linha de pesquisa formas alternativas de tratamento de água para consumo humano, tendo como motivação a redução do uso de produtos químicos no tratamento da água e maior autonomia das populações ribeirinhas no consumo de água de qualidade, de forma simples e segura, contribuindo assim com o desenvolvimento sustentável nas três esferas: ambiental, econômica e social.

Este projeto teve a parceria de três instituições de ensino, sendo elas a UFS (Universidade Federal de Sergipe), o IFS (Instituto Federal de Sergipe) e o ISEP (Instituto Superior em Engenharia do Porto), através do programa de doutorado Sanduíche financiado pela CAPES , além dos financiamentos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do

Pessoal de Nível Superior) e da FAPITEC (Fundação de Apoio a Pesquisa e a Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe) através de editais de projetos de pesquisa e de extensão.

Os resultados desta tese foram publicados em 6 artigos científicos e 1 capítulo de livro, obtendo 1 premiação em congresso internacional e 1 premiação em congresso nacional.

A *Moringa oleífera* (MO) é uma planta muito estudada no meio acadêmico devidos aos seus benefícios à saúde e seu potencial de alimentação, nutrição animal e tratamento da água, sendo que para Oliveira *et al.*, (2018) a utilização da semente da MO apresenta-se como uma boa alternativa na utilização como agente coagulante, sendo indicada na tecnologia do sistema de tratamento de água, no processo de clarificação, como um produto biodegradável e que colabora para a preservação do meio ambiente.

Dessa forma, justifica-se o estudo da viabilidade do uso da *Moringa oleífera* (MO) como alternativa para tratamento da água para consumo humano.

A hipótese desse projeto é: Tecnologias sociais usando a *Moringa oleífera* e/ou a bucha vegetal para o tratamento da água de barreiro trincheira pode ser eficaz no tratamento da água para consumo humano.

Este projeto tem como objetivo geral a construção de tecnologias sociais de tratamento de água que possam ser utilizadas por populações ribeirinhas garantindo o acesso à água segura para consumo humano.

Para Dzuovor *et al.* (2021), o uso de *Moringa oleífera* LAM (MO) apresenta uma variedade de potenciais benefícios para a saúde humana, com propriedades anticancerígenas, antidiabéticas, antioxidantes e anti-inflamatórias. Além disso, suas sementes e tortas podem ser utilizadas no processo de tratamento de água em coagulação, floculação e como adsorventes, devido à sua capacidade de eliminar microrganismos e matéria orgânica.

A bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) é um fruto encontrado em todo território brasileiro, popularmente conhecida como esponja vegetal, bucha de metro, esfregão, maxixe do mato, entre outros nomes. Ela é pertencente à mesma família do melão, melancia, pepino e abóboras. De fácil cultivo, trata-se de um produto que não agride ao meio ambiente por ser biodegradável e de fonte renovável. (LIMA, 2014).

Algumas pesquisas como a de Vianna e Melo (2019) verificam que o fruto seco descascado da *Luffa cylindrica*, comumente conhecida como bucha vegetal podem ser utilizados como uma alternativa adequada e sustentável para o tratamento de esgoto doméstico, podendo ser utilizados como meio suporte em filtros biológicos percoladores.

Os sistemas de tecnologias de filtração lenta foram selecionados para estudo neste projeto devido à sua simplicidade de construção e operação, ideais para uso como tecnologia social por parte de populações com limitação de acesso à água de qualidade. Podendo-se fazer uso de recursos locais, dispensa mão-de-obra especializada e geralmente não se faz necessário o uso de produtos químicos prévios ao filtro. (NAKAMOTO; GRAHAM; COLLINS; GIMBEL, 2014; VERAS; DI BERNARDO; 2008).

A baixa taxa de filtração permite desde a remoção de materiais suspensos através dos mecanismos físicos (as barreiras como areia, brita, entre outros), até a remoção de materiais biológicos e patógenos, principalmente pela atividade biológica na *schmutzdecke*. (HUISMAN; WOOD, 1974, p. 15-26).

Esta combinação da filtração em múltiplas etapas (FIME) com a filtração lenta e biomassas de MO e bucha vegetal trazem o critério de inovação da pesquisa. O fácil acesso às biomassas pela população do agreste Sergipano, além da sua simples instalação e manutenção o tornam uma excelente tecnologia social para às comunidades.

PROBLEMA DE PESQUISA

Embora o Brasil possua a maior reserva de água potável do mundo, muitas comunidades não possuem acesso à água segura e de qualidade para consumo humano. Dessa forma, propõe-se tecnologias sociais para tratamento da água que possam ser utilizadas por populações ribeirinhas e outras comunidades sem acesso a água potável, que sejam simples e sustentáveis.

OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é a construção de tecnologias sociais de tratamento de água que possam ser utilizadas por populações sem acesso à água segura, de forma a garantir o seu acesso à água de qualidade para consumo humano.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a eficiência das biomassas de moringa oleífera e bucha vegetal no tratamento da água utilizando filtros feito de garrafa PET;
- Construir um filtro de múltiplas etapas (FiME) adaptado e avaliar sua eficiência no tratamento da água para consumo humano;

- Determinar qual melhor sistema de filtração entre múltiplas etapas e múltiplas camadas para utilização como tecnologia social à comunidade;
- Avaliar outras sementes e cascas de oleaginosas com potenciais para utilização como coagulantes naturais;
- Encontrar outros usos para Moringa oleífera em tratamento de água como forma de valorização do produto e gerar fonte de renda à comunidade;
- Construir uma cartilha para capacitar a comunidade na construção, operação e manutenção da tecnologia social de tratamento de água;

INTERDISCIPLINARIDADE

A interdisciplinaridade do projeto permeia-se entre as diversas áreas do conhecimento, entre elas:

- Gestão de recursos hídricos: buscando soluções para o problema da falta de água para consumo humano por diversas comunidades do país;
- Física e química: através das análises das propriedades físico-química da água de para consumo humano;
- Engenharia e Mecânica dos Fluidos: através do estudo escoamento, montagem e sistemas de bombeamento, processos de filtração;
- Biologia: através do estudo de plantas e sementes como a semente da Moringa oleífera e outras sementes ricas em proteínas catiônicas na busca de encontrar métodos eficientes de tratamentos de água para consumo humano. Além disso, também serão feitas as análises microbiológicas da água tratada.

ESTRUTURAÇÃO DA TESE

Esta tese está dividida introdução geral, fundamentação teórica e 8 capítulos posteriores, sendo o 1º de materiais e métodos e do capítulo 2º ao 7º são exclusivos para os resultados, que estão separados por artigos publicados em diferentes revistas e por último o capítulo 8 para as considerações finais. Os capítulos são respectivamente denominados:

Fundamentação teórica: Água para consumo humano; Tecnologias alternativas para tratamento da água; Tecnologia social e desenvolvimento sustentável.

Capítulo 1: Materiais e Métodos.

Capítulo 2: Artigo 1: Análise da eficiência de diferentes biomassas no tratamento da água de barreiro trincheira para consumo humano.

Capítulo 3: Artigo 2: Tecnologia social de tratamento de água utilizando FIME com biomassa de *Moringa oleífera* e bucha vegetal.

Capítulo 4: Artigo 3: Análise de eficiência de filtração de água por múltiplas etapas vs múltiplas camadas com biomassa de *Moringa oleífera* e bucha vegetal.

Capítulo 5: Artigo 4: Análise de eficiência de diferentes sementes e cascas oleaginosas para uso como coagulantes naturais.

Capítulo 6: Artigo 5: Uso *da Moringa oleífera* LAM como desemulsificante na redução do teor de óleos e graxas e turbidez da água produzida.

Capítulo 7: Artigo 6: Distribuição de kits simplificados de tratamento de água à comunidade de Santa Rita em Nossa Senhora Aparecida/SE.

Considerações Finais.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Este capítulo é dedicado exclusivamente a revisão bibliográfica a respeito dos métodos de análises da água utilizados nos experimentos para verificação da qualidade da água para consumo humano além dos desafios de fornecimento de água no Brasil.

1.1 ANÁLISES DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Os parâmetros da água que foram analisados são:

Quadro 1: Métodos de análises físico-químicas e microbiológicas:

Parâmetro	Método	Unidade	Referência
pH	Método potenciométrico	adimensional	NBR 7353
Cor	Método colorimétrico	UC	SM 2120
Turbidez	Método nefelométrico	uT	SM 2130 B
Condutividade	Método condutométrico	(μ S)/cm	SM 2510 B
Sólidos Totais Dissolvidos	Método condutométrico	ppm	SM 2540
Alcalinidade Total e Parcial	Volumetria de neutralização	ppm CaCO_3	SM 2320 B
Acidez Total e Carbônica	Volumetria de neutralização	ppm CaCO_3	SM 2310
Dureza total, de Cálcio e Magnésio	Volumetria de complexação	ppm CaCO_3	SM 2340 B
Cloretos	Volumetria de precipitação	ppm Cl^-	SM 4500
Sódio, Lítio e Potássio	Espectrofotometria de chama	ppm	SM 3111
Coliformes Totais	Método de tubos múltiplos	NMP/100ml	SM 9221
<i>Escherichia coli</i>	Método de tubos múltiplos	NMP/100ml	SM 9221

Fonte: Autor, 2023

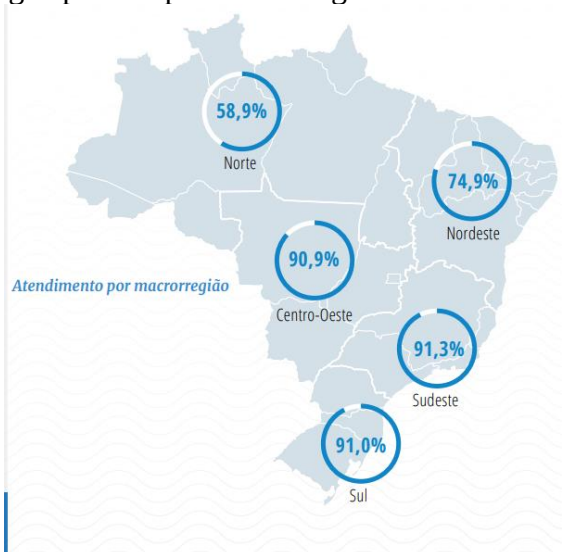
1.2 DESAFIOS AO FORNECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL

O fornecimento de água potável e saneamento básico estavam incluídos nos Objetivos do Milênio no objetivo “Garantir a Sustentabilidade Ambiental” e continuam inclusos com um objetivo específico dentro dos 17 ODS no “Objetivo 6: Água Potável e Saneamento”. Desde então, avanços nessa área são alcançados e o acesso a água potável aumentou. Em relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), revelam que entre 2015 a 2020, o acesso a água potável administrada com segurança em casa aumentou de 70% para 74% da população mundial, sendo que nas áreas rurais essa cobertura aumentou de 53% para 60% da população mundial. (WHO e UNICEF, 2021, p. 8).

Estas estatísticas nos mostram como problemas relativos à falta de acesso à água de qualidade e saneamento ainda são fontes de preocupação. Em 2020 mais de 2 bilhões de pessoas careciam de serviços de saneamento e água com segurança sendo 367 milhões de pessoas usando fontes não confiáveis e 122 milhões usando água diretamente da superfície. (WHO e UNICEF, 2021, p. 8).

Segundo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (2021), no Brasil aproximadamente 84,1% da população, cerca de 175,5 milhões de pessoas, são atendidas por um sistema de abastecimento de água completo ou simplificado. No entanto, conforme pode ser verificado na figura 2, as diferenças de condições socioeconômicas entre as macrorregiões do país também são refletidas no que diz respeito ao saneamento básico e acesso à água potável pois enquanto no norte (58,9%) e nordeste (74,9%) nas outras regiões do país essa cobertura é muito maior, sendo centro-oeste (90,9%), sudeste (91,3%) e sul (91,0%). (SNIS, 2021, p. 52).

Figura 1: Cobertura de água potável por macrorregião do Brasil.



Fonte: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021. p. 52.

TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA TRATAMENTO DA ÁGUA

Este capítulo é dedicado ao uso das tecnologias alternativas para tratamento da água, mais precisamente aquelas tecnologias adequadas às populações ribeirinhas que se encontram sem acesso à água de qualidade para consumo humano. Destaca-se os diversos usos da *Moringa oleífera* no tratamento da água para consumo humano, da utilização de bucha vegetal em pesquisas para tratamento de efluentes e sobre a tecnologia de filtração lenta e filtração em múltiplas etapas.

2.1 FORMAS ALTERNATIVAS AO TRATAMENTO DA ÁGUA

2.1.1 Uso da *Moringa oleífera*

A *Moringa oleífera* (MO) é uma planta tropical que pertence à família Moringaceae. Em torno de catorze espécies já foram identificadas e todas possuem propriedades coagulantes em diferentes graus de coagulação (OLADOJA e PAN, 2015).

Figura 2: *Moringa oleífera* com Vagem e Folhas.



Fonte: Autor, 2022.

A MO possui propriedades poliméricas naturais que vem notoriamente ganhando destaque no tratamento da água pela sua contribuição ao desenvolvimento sustentável através da redução do uso de produtos químicos, atuando como agente clarificador devido a presença

de uma proteína catiônica que desestabiliza as partículas contidas em um meio líquido. (MADRONA *et al.*, 2017).

Ela possui ativos biocoagulantes que podem ser utilizados no tratamento de clarificação da água, filtração, sedimentação e floculação da água, reduzindo o uso de coagulantes de base química (CAMACHO *et al.*, 2017), (VALVERDE *et al.*, 2018).

Para Dzuovor *et al.* (2021) a utilização *Moringa oleífera* Lam (MO) apresenta-se como uma gama de potenciais benefícios para saúde humana com propriedades anticancerígenas, antidiabéticas, antioxidantes, anti-inflamatórias e além disso, suas sementes e tortas podem ser utilizadas no processo de tratamento de água na coagulação, floculação e como adsorventes por sua capacidade de eliminação de micróbios e matéria orgânica.

Segundo Nordmark *et al.* (2018), os resultados de suas pesquisas concluem que proteínas de MO adsorvem irreversivelmente com relação ao enxágue no modelo de água utilizado, sugerindo que a areia modificada com as proteínas da moringa é estável em uso repetido de filtração da água, tornando assim um dispositivo de filtração de água simples, eficaz e sustentável.

Além dessas características, pesquisas como a de Viotti *et al.* (2019), apontam para a eficiência promissora e de baixo custo no uso da vagem da *Moringa oleífera* na adsorção de compostos químicos como o diclofenaco no tratamento da água.

Em pesquisa de revisão feita por Yamaguchi *et al.* (2021) mostra que a MO tem potencial de uso como auxiliar de floculação, reduzindo o uso de coagulantes químicos e tendo bons resultados de remoção, além do seu uso como adsorvente, com potencial para remoção de diversos contaminantes da água. Além disso, em pesquisa desenvolvida por Santos *et al.* (2023) verificou-se o grande potencial da MO e bucha vegetal como biomassas adsorventes para adicionar em filtros lentos para tratamento de água.

Várias são as formas que podemos trabalhar com a moringa oleífera podendo ser a semente, vagem, farinha, torta e até mesmo como carvão ativado. Ruelas-Leyva *et al.* (2017), demonstram em suas pesquisas resultados muito promissores quanto ao uso da farinha da *Moringa oleífera* quando comparada com o coagulante convencional a quitosana, sendo a moringa eficiente na remoção de Pb e Mn além da redução na turbidez de águas de rios e residuais agrícolas, sendo que em algumas situações a farinha da moringa oleífera teve resultados superiores à da quitosana.

Resultados positivos no tratamento da potabilização da água também foram encontrados por Madrona *et al.* (2017), no uso da *Moringa oleífera lam* num processo combinado de Coagulação/Floculação com Ultrafiltração obtendo água de alto nível de qualidade para consumo humano após o processo.

Diante de tais resultados e justificativas, vimos a necessidade de se estudar a *Moringa oleífera* no uso de uma tecnologia social de baixo custo e fácil execução por populações ribeirinhas no tratamento da água para consumo humano através da filtração lenta, sendo a *Moringa oleífera* e a bucha vegetal escolhidas como biomassa presente no processo de filtração, coagulação/floculação.

2.1.2 Uso da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*)

A bucha vegetal é um fruto encontrado em todo território brasileiro, popularmente conhecida como esponja vegetal, bucha de metro, esfregão, maxixe do mato, entre outros nomes. Ela é pertencente à mesma família do melão, melancia, pepino e abóboras.

De fácil cultivo, trata-se de um produto que não agride ao meio ambiente por ser biodegradável e de fonte renovável. (LIMA, 2014).

Figura 3: Fruto da Bucha Vegetal.



Fonte: <https://www.sementerara.com.br/esponja-vegetal-bucha-sementes>, 2022.

Considera-se que a propagação inicial do gênero *Luffa* ocorreu no novo e velho mundo, porém com as espécies cultivadas que foram originárias da Ásia, mais especificamente da Índia (HEISER & SCHILLING, 1990, *apud*. BISOGNIN, 2002)

Algumas pesquisas como a de Vianna e Melo (2019) verificam que o fruto seco descascado da *Luffa cylindrica*, podem ser utilizados como uma alternativa adequada e sustentável para o tratamento de esgoto doméstico, podendo ser utilizados como meio suporte em filtros biológicos percoladores. A autora ainda afirma que a sua degradação é lenta devido à sua função natural de manter as sementes para a sua propagação.

Estudos realizados por Freitas *et al.* (2015), no tratamento da água contaminada por bactérias específicas, mostram que a bucha vegetal é eficiente como adsorvente no tratamento alternativo da água contaminada, tendo sua maior eficiência em pH mais básico e sem agitação da água.

Para Agra (2009), o uso da bucha vegetal como material de suporte, apresentou vantagens por ser um material leve, superfície porosa e ocupar volume de apenas 8% do reator, o que, de certa forma, também foi evidenciado por Freitas *et al.* (2015), pois em seus resultados ele percebe que o aumento da massa do adsorvente (bucha vegetal) é inversamente proporcional à qualidade do tratamento, sendo assim, a melhor condição é com quantidade menor de massa de adsorvente.

2.2 TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO LENTA

Os sistemas de tecnologias de filtração lenta foram selecionados para estudo neste projeto devido à sua simplicidade de construção e operação, ideais para uso como tecnologia social por parte de populações com limitação de acesso à água de qualidade. Podendo-se fazer uso de recursos locais, dispensa mão-de-obra especializada e geralmente não se faz necessário o uso de produtos químicos prévios ao filtro. (NAKAMOTO; GRAHAM; COLLINS; GIMBEL, 2014; VERAS; DI BERNARDO; 2008).

A filtração lenta pode ser considerada como uma das técnicas mais antigas utilizadas para tratamento da água em sistemas públicos, sendo usada desde o início do século XIX.

Na filtração lenta, a água passa pelo sistema de filtragem com baixa vazão, ou seja, baixa taxa de filtração, em torno de 3 a 6 m³/m².dia e utilizam, normalmente, grãos de areias de diferentes tamanhos que variam geralmente entre 0,15 e 1,00 mm. (VERAS; DI BERNARDO; 2008). Esta baixa taxa de filtração permite desde a remoção de materiais suspensos através dos mecanismos físicos (as barreiras como areia, brita, entre outros), até a remoção de materiais

biológicos e patógenos, principalmente pela atividade da membrana biológica (*schmutzdecke*). (HUISMAN; WOOD, 1974, p. 15-26).

A membrana biológica consiste em uma região da interface entre o elemento filtrante e a água, é nessa região onde ocorre o acúmulo de material retido e sintetizado pelas bactérias. (BARRETT *et al.*, 1991). Essa fina camada viscosa por onde a água passa primeiramente é grande responsável pela eficiência da filtração lenta e que pode demorar desde dias a semanas para sua formação, dependendo da qualidade da água afluenta e do meio filtrante no período de amadurecimento, período decorrido entre o início do funcionamento até a formação da *schmutzdecke*, sendo que somente após esse período é que há produção de efluente com qualidade satisfatória. (HUISMAN; WOOD, 1974, p. 15-26; DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999, p. 27).

Estudos crescem em relação ao uso da filtração lenta à nível domiciliar, onde comunidades que não possuem acesso ao sistema público de abastecimento de água podem ter uma alternativa que reduz significativamente o risco de incidência de doenças diarreicas. (LOGSDON; KOHNE; ABEL, 2002; BRASIL, 2011; 36 NAKAMOTO *et al.*, 2014, *apud* SOUZA, 2020 p. 35-36).

A tecnologia de filtração lenta baseia-se basicamente nos mecanismos de filtração de transporte, aderência e purificação através dos microorganismos, destacando ainda que a principal retenção de impurezas ocorre no topo da unidade o que facilita sua manutenção. (HUISMAN; WOOD, 1974; MACIEL, 2018, p. 43).

2.2.1 MECANISMOS DE FILTRAÇÃO POR TRANSPORTE

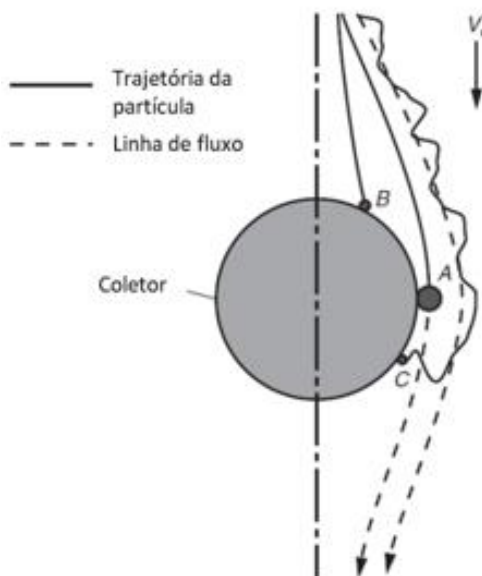
Para Barrett *et al.* (1991, p.7), os mecanismos de filtração de transporte são aqueles que ocorrem quando as partículas colidem com os grãos de areias (chamadas de coletores). Os mecanismos de transporte incluem a interceptação, sedimentação e difusão.

Para Huisman; Wood (1974, p.27), as ações que ocorrem na filtração por transporte são: (a) peneiramento ou coagem, (b) sedimentação, (c) forças de inércia e centrífuga, (d) difusão, (e) atração de massa, (f) atração eletrostática e eletrocinética.

No peneiramento, ou coagem, como o próprio nome diz, consiste na interceptação das partículas nos polos entre os grãos de areia, retendo várias partículas pelo caminho. Considerando os grãos de areia como esferas perfeitas, a abertura dos poros é de 1/7

(um sétimo) do diâmetro do grão de areia. Dessa forma, uma areia com grão médio de 150 μm tem a capacidade de reter partículas a partir de 20 μm . (HUISMAN; WOOD, 1974, p. 27-28).

Figura 4: Mecanismos de transporte na filtração.



Fonte: HUISMAN; WOOD, 1974, p. 27-28

No mecanismo de sedimentação, este consiste na precipitação do material particulado, portanto, tem na densidade uma variável fundamental ao processo. Dessa forma, a eficiência da sedimentação é função inversa da taxa de filtração e direta da velocidade de sedimentação das partículas. Podendo, em condições de parâmetro de filtragem lenta de 2,8 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, 1 m^3 de leito e partícula 250 μm reter partículas a partir de 4 μm . (HUISMAN; WOOD, 1974, p. 28-29).

Na difusão, onde ocorre o movimento Browniano, que é aquele onde ocorre o movimento desordenado e aleatório das partículas para longe das suas linhas de fluxo devido ao choque com as moléculas vizinhas. É comum considerar-se que a difusão é aplicável somente a particular menores que 1 μm . (PARSON e JEFFERSON, 2006, p. 77).

2.2.2 MECANISMOS DE FILTRAÇÃO POR ADERÊNCIA

Segundo Parson e Jefferson (2006), quando uma partícula se aproxima de um grão a uma distância inferior a 100 μm , forças de interações começam a se tornar importantes. Várias são as forças de interação de curtas distâncias sendo as mais conhecidas as forças de Van der Waals e as repulsões elétricas. (PARSON e JEFFERSON, 2006, p. 79).

Para Huisman e Wood (1974, p.10), no início do processo de filtração as partículas coloidais, que possuem carga negativa, não são aderidas ao coletor (areia) pois este também possui a carga negativa. Esta situação só será alterada durante o amadurecimento do filtro lento, pois partículas positivas aderem à superfície da areia revertendo o processo. Dessa forma, a filtragem dos coliformes, no filtro de areia, antes do desenvolvimento da camada de biofilme é nula. Somente após o amadurecimento do filtro lento e desenvolvimento da camada de biofilme é que se promove a formação da camada adsortiva para que então ocorra a aderência das partículas de cargas negativas, consequentemente os coliformes.

2.2.3 MECANISMOS DE PURIFICAÇÃO

Os mecanismos de purificação envolvem a região da *schmutzdecke*, a qual a atividade bacteriana desenvolve o mecanismo de purificação mais importante. (HUISMAN; WOOD, 1974; NAKAMOTO, 2014).

Os microrganismos que estão presentes no meio filtrante aderidos à superfície dos grãos agem intensamente na retenção, digestão e quebra da matéria orgânica em passagem pelo filtro. No meio filtrante a oxidação bioquímica reduz a concentração de matéria orgânica, sendo esse processo de tamanha importância para a eficiência da filtração lenta que esta é dependente da formação dessa fina camada viscosa, que pode demorar dias ou até semanas para se formar, sendo esse período de formação da camada chamado de período de amadurecimento do filtro, o que influencia diretamente na qualidade da água filtrada e depende da qualidade da água que alimenta o sistema. (HUISMAN; WOOD, 1974, p. 15-26; BARRETT *et al.*, 1991).

2.3 SISTEMA DE FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS (FiME)

A filtração em múltiplas etapas (FiME), se destaca por ser um sistema de simples manuseio e construção, com baixo custo de implementação e que dispensa o uso de instrumentação. Além disso, se destaca por ser uma tecnologia adequada às zonas rurais e grande parte dos pequenos municípios onde a coagulação química não se mostra como uma opção sustentável. (VERAS; DI BERNARDO, 2008, p. 109, VIEIRA *et al.*, 2005).

Entre as tecnologias de filtração sem coagulação química, se destacam a filtração lenta em areia e a cloração como principais processos de tratamento para produção de água com qualidade para o consumo humano. Contudo, a eficiência da filtração lenta é comprometida se

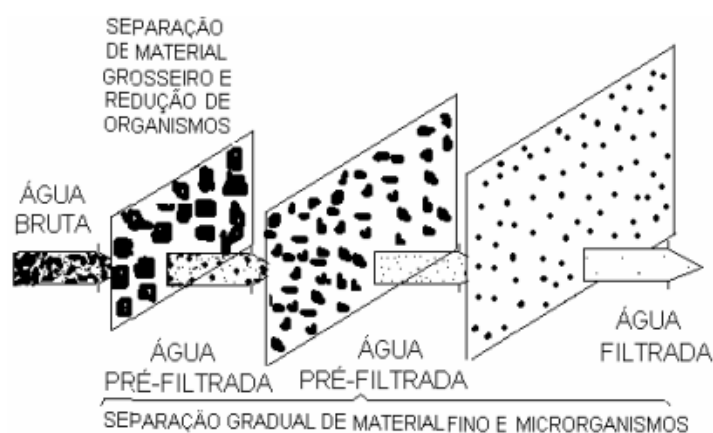
a água bruta tiver turbidez superior a 10 uT. Com o intuito de obter-se a melhor eficiência do filtro lento, uma pré-filtração possibilita redução das impurezas e consequentemente da turbidez antes da filtração lenta propriamente dita, e basicamente nisto que se baseia a filtração em múltiplas etapas. (VERAS; DI BERNARDO, 2008, p. 109, VIEIRA *et al.*, 2005).

A Filtração em Múltiplas Etapas, quando bem dimensionada, construída e operada, produz água filtrada de baixa turbidez, sem a presença de patógenos e agentes nocivos à saúde humana. (VISSCHER, 1996, *apud.*, VERAS; BERNARDO, 2008, p. 109).

O sistema de filtração em múltiplas etapas consiste na sequência do pré-filtro dinâmico, pré-filtro grosseiro, de pedregulho que pode ser escoamento horizontal ou vertical ascendente ou descendente e o filtro lento. (VIEIRA *et al.*, 2005).

Como pode ser visto na figura 6, no FiME, a água passa por sucessivas etapas de tratamento com progressiva remoção de substância sólidas. O princípio básico de cada etapa é melhorar a qualidade de seu efluente para que possa ser submetido ao tratamento posterior, sem sobrecarregá-lo. (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999, p. 22).

Figura 5: Representação da filtração em múltiplas etapas – FiME.



Fonte: DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999, p. 23.

2.3.1 PRÉ-FILTRO DINÂMICO

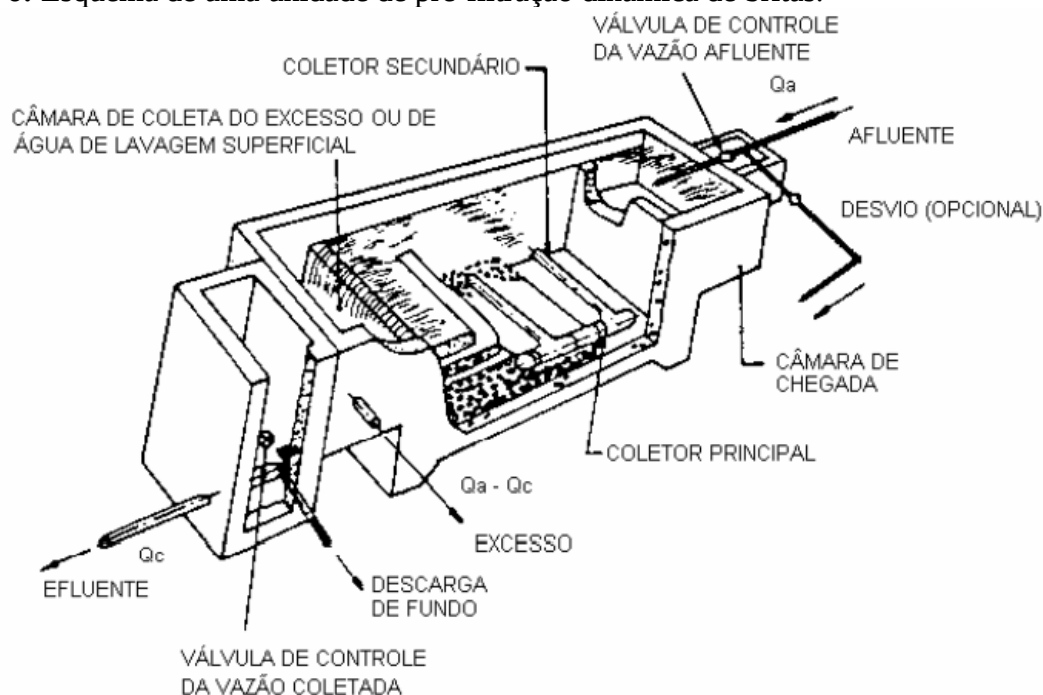
Segundo a OPS/CEPIS (2005), os pré-filtros dinâmicos são tanques que contêm uma camada na superfície de brita fina (6mm a 13 mm) sobre um leito de brita grossa (13mm a 25mm) com um sistema de drenagem no fundo. (OPS/CEPIS, 2005. p. 6)

Nesta etapa, o que ocorre é principalmente a remoção de sólidos grosseiros, contudo, organismos e material fino também são parcialmente removidos. (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999, p. 24).

O acúmulo de impurezas no meio filtrante aumenta a perda de carga e reduz a taxa de filtração. Quando isto ocorre, é necessário raspar o lodo da superfície de pedregulho e abrir o sistema de drenagem para que seja reestabelecido o funcionamento. (VERAS; BERNARDO, 2008, p. 110).

Para Tangerino (2003), na pré-filtração dinâmica, o meio granular é constituído de pedregulho com tamanho menor no topo e maior no fundo da unidade, dispostos sobre um sistema de tubos perfurados que serve como um sistema de drenagem. (TANGERINO, 2003). A mesma informação se encontra em Di Bernardo (1999, p. 24), onde o mesmo diz “o meio granular do pré-filtro dinâmico é constituído de pedregulho, com tamanho menor no topo e maior no fundo”. Isso ocorre para que se possa fazer a remoção de impurezas através do fechamento da válvula de efluente e a vazão total afluente, Q_a , escoando dessa forma pela superfície da camada de pedregulho, sendo que o operador, com o auxílio de algumas ferramentas pode auxiliar na remoção do material retido que será carregado pelo escoamento superficial, conforme podemos ver na figura 11.

Figura 6: Esquema de uma unidade de pré-filtração dinâmica de britas.



Fonte: DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999, p. 24.

2.3.2 PRÉ-FILTRO GROSSEIRO

Segundo a OPS/CEPIS (2005, p.7), o pré-filtro grosso pode ser de fluxo horizontal ou vertical e consistem em um compartimento principal onde se tem camadas de filtro de pedregulhos com os tamanhos de grãos reduzidos com a direção do fluxo.

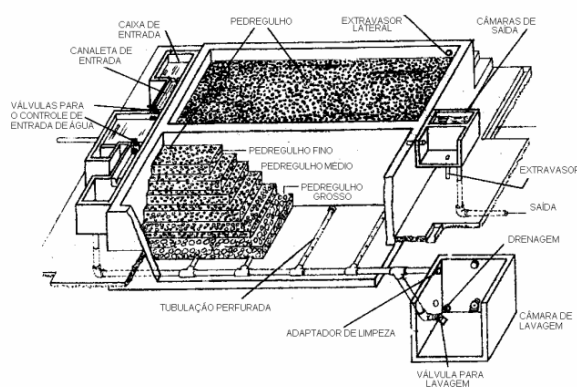
Segundo Di Bernardo (1999, p.25), na comparação entre a pré-filtração com pedregulhos de fluxo horizontal e vertical, o de fluxo vertical leva vantagem não somente em eficiência de remoção de impurezas, mas também na facilidade de operação e manutenção, principalmente no que diz respeito às limpezas periódicas.

O mesmo autor ainda afirma que no que diz respeito à pré-filtração grosseira vertical ascendente ou descendente, a ascendente em unidades em série tem melhores resultados que a ascendente em uma única unidade, tanto que o autor afirma que uma estação de tratamento constituída de pré-filtração dinâmica, pré-filtração grosseira ascendente e filtração lenta é capaz de fornecer água de boa qualidade a custos relativamente baixos. (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999, p. 25).

Segundo Tangerino (2003), uma das vantagens do uso da pré-filtração ascendente é o acúmulo dos sólidos no fundo do filtro, onde está o sistema de drenagem, pois, dessa forma a limpeza é favorecida através das descargas de fundo.

Segundo a OPS/CEPIS (2005, p.7), conforme o pré-filtro funciona, os espaços vazios são preenchidos com as partículas retidas de água e por isso se faz necessário uma limpeza controlada do fundo através das descargas de fundo.

Figura 7: Esquema de um pré-filtro de pedras com fluxo ascendente.



Fonte: DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999, p. 26.

TECNOLOGIA SOCIAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Este capítulo é dedicado a definição, objetivos e legislações sobre tecnologia social e desenvolvimento sustentável. São conceitos importantes para que possamos identificar porque classificarmos a tecnologia proposta nessa tese como tecnologia social além de que as enquadramos dentro do objetivo 3 e objetivo 6 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

3.1 TECNOLOGIA SOCIAL

A tecnologia social pode ser vista como um movimento que tem sua origem desde a década de 1930 com reflexões e críticas levantadas por Gandhi sobre a tecnologia convencional, capitalista que servia a interesses próprios. Como estratégia de luta contra o domínio britânico, os reformadores buscavam a reabilitação e o desenvolvimento das tecnologias tradicionais, aquelas usadas pelas aldeias. (Dagnino, 2009, p. 10). Desta forma, Gandhi, que sonhava com um mundo sem as tecnologias massivas, de larga escala, propostas pelo domínio inglês com as tecnologias capitalistas, incentivava a importância da preservação das técnicas artesanais e culturais, adaptando o processo da tecnologia moderna à realidade ambiental e social da Índia, tendo como a roca de fiar o símbolo de unidade nacional e resistência contra a dominação inglesa. Sendo assim, a roca de fiar, a Charkha, ficou conhecida como o primeiro equipamento de tecnologia apropriada, além do símbolo da forma de lutar contra a injustiça social e o sistema de castas que se perpetuava na Índia. (Novaes e Dias, 2009, p.20).

Novaes e Dias (2009, p.20), ainda afirmam que esse movimento despertou uma consciência política naqueles milhões de aldeões habitantes nas vilas da Índia sobre a necessidade da renovação da indústria tipicamente hindu e da autodeterminação do povo, que pode ser representado pela ilustre frase dita por Ganghi: “produção pelas massas, não produção em massa”. (Novaes e Dias, 2009, p.20).

O pesquisador Amílcar Herrera afirma que:

O conceito de desenvolvimento de Gandhi incluía uma política científica e tecnológica explícita, que era essencial para sua implementação. A insistência de Gandhi na proteção dos artesanatos das aldeias não significava uma conservação estática das tecnologias

tradicionais. Ao contrário, implicava o melhoramento das técnicas locais, a adaptação da tecnologia moderna ao meio ambiente e às condições da Índia, e o fomento da pesquisa científica e tecnológica, para identificar e resolver os problemas importantes imediatos. Seu objetivo final era a transformação da sociedade hindu, através de um processo de crescimento orgânico, feito a partir de dentro, e não através de uma imposição externa. Na doutrina social de Gandhi o conceito de tecnologia apropriada está claramente definido, apesar dele nunca ter usado esse termo. (Herrera, 1983, p. 10-1 *apud.*, Novaes e Dias, 2009, p. 21).

Embora Gandhi não tenha utilizado os termos tecnologias “apropriadas” ou “sociais” para essas reflexões e pensamentos críticos da época, ele definiu as linhas básicas do que vieram a ser esses conceitos posteriormente. (Herrera, 1983. *apud.*, Souza e Pozzebon, 2020).

Segundo Novaes e Dias (2009), as ideias de Gandhi ultrapassaram as fronteiras da Índia e influenciaram também à China e, posteriormente, ao economista alemão – Schumacher – que elaborou o termo Tecnologia Intermediária para designar uma tecnologia que, devido ao seu baixo custo, pequena escala, simplicidade e respeito à dimensão ambiental, seria mais adequada aos países pobres.

Para Dagnino (2010, p. 12-15), a precursora tecnologia apropriada ganha maior visibilidade acadêmica na década de 1970 com pesquisas em países desenvolvidos, assim como também se inicia as críticas e reflexões ao tema.

Segundo Thomas (2009), a partir do final da década de 1960 começam a emergir perspectivas que procura discutir e criticar o papel da tecnologia na sociedade, onde temos a proliferação de várias concepções de tecnologia: apropriada, intermediária, democrática, alternativa, entre outras. Podemos considerar todas estas concepções como predecessoras do conceito que veio a se chamar de tecnologia social, tem em comum o objetivo de contestar as tecnologias convencionais em responder à problemática do desenvolvimento da comunitário, geração de empregos, alternativas produtivas em cenários de pobreza e exclusão. (Thomas, 2009).

Agora que já conhecemos um pouco do surgimento e dos caminhos percorridos até chegarmos no termo tecnologia social, podemos então apresentar definições e objetivos do termo.

Como primeira definição utilizaremos aquela do projeto de lei do senado de número 111 de 2011 que institui a política nacional de tecnologia social como sendo um:

conjunto de atividades desenvolvidas mediante processo coletivo de organização, desenvolvimento e aplicação, que podem aliar saber

popular, organização social e conhecimento técnico-científico, voltadas para a inclusão social e a melhoria da qualidade de vida e geradoras de efetiva transformação social, relacionadas ao planejamento, pesquisa, desenvolvimento, criação, aplicação, adaptação, difusão e avaliação de: a) técnicas, procedimentos e metodologias; b) produtos, dispositivos, equipamentos e processos; c) serviços; d) inovações sociais organizacionais e de gestão. (BRASIL, 2011).

Para Dagnino (2009) entende-se como Tecnologia Social (TS) como compreendendo “produtos, técnicas e/ou metodologias reaplicáveis, desenvolvidas na interação com a comunidade e que representem efetivas soluções de transformação social”.

Entre estas e várias definições, merece destaque a apresentada pelas pesquisadoras Souza e Pozzebon (2020), que após vasta pesquisa sobre a temática, definiram tecnologia social como:

o resultado de processos políticos - processos de reconfiguração ou imbricação sociotécnica - que criam espaços e ocasiões para redefinir os acordos entre grupos sociais, os artefatos e os métodos que eles mobilizam na vida cotidiana, especialmente para a produção e o consumo. (Souza e Pozzebon, 2020).

O ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações traz ainda que o conceito de tecnologia social estabelece 4 dimensões, sendo elas:

1. Conhecimento, ciência, tecnologia: Tem como ponto de partida os problemas sociais; é feita com organização e sistematização além de que introduz ou gera inovação nas comunidades.
2. Participação, cidadania e democracia: Enfatiza a cidadania e a participação democrática; adota a metodologia participativa nos processos de trabalho e impulsiona sua disseminação e reaplicação.
3. Educação: Realiza um processo pedagógico por inteiro; se desenvolve num diálogo entre saberes populares e científicos além de ser apropriada pelas comunidades, que estas ganham autonomia.
4. Relevância social: É eficaz na solução de problemas sociais; tem sustentabilidade ambiental; provoca a transformação social.

O mesmo ministério ainda adverte que até 2015, as tecnologias sociais contribuíram, de forma participativa e democrática, com os Objetivos do Milênio (ODM) da Organização das Nações Unidas (ONU) e agora, com a Agenda 2030 da ONU e seus 17 Objetivos do

Desenvolvimento Sustentável (ODS), sendo as tecnologias sociais importantes instrumentos para a construção de um mundo mais justo, resiliente e sustentável. (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações). (BRASIL, 2022).

Segundo Fennberg (2002, p. 15 a 19), a autonomia operacional, traz consigo maior empoderamento aos atores, destacando-se como fator de grande importância nas tecnologias sociais podendo ser vista como possibilidades, como descrito no parágrafo anterior, de inovação na adversidade, essencial para resolução dos problemas de escassez.

Seguindo as análises apresentadas quanto a definição de tecnologia social e sua preocupação com a autonomia operacional dos atores em situações de exclusão social, apresentamos agora os objetivos da Política Nacional de Tecnologia Social, apresentada no artigo 3º do Projeto de Lei do Senado Federal de número 111 de 2011, são eles:

Art. 3º São objetivos da Política Nacional de Tecnologia Social:

- I – proporcionar soluções derivadas da aplicação de conhecimentos, da ciência e tecnologia e da inovação para atender necessidades e demandas de maior qualidade de vida da população em situação de exclusão social;
- II – integrar as tecnologias sociais com a Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação;
- III – promover a integração social e econômica das tecnologias sociais na economia do País e no desenvolvimento local sustentável;
- IV – contribuir para a interação entre as esferas do saber acadêmico e do saber popular;
- V – disponibilizar políticas adequadas de promoção e fomento das tecnologias sociais mediante a criação de infraestruturas necessárias, assim como de instrumentos de crédito e de formação e capacitação de recursos humanos.(BRASIL, 2011).

Tendo em vista as definições anteriores, juntamente com os objetivos apresentados na legislação brasileira, podemos considerar que, para que seja considerado tecnologia social, esta deve atender às populações em situação de exclusão social, mas não somente à estas, com simplicidade e agregadas ao desenvolvimento local sustentável, contribuir com a interação entre as esferas acadêmicas e do saber popular, buscando soluções compatíveis com o arranjo e manejo pelos atores sociais local. É visando estes pressupostos que esta tecnologia que será apresentada nos resultados.

3.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A definição mais aceita de desenvolvimento sustentável surgiu em 1987 no relatório “Nosso Futuro Comum” produzido pela Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento que diz “O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” (Relatório Brundtland, 1987, p. 46).

Nesse relatório, dois conceitos importantes são apresentados:

- O conceito de necessidades, sobretudo às necessidades essenciais dos mais pobres, que devem ter máxima prioridade;
- A noção de limitações que o estágio de tecnologia e sociedade impõe ao meio ambiente, impedindo-o de atender às necessidades das gerações presentes e futuras. (Relatório Brundtland, 1987, p. 46).

Afim de alcançar o desenvolvimento sustentável, a Organização das Nações Unidas estabeleceu em setembro do ano 2000 os Objetivos Do Milênio (ODM) chamados de “8 jeitos de mudar o mundo” que são um conjunto de medidas e metas para promover um melhor desenvolvimento das sociedades até 2015.

Ao fim do período que abrangia os ODM, a cúpula da ONU reuniu-se novamente em setembro de 2015 e criou “Agenda 2030” para o desenvolvimento sustentável que resultou nos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que veremos a seguir.

3.2.1 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

Em reunião com os 193 estados membros da ONU (Organização das Nações Unidas) foi adotada em setembro de 2015 a “Agenda 2030” para o Desenvolvimento Sustentável que foi resultado de um processo global participativo de mais de dois anos, com coordenação da ONU, onde houveram contribuições dos governos, sociedade civil, iniciativa privada e instituições de pesquisas através da plataforma “*My World*”, que teve sua implementação em janeiro de 2015 como continuidade à “Agenda de Desenvolvimento do Milênio (2000-2015)” com ampliação da mesma.

Entre os tópicos abrangidos temos o desenvolvimento econômico; erradicação da pobreza, da miséria e da fome; inclusão social; sustentabilidade ambiental; boa governança em todos os níveis, incluindo paz e segurança. (BRASIL, 2022b).

São 17 objetivos e 169 metas de ação global para alcance até 2030, sendo em sua maioria abrangendo as dimensões ambiental, econômica e social do desenvolvimento sustentável, de forma integrada e inter-relacionadas. Com base nas metas globais, é esperado que os países definam as suas próprias metas de acordo com sua própria realidade e que as incorporem em suas políticas, programas e planos de governo. (BRASIL, 2022b).

Entre estes objetivos, esta pesquisa enquadra-se nos objetivos 3 e 6.

Figura 8: Os 17 objetivos de Desenvolvimento Sustentável, Agenda 2030.



Fonte: Brasil: N.I, 2016. p.20.

- Objetivo 3: Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades;
- Objetivo 6: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e o saneamento para todos;

CAPÍTULO I

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E OBJETO DE ESTUDO

O estudo foi realizado no estado de Sergipe, pela Universidade Federal de Sergipe (UFS) em parceria com o Instituto Federal de Sergipe (IFS) e o Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

A coleta da água para experimentos ocorreu no município de Nossa Senhora Aparecida, região agreste central do estado de Sergipe, o município possui 9232 habitantes segundo o último censo realizado pelo IBGE no ano de 2010 (IBGE, 2022). A comunidade fica mais especificamente no povoado de Santa Rita em um barreiro trincheira, localização latitude: -10,3335666; longitude: -37,5071187 conforme figura 10, usado pela população para irrigação e hidratação dos animais, sendo que em casos esporádicos, é também utilizada para consumo humano. A água coletada foi armazenada em um tonel de 220 litros que foi utilizado posteriormente como fonte de água bruta para as pesquisas.

Figura 9: (A) Localização da cidade de Nossa Senhora Aparecida no mapa de Sergipe; (B) Barreiro Trincheira na comunidade de Santa Rita localizada no município.

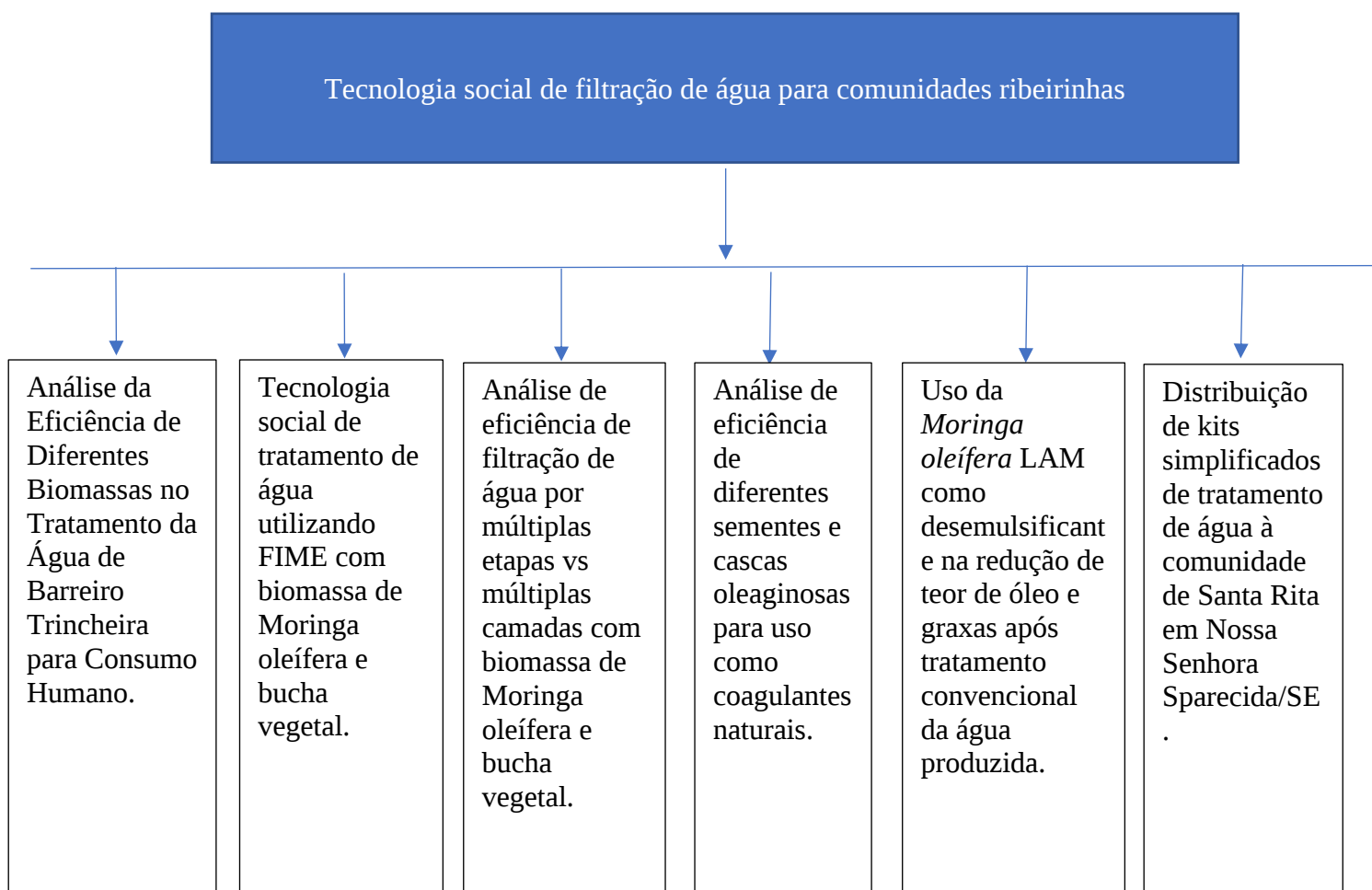


Fonte: (A) Wikipedia, 2020; (B) Autor, 2022.

4.2 FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE PESQUISA

O fluxograma da figura 10, apresenta os 6 artigos desta tese, com seus respectivos títulos.

Figura 10: Fluxograma de etapas de pesquisa.



Fonte: Autor, 2022.

4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

As análises foram efetuadas em triplicatas com algumas exceções para o artigo 4, conforme solicitado, as quais as análises foram efetuadas em quintuplicatas, sendo os valores sempre apresentados em média e desvio padrão.

Para as análises estatísticas, teste de hipóteses e construção dos gráficos, foi utilizado o software prism 8 da Graphpad com teste unidirecional ANOVA e valor de significância de 5%

para avaliação das diferenças estatísticas, sendo as letras iguais utilizadas para aquelas amostras que não são significativamente diferentes e as letras diferentes para aquelas amostras que são significativamente diferentes do ponto de vista estatístico.

As médias dos grupos foram comparadas simultaneamente, com apenas um fator na variável independente, sendo as variáveis consideradas independentes, contínuas, de distribuição normal e suas variâncias são homogêneas.

As análises físico-químicas e microbiológicas efetuadas no trabalho estão listadas no quadro 2 abaixo, com suas respectivas unidades e normas.

Quadro 2: Métodos de análises físico-químicas e microbiológicas:

Parâmetro	Método	Unidade	Referência
pH	Método potenciométrico	adimensional	NBR 7353
Cor	Método colorimétrico	UC	SM 2120
Turbidez	Método nefelométrico	uT	SM 2130 B
Condutividade	Método condutométrico	(μ S)/cm	SM 2510 B
Sólidos Totais Dissolvidos	Método condutométrico	ppm	SM 2540
Alcalinidade Total e Parcial	Volumetria de neutralização	ppm CaCO_3	SM 2320 B
Acidez Total e Carbônica	Volumetria de neutralização	ppm CaCO_3	SM 2310
Dureza total, de Cálcio e Magnésio	Volumetria de complexação	ppm CaCO_3	SM 2340 B
Cloretos	Volumetria de precipitação	ppm Cl^-	SM 4500
Sódio, Lítio e Potássio	Espectrofotometria de chama	ppm	SM 3111
Coliformes Totais	Método de tubos múltiplos	NMP/100ml	SM 9221
<i>Escherichia coli</i>	Método de tubos múltiplos	NMP/100ml	SM 9221

4.4 CONSTRUÇÃO DA CARTILHA

A construção da cartilha foi realizada após a obtenção dos resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da água do barreiro trincheira, após os resultados da utilização da MO como coagulante natural e da desinfecção da água com o hipoclorito de sódio. Depois de terem sido efetuadas todas estas etapas e com seus respectivos resultados, iniciou-se o processo de construção da cartilha, tendo em vista que era necessário identificar a qualidade inicial da

água bruta e a eficácia do processo simplificado de tratamento, para garantir a segurança da água para a população.

Com estes resultados, pode-se então dar início a construção colaborativa da cartilha com a participação dos membros do sindicato dos produtores rurais do município de Nossa Senhora Aparecida-SE.

A cartilha tem como objetivo orientar a comunidade sobre o tratamento simplificado da água para melhorar a sua qualidade, devendo ser utilizada prioritariamente para hidratação dos animais, mas podendo ser ampliada, quando necessário, para consumo humano.

A cartilha foi elaborada através da metodologia Pesquisa-ação participativa (PAR) de Fals Borda, onde a comunidade foi diretamente envolvida no processo, sendo as pessoas participantes ativos na sua elaboração, baseadas em seus conhecimentos e experiências. (FALS BORDA, 2013).

Foi escolhido esta metodologia pela sua participação ativa da comunidade, valorização do conhecimento local e seu foco na transformação social, que tem total convergência com a tecnologia social do projeto. Para isto, foi seguido as etapas básicas do PAR que são: Identificação do problema; Planejamento da ação; Implementação das ações; Observação e Registros; Reflexão e Avaliação e Reinício do Ciclo.

Após realizadas essas etapas, optou-se por uma cartilha de linguagem coloquial, lúdica, com figuras, explicação simplificada, mas sobretudo com o contato do autor da cartilha, para que fosse contactada sempre que necessário, além de uma rotina de visitas à comunidade para análises periódicas e melhoria contínua, conforme sugerida pela metodologia utilizada.

CAPÍTULO II

RESULTADOS OBTIDOS – ARTIGO 1:

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES BIOMASSAS NO TRATAMENTO DA ÁGUA DE BARREIRO TRINCHEIRA PARA CONSUMO HUMANO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES BIOMASSAS NO TRATAMENTO DA ÁGUA DE BARREIRO TRINCHEIRA PARA CONSUMO HUMANO

Luam de Oliveira Santos¹
Inajá Francisco de Sousa²
Gabriel Francisco da Silva³
Silvanito Alves Barbosa⁴

RESUMO

Objetivo: Este projeto tem como objetivo avaliar a melhor biomassa no tratamento da água para consumo humano entre a moringa oleífera e a bucha vegetal.

Referencial teórico: Para melhor compreensão do projeto dividimos o referencial teórico nos seguintes tópicos: uso da moringa oleífera como forma alternativa ao tratamento da água; uso da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) como forma alternativa ao tratamento da água; tecnologia de filtração lenta e tecnologia social.

Método: Esta pesquisa pode ser classificada como pesquisa aplicada, quantitativa, experimental e estudo de caso. O projeto foi realizado em parceria da UFS com o IFS onde foram analisados parâmetros da água bruta, água coagulada, assim como da água após os tratamentos com as biomassas. Os parâmetros analisados foram, pH, cor aparente, turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli*.

Resultados e conclusão: Nos resultados encontrados podemos perceber redução de até 97% da turbidez, 97,13% na cor aparente, 99,12% nos coliformes totais e *Escherichia coli* após o tratamento com a semente e biomassa de moringa oleífera.

Implicações da pesquisa: Esta tecnologia pode ser de grande valor social para populações ribeirinhas terem acesso à água segura para consumo humano, além da contribuição acadêmica servindo de base na seleção de biomassas mais eficientes na utilização de filtros lentos.

Originalidade/valor: Esta pesquisa é inovadora ao utilizar a biomassa de MO em conjunto com a bucha vegetal como biomassa para filtração lenta além de trazer uma nova perspectiva metodológica para pesquisas acadêmicas com o uso de biomassas em filtração lenta.

Palavras-chave: Bucha Vegetal; Desenvolvimento Sustentável; Filtração lenta; Moringa Oleífera; Tecnologia Social.

¹ Universidade Federal de Sergipe. Aracaju, Sergipe, Brasil. E-mail: luam.santos@ifs.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3200-8974>

² Universidade Federal de Sergipe. Aracaju, Sergipe, Brasil. E-mail: inajafrancisco@academico.ufs.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6732-0963>

³ Universidade Federal de Sergipe. Aracaju, Sergipe, Brasil. E-mail: gabriel.silva@ufs.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9622-2518>

⁴ Instituto Federal de Sergipe. Aracaju, Sergipe, Brasil. E-mail: silvanito.barbosa@ifs.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0712-7533>

EFFICIENCY'S ANALYSIS OF DIFFERENT BIOMASSES IN THE TREATMENT OF "BARREIRO TRINCHEIRA" WATER FOR HUMAN CONSUMPTION

Purpose: This project aims to evaluate the best biomass in the treatment of water for human consumption between moringa oleifera and vegetable loofah.

Theoretical framework: For a better understanding of the project, we will divide our theoretical framework into the following topics: use of moringa oleifera as an alternative way to treat water; use of loofah (*Luffa cylindrica*) as an alternative to water treatment; slow filtration technology and social technology.

Method/design/approach: This research can be classified as applied, quantitative, experimental and case study research. The project was carried out in partnership between UFS and IFS where parameters of raw water, coagulated water, as well as water after treatments with biomass were analyzed. The parameters analyzed were pH, apparent color, turbidity, total coliforms and Escherichia coli.

Results and conclusion: In the results found, we can see a reduction of up to 97% in turbidity, 97.13% in apparent color, 99.12% in total coliforms and escherichia coli after treatment with moringa oleifera seed and biomass..

Research implications: This technology can be of great social value for riverside populations to have access to safe water for human consumption, in addition to the academic contribution serving as a basis for the selection of more efficient biomass in the use of slow filters.

Originality/value: This technology can be of great social value for riverside populations to have access to safe water for human consumption, in addition to the academic contribution serving as a basis for the selection of more efficient biomass in the use of slow filters.

Keywords: Moringa Oleifera; Slow Filtration; Social Technology; Sustainable Development; Vegetable Loofah.

RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



1 INTRODUÇÃO

O projeto tem como tema tecnologias sociais e desenvolvimento sustentável sendo a linha de pesquisa a análise da eficiência de biomassas no tratamento da água para consumo humano, tendo como motivação a redução do uso de produtos químicos no tratamento da água além de possibilitar maior autonomia de populações ribeirinhas no consumo de água de qualidade de forma simples e segura.

A questão que permeia esta pesquisa é: seria possível criar um filtro de múltiplas camadas de garrafa PET utilizando somente brita, areia e biomassa que seja eficaz no tratamento da água de barreiro trincheira da comunidade de Santa Rita, tornando-a segura para consumo humano?

Este trabalho é justificado pela sua contribuição social, técnico e científico pois, além da análise da melhor biomassa a ser utilizada pela comunidade no tratamento da água do barreiro trincheira, foi proposto uma tecnologia social de fácil construção e montagem pela comunidade que traz significativa melhoria na qualidade da água que, juntamente com outras tecnologias usualmente utilizadas pela comunidade como filtro de barro e hipoclorito de sódio tornam a água de qualidade e segura para consumo humano.

A hipótese desse projeto é: Um filtro feito de garrafa PET usando a *Moringa oleifera* e/ou a bucha vegetal no tratamento da água de barreiro trincheira pode ser eficaz no tratamento da água para consumo humano.

Para isto, utilizaremos a MO uma planta tropical que pertence à família *Moringaceae*. Em torno de catorze espécies já foram identificadas e todas possuem propriedades coagulantes em diferentes graus de coagulação (OLADOJA e PAN, 2015).

Para Oliveira, Nascimento, Gonçalves, Lima e Costa (2018) a utilização da semente da moringa oleífera (MO) apresenta-se como uma boa alternativa na utilização como agente coagulante sendo indicada na tecnologia do sistema de tratamento de água, no processo de clarificação da água, sendo um produto biodegradável e que, portanto, colabora para a preservação do meio ambiente.

A MO possui propriedades poliméricas naturais que vem notoriamente ganhando destaque no tratamento da água pela sua contribuição ao desenvolvimento sustentável através da redução do uso de produtos químicos, atuando como agente clarificador devido a presença de uma proteína catiônica que desestabiliza as partículas contidas em um meio líquido. (MADRONA, SCAPIM, TONON, REIS, PARAISO e BERGAMASCO 2017).

Ela possui ativos biocoagulantes ativos que podem ser utilizados no tratamento de clarificação da água, filtração, sedimentação e floculação da água, reduzindo o uso de coagulantes de base química (CAMACHO, SOUSA, BERGAMASCO e TEIXEIRA, 2017), (VALVERDE, PACCOLA, POMINI, YAMAGUCHI e BERGAMASCO, 2018).

Estudos mostram que os usos da MO podem reduzir em até 85% a turbidez da água, além de ser capaz de remover de 40% a 50% também da matéria orgânica presente na água (CAMACHO *et al.*, 2017).

Resultados positivos no tratamento da potabilização da água também foram encontrados por Madrona *et al.* (2017), no uso da *Moringa oleifera lam* num processo combinado de Coagulação/Floculação com Ultrafiltração obtendo água de alto nível de qualidade para consumo humano após o processo.

A bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) é um fruto encontrado em todo território brasileiro, popularmente conhecida como esponja vegetal, bucha de metro, esfregão, maxixe do mato, entre outros nomes. Ela é pertencente à mesma família do melão, melancia, pepino e abóboras.

De fácil cultivo, trata-se de um produto que não agride ao meio ambiente por ser biodegradável e de fonte renovável. (LIMA, 2014).

Algumas pesquisas como a de Vianna e Melo (2019) verificam que o fruto seco descascado da *Luffa cylindrica*, comumente conhecida como bucha vegetal podem ser utilizados como uma alternativa adequada e sustentável para o tratamento de esgoto doméstico, podendo ser utilizados como meio suporte em filtros biológicos percoladores.

Estudos realizados por Freitas, Freitas, Silva, Lopes e Neves (2015), no tratamento da água contaminada por bactérias específicas, mostram que a bucha vegetal é eficiente como adsorvente no tratamento alternativo da água contaminada, tendo sua maior eficiência em pH mais básico e sem agitação da água.

Para Agra (2009), o uso da bucha vegetal como material de suporte, apresentou vantagens por ser um material leve, superfície porosa e ocupar volume de apenas 8% do reator. O que, de certa forma, também foi evidenciado por Freitas *et al.* (2015) pois em seus resultados ele percebe que o aumento da massa do adsorvente (bucha vegetal) é inversamente proporcional à qualidade do tratamento, sendo assim, a melhor condição é com quantidade menor de massa de adsorvente.

Os sistemas de tecnologias de filtração lentas foram selecionados para estudo neste projeto devido à sua simplicidade de construção e operação, ideais para uso como tecnologia

social por parte de populações com limitação de acesso à água de qualidade. Podendo-se fazer uso de recursos locais, dispensa mão-de-obra especializada e geralmente não se faz necessário o uso de produtos químicos prévios ao filtro. (NAKAMOTO; GRAHAM; COLLINS; GIMBEL, 2014; VERAS; DI BERNARDO; 2008).

Na filtração lenta, a água passa pelo sistema de filtragem com baixa vazão, ou seja, baixa taxa de filtração, em torno de 3 a 6 m³/m².dia e utilizam, normalmente, grãos de areias de diferentes tamanhos que variam geralmente entre 0,15 e 1,00 mm. (VERAS; DI BERNARDO; 2008).

Esta baixa taxa de filtração permite desde a remoção de materiais suspensos através dos mecanismos físicos (as barreiras como areia, brita, entre outros), até a remoção de materiais biológicos e patógenos, principalmente pela atividade biológica na *schmutzdecke*. (HUISMAN; WOOD, 1974, p. 15-26).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico apresentaremos o referencial teórico que seguiu de base para nossa pesquisa, sendo este dividido nos seguintes tópicos: uso da *Moringa oleifera* como forma alternativa ao tratamento da água; uso da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) como forma alternativa ao tratamento da água; tecnologia de filtração lenta e tecnologia social.

2.1 Uso da moringa oleífera como forma alternativa ao tratamento da água

A *Moringa Oleifera* (MO) é uma planta tropical que pertence à família *Moringaceae*. Em torno de catorze espécies já foram identificadas e todas possuem propriedades coagulantes em diferentes graus de coagulação (OLADOJA e PAN, 2015).

A MO possui propriedades poliméricas naturais que vem notoriamente ganhando destaque no tratamento da água pela sua contribuição ao desenvolvimento sustentável através da redução do uso de produtos químicos, atuando como agente clarificador devido a presença de uma proteína catiônica que desestabiliza as partículas contidas em um meio líquido. (MADRONA *et al.*, 2017).

Ela possui ativos biocoagulantes ativos que podem ser utilizados no tratamento de clarificação da água, filtração, sedimentação e floculação da água, reduzindo o uso de coagulantes de base química (CAMACHO *et al.*, 2017), (VALVERDE *et al.*, 2018).

Estudos mostram que os usos da MO podem reduzir em até 85% a turbidez da água, além de ser capaz de remover de 40% a 50% também da matéria orgânica presente na água (CAMACHO *et al.*, 2017).

Segundo Nordmark, Bechtel, Riley, Velegol, Velegol, Przybycien e Tilton (2018), os resultados de suas pesquisas concluem que proteínas de moringa oleífera adsorvem irreversivelmente com relação ao enxágue no modelo de água utilizado, sugerindo que a areia modificada com as proteínas da moringa é estável em uso repetido de filtração da água, tornando assim um dispositivo de filtração de água simples, eficaz e sustentável.

Além dessas características, pesquisas como a de Viotti, Moreira, Santos, Bergamasco, Vieira e Vieira (2019), apontam para a eficiência promissora e de baixo custo no uso da vagem da moringa oleífera na adsorção de compostos químicos como o diclofenaco no tratamento da água.

Várias são as formas que podemos trabalhar com a moringa oleífera podendo ser a semente, vagem, farinha, torta e até mesmo como carvão ativado. Ruelas-Leyva, Contreras-Andrade, Sarmiento-Sánchez, Licea-Claverie, Jiménez-Lam, Cristerna-Madrigal e Picos-

Corrales (2017), trazem em suas pesquisas resultados muito promissores quanto ao uso da farinha da *Moringa oleifera* quando comparada com o coagulante convencional a quitosana, sendo a moringa eficiente na remoção de Pb e Mn além da redução na turbidez de águas de rios e residuais agrícolas, sendo que em algumas situações a farinha da moringa oleífera teve resultados superiores à da quitosana.

Resultados positivos no tratamento da potabilização da água também foram encontrados por Madrona *et al.* (2017), no uso da *Moringa oleifera lam* num processo combinado de Coagulação/Floculação com Ultrafiltração obtendo água de alto nível de qualidade para consumo humano após o processo.

2.2 Uso da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) como forma alternativa ao tratamento da água

A bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) é um fruto encontrado em todo território brasileiro, popularmente conhecida como esponja vegetal, bucha de metro, esfregão, maxixe do mato, entre outros nomes. Ela é pertencente à mesma família do melão, melancia, pepino e abóboras.

De fácil cultivo, trata-se de um produto que não agride ao meio ambiente por ser biodegradável e de fonte renovável. (LIMA, 2014).

Considera-se que a propagação inicial do gênero *Luffa* ocorreu no novo e velho mundo, porém com as espécies cultivadas que foram originárias da Ásia, mais especificamente da Índia (HEISER & SCHILLING, 1990, *apud.*, BISOGNIN, 2002).

Algumas pesquisas como a de Vianna e Melo (2019) verificam que o fruto seco descascado da *Luffa cylindrica*, comumente conhecida como bucha vegetal podem ser utilizados como uma alternativa adequada e sustentável para o tratamento de esgoto doméstico, podendo ser utilizados como meio suporte em filtros biológicos percoladores. A autora ainda afirma que a sua degradação é lenta devido à sua função natural de manter as sementes para a sua propagação.

Estudos realizados por Freitas *et al.* (2015), no tratamento da água contaminada por bactérias específicas, mostram que a bucha vegetal é eficiente como adsorvente no tratamento alternativo da água contaminada, tendo sua maior eficiência em pH mais básico e sem agitação da água.

Para Agra (2009), o uso da bucha vegetal como material de suporte, apresentou vantagens por ser um material leve, superfície porosa e ocupar volume de apenas 8% do reator.

O que, de certa forma, também foi evidenciado por Freitas *et al.* (2015) pois em seus resultados ele percebe que o aumento da massa do adsorvente (bucha vegetal) é inversamente proporcional à qualidade do tratamento, sendo assim, a melhor condição é com quantidade menor de massa de adsorvente.

2.3 Tecnologia de filtração lenta

Os sistemas de tecnologias de filtração lentas foram selecionados para estudo neste projeto devido à sua simplicidade de construção e operação, ideais para uso como tecnologia social por parte de populações com limitação de acesso à água de qualidade. Podendo-se fazer uso de recursos locais, dispensa mão-de-obra especializada e geralmente não se faz necessário o uso de produtos químicos prévios ao filtro. (NAKAMOTO; GRAHAM; COLLINS; GIMBEL, 2014; VERAS; DI BERNARDO; 2008).

Na filtração lenta, a água passa pelo sistema de filtragem com baixa vazão, ou seja, baixa taxa de filtração, em torno de 3 a 6 m³/m².dia e utilizam, normalmente, grãos de areias de diferentes tamanhos que variam geralmente entre 0,15 e 1,00 mm. (VERAS; DI BERNARDO;

2008). Esta baixa taxa de filtração permite desde a remoção de materiais suspensos através dos mecanismos físicos (as barreiras como areia, brita, entre outros), até a remoção de materiais biológicos e patógenos, principalmente pela atividade biológica na *schmutzdecke*. (HUISMAN; WOOD, 1974, p. 15-26).

A *schmutzdecke*, designa a membrana biológica, é a região da interface entre o elemento filtrante e a água, é nessa região onde ocorre o acúmulo de material retido e sintetizado pelas bactérias. (BARRETT, BRYCK, JANONIS, 1991). Essa fina camada viscosa por onde a água passa primeiramente é grande responsável pela eficiência da filtração lenta e que pode demorar desde dias a semanas para sua formação, dependendo da qualidade da água afluyente e do meio filtrante no período de amadurecimento, período decorrido entre o início do funcionamento até a formação da *schmutzdecke*, sendo que somente após esse período é que há produção de efluente com qualidade satisfatória. (HUISMAN; WOOD, 1974, p. 15-26; DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999, p. 27).

Estudos crescem em relação ao uso da filtração lenta à nível domiciliar, onde comunidades que não possuem acesso ao sistema público de abastecimento de água podem ter uma alternativa que reduz significativamente o risco de incidência de doenças diarreicas. (LOGSDON; KOHNE; ABEL, 2002; NAKAMOTO *et al.*, 2014, *apud.*, SOUZA, 2020 p. 35-36).

A tecnologia de filtração lenta baseia-se basicamente nos mecanismos de filtração de transporte, aderência e purificação através dos microrganismos, destacando ainda que a principal retenção de impurezas ocorre no topo da unidade o que facilita sua manutenção. (HUISMAN; WOOD, 1974; MACIEL, 2018, p. 43).

2.3 Tecnologia social

Como primeira definição utilizaremos aquela do projeto de lei do senado de número 111 de 2011 que institui a política nacional de tecnologia social onde afirma que:

conjunto de atividades desenvolvidas mediante processo coletivo de organização, desenvolvimento e aplicação, que podem aliar saber popular, organização social e conhecimento técnico-científico, voltadas para a inclusão social e a melhoria da qualidade de vida e geradoras de efetiva transformação social, relacionadas ao planejamento, pesquisa, desenvolvimento, criação, aplicação, adaptação, difusão e avaliação de: a) técnicas, procedimentos e metodologias; b) produtos, dispositivos, equipamentos e processos; c) serviços; d) inovações sociais organizacionais e de gestão. (BRASIL, 2011).

O ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações traz ainda que o conceito de tecnologia social estabelece 4 dimensões, sendo elas:

- Conhecimento, ciência, tecnologia. Tem como ponto de partida os problemas sociais; é feita com organização e sistematização além de que introduz ou gera inovação nas comunidades.
- Participação, cidadania e democracia. Enfatiza a cidadania e a participação democrática; adota a metodologia participativa nos processos de trabalho e impulsiona sua disseminação e reaplicação.
- Educação. Realiza um processo pedagógico por inteiro; se desenvolve num diálogo entre saberes populares e científicos além de ser apropriada pelas comunidades, que estas ganham autonomia.
- Relevância social. É eficaz na solução de problemas sociais; tem sustentabilidade ambiental; provoca a transformação social.

A Tecnologia social pode ser vista uma proposta de intervenção na sociedade que ocorra, de forma participativa, a construção do conhecimento, ciência e tecnologia. (RTS, 2006 *apud.*, CRUZ; MELO; MALAFAIA e TENÓRIO, 2011).

Outro aspecto importante é a inovação social, que pode ser considerada como um meio para o desenvolvimento local que só pode ser alcançado a partir do reconhecimento das necessidades e potencialidades da comunidade. (JUSTEN; SILVA; TAKAHASHI; SEGATTO, 2020).

3 MÉTODO

Este projeto tem método de abordagem hipotético-dedutivo, podendo ser classificada como pesquisa aplicada, quantitativa, exploratória, experimental e estudo de caso. Os meios utilizados serão, pesquisa de campo, laboratório, bibliográfico, experimental e estudo de caso.

3.1 Caracterização do objeto de estudo

A coleta da água para experimentos ocorreu no município de Nossa Senhora Aparecida região agreste central do estado de Sergipe no povoado de Santa Rita em um barreiro trincheira, localização latitude: -10,3335666; longitude: -37,5071187 conforme figura 1, usado pela população para irrigação e consumo de hidratação dos animais.



Figura 1. Barreiro Trincheira na comunidade de Santa Rita na cidade de Nossa Senhora Aparecida

Fonte: Autores, 2022.

Foi coletada a água do barreiro e alimentado um tonel de 220 litros que foi utilizado posteriormente como fonte de água bruta para alimentação dos filtros utilizados nas análises.

3.2 Análises Físico Químicas e Microbiológicas

Foi efetuada algumas análises físico-químicas diretamente no barreiro trincheira através de uma sonda multiparâmetro modelo horiba U-52 e os parâmetros analisados in loco foram: temperatura, pH, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e salinidade, sendo que além desses, foram analisados em laboratório parâmetros de cor, acidez total, acidez carbônica, dureza total, dureza de cálcio, dureza de magnésio, alcalinidade, cloretos, sódio, lítio e potássio, além das análises microbiológicas de coliformes totais e escherichia coli. Para este artigo, separamos para discussão as análises de cor, turbidez, coliformes totais, escherichia coli e pH, como podemos verificar na tabela 1.

Tabela 1 – Métodos de análises físico-químicas e microbiológicas

Parâmetro	Método
pH	Método potenciométrico
Cor	Método colorimétrico
Turbidez	Método nefelométrico
Coliformes totais	Método de tubos múltiplos
Escherichia coli (EC)	Método de tubos múltiplos

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

3.3 Teste de Jarro

Antes da comparação da eficiência das biomassas no tratamento da água, foi efetuado previamente a coagulação da água bruta utilizando semente de moringa descascada, triturada em liquidificador e peneirada em peneira doméstica de malha com abertura de 2,5mm até a obtenção de uma farinha fina, conforme figura 2.



Figura 2. Processo de beneficiamento da semente de moringa para obtenção do coagulante em pó.

Fonte: Autores, 2022.

Para identificar a concentração ideal de coagulante foi efetuado o teste de jarro, conforme figura 3, com concentrações de 0,6 g/L, 0,8 g/L e 1,0 g/L, agitação rápida em 299 rpm por 2 minutos e agitação lenta em 45 rpm por 10 minutos e período de decantação de 2 horas. Após esse procedimento, foi analisado coletado o sobrenadante de cada becker de vidro e analisado os parâmetros de cor aparente e turbidez. Como podemos verificar na tabela 2 a seguir, encontrando-se que a concentração ideal de coagulante é de 0,8 g/L. Sendo esta concentração utilizada posteriormente para coagulação da água bruta.

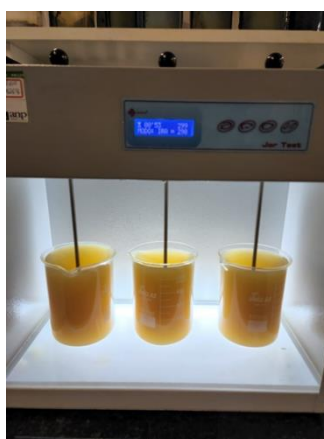


Figura 3. Processo de beneficiamento da semente de moringa para obtenção do coagulante em pó.

Fonte: Autores, 2022.

Tabela 2 – Métodos de análises físico-químicas e microbiológicas

	0,6 g/L		0,8 g/L		1,0 g/L	
	Turbidez (NTU)	Cor (UC)	Turbidez (NTU)	Cor (UC)	Turbidez (NTU)	Cor (UC)
	31,8	72,1	28,3	63,2	30,9	68,6
	31,8	72,3	28,3	63,2	30,9	68,8
	31,7	72,1	28,3	62,7	30,9	68,7
média	31,77	72,17	28,3	63,03	30,9	68,7

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

3.4 Análise da Eficiência das Biomassas

Para comparação da eficiência foi utilizado 5 garrafas PET exatamente iguais, em modelo e tamanho, cortadas no fundo, com altura de 30 cm e diâmetro de 9cm, sendo a tampa furada com diversos furos feitos com broca de 1mm, dispostas da seguinte forma, conforme figura 4:

- 5 cm de coluna de água, 5 cm de brita fina, 10 cm de areia grossa, 10 cm de areia fina;
- 5 cm de coluna de água, 5 cm de brita fina, 5 cm de areia grossa, 5 cm de areia fina; 5 cm de bucha; 5 cm de moringa;
- 5 cm de coluna de água, 5 cm de brita fina, 5 cm de areia grossa, 5 cm de areia fina; 10 cm de moringa;
- 5 cm de coluna de água, 5 cm de brita fina, 5 cm de areia grossa, 5 cm de areia fina; 10 cm de bucha triturada;
- 5 cm de coluna de água, 5 cm de brita fina, 5 cm de areia grossa, 5 cm de areia fina; 10 cm de bucha cortada;

A biomassa de moringa é feita da torta de moringa que consiste na vagem triturada em forrageira posteriormente seca e armazenada. A biomassa da bucha cortada foi feita com a bucha vegetal cortada em pedaços de aproximadamente 5 cm cada. A biomassa da bucha triturada foi feita com a bucha vegetal triturada em forrageira assim como a moringa.

Vale salientar a importância da lavagem com água limpa do sistema anterior a passagem da água analisada pois o próprio sistema antes da lavagem contribui muito para o aumento da cor e turbidez da água após a filtragem.



Figura 4. Filtros de Garrafa PET para análises da eficiência da biomassa.

Fonte: Autores, 2022.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente apresentar-se-á a caracterização físico-química da água bruta, água coagulada e das amostras após o processo de filtração em relação ao seu pH, cor e turbidez, conforme tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Caracterização físico-química das amostras.

Amostra	Cor	Turbidez	pH
Água bruta	1864,00	383,67	8,50
Água Coagulada	63,03	28,3	7,34
Moringa	53,42	11,54	7,15
Bucha + Moringa	59,38	15,04	7,05
Bucha Triturada	55,4	20,38	7,11
Bucha Cortada	59,8	17,54	7,16
Areia+Brita	63,04	18,14	7,31

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Com esta caracterização inicial pode-se perceber que a coagulação com a farinha de semente de MO na concentração de 0,8 g/L na água bruta proveniente do barreiro trincheira foi responsável pela redução de 92,62% na turbidez e de 96,62% na cor. Estes resultados estão compatíveis com Lima (2015) que obteve redução de aproximadamente 100% na turbidez, Madrona *et al.* (2017) que também obteve redução de aproximadamente 99% nos parâmetros analisados após o tratamento utilizando a MO e Valverde *et al.* (2018) que obteve redução de 70% de turbidez e 75% de cor aparente com a utilização da semente de MO como agente coagulante.

Após feita a caracterização inicial, apresentaremos a tabela 4 a seguir com os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas após o tratamento com filtros em questão.

Tabela 4 – Caracterização física das amostras

	B _{bruta}	MO	B+MO	BT	BC	Areia + Brita
pH	8,50	7,15	7,05	7,11	7,16	7,31
Turbidez (NTU)	383,67	11,54	15,04	20,38	17,54	18,14
Cor (UC)	1864	53,42	59,38	55,4	59,8	63,04
Coliformes totais (NMP/100ml)	1600	14	25	>1600	>1600	1600
EC (NMP/100ml)	350	14	25	70	>1600	1600
Vazão (l/h)		9,11	10,43	7,2	2,02	1,17

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Legenda: MO: moringa; B: bucha; BT: bucha triturada; BC: bucha cortada; NMP: Número mais provável; EC: escherichia coli

Com estes resultados, podemos perceber que após o tratamento de coagulação com sementes de MO e tecnologia de filtração lenta com e sem biomassa, encontramos reduções significativas nos parâmetros de cor, turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli*, sendo reduzido em até 97% a turbidez, 97,13% a cor, 99,12% nos coliformes totais e 96% na redução da *Escherichia coli*, condizentes com os resultados de Madrona *et al.* (2017) que em sua pesquisa obteve redução de 99,99% de coliformes totais e *Escherichia coli* utilizando MO no processo de ultrafiltração por membrana para tratamento da água e na pesquisa de Silva, Paterniani, Francisco E Silva (2011) obteve redução de 72,6% utilizando o coagulante da MO no sistema auxiliar pré-filtração em múltiplas etapas.

A seguir apresenta-se alguns parâmetros que serão analisados isoladamente para melhor discussão dos resultados e posteriormente apresentaremos a análise de qual biomassa consideramos a melhor entre as estudadas para utilizarmos no filtro de múltiplas etapas e múltiplas camadas em escala maior.

4.1 Cor, Turbidez e pH

Os parâmetros de cor, turbidez e pH foram analisados em gráficos, apresentados na figura 5 a seguir, separados para identificar a influência dos elementos filtrantes na alteração destes parâmetros e para isto foi utilizado o software prism 9 da Graphpad com teste unidirecional ANOVA e significância de 5% para análises das diferenças estatísticas entre os parâmetros.

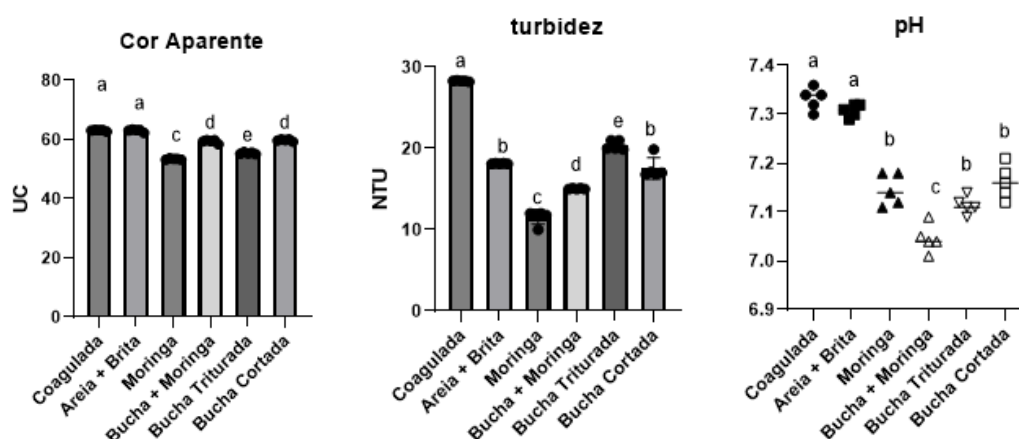


Figura 5. Gráficos de cor aparente, turbidez e pH das amostras de água somente coagulada e após as respectivas filtrações.

Fonte: Autores, 2022.

Para análise dos gráficos, utilizamos letras iguais para amostras que não são significativamente diferentes do ponto de vista estatístico e letras diferentes para amostras que são significativamente diferentes estatisticamente.

Podemos perceber que o filtro de brita e areia não contribuiu significativamente para a redução da cor aparente da amostra, o que pode ser explicado pelo fato do filtro ser novo e ainda não ter sido formada a região da *schmutzdecke*, camada de biofilme presente na areia dos filtros lentos amadurecidos que é responsável por grande parte do mecanismo de purificação da água nos filtros lentos. Já o filtro com a biomassa somente da moringa foi a que obteve menor resultado de cor aparente entre as amostras, sendo este elemento filtrante responsável pela redução de 15,25% da cor aparente em comparação com a água coagulada. Isso nos mostra uma significativa contribuição do poder adsorptivo da moringa como elemento filtrante e o mesmo podemos perceber em relação ao parâmetro da turbidez.

No que diz respeito à turbidez, percebemos que o filtro de brita e areia já tem redução significativa nesse parâmetro em relação à água coagulada, isso se deve aos mecanismos de filtração por aderência e por transporte que reduzem particulados presentes na água. Porém, mesmo assim, temos uma significativa contribuição da moringa na redução deste parâmetro tanto em relação à água coagulada como em relação ao filtro de brita e areia sendo que a moringa reduziu em 36,38% a turbidez quando comparada com o filtro de brita e areia e em 59,22% quando comparada com a água coagulada. Além disso, também podemos perceber sua contribuição na redução da turbidez no filtro de bucha com moringa tendo este uma redução de 26,2% quando comparado com o filtro de bucha triturada, sendo este o menos eficiente na redução da turbidez mesmo quando comparado com o filtro de bucha cortada.

O pH em todas as amostras se mantém na faixa da neutralidade para básico, sendo que o filtro de brita e areia não contribuiu significativamente para a alteração no pH enquanto percebe-se que a bucha e a moringa trazem uma contribuição significativa para a redução do pH, sendo que a combinação de bucha e moringa é a biomassa que mais reduziu o pH mostrando a interferência dessas biomassas tanto isoladamente como quando estão em conjunto. Sendo que a forma como está disposta a bucha, seja triturada, seja cortada não alteram de forma significativa o pH das amostras.

4.2 Contribuição das biomassas na desinfecção da água

Podemos perceber que, mesmo nenhuma destas biomassas, nestes casos estudados, sendo completamente eficientes na desinfecção da água, obtivemos uma redução significativa nos parâmetros de coliformes totais e EC nos filtros que contém a moringa como biomassa, podendo ser visto isto na tabela 4 no filtro de bucha e moringa e no filtro de moringa, o que mais uma vez nos mostra o poder adsorptivo da moringa como elementos filtrante. Na utilização somente da moringa obtivemos uma redução de 99,12% de coliformes totais e 92,86% de EC. Na utilização do filtro de bucha e moringa, obtivemos uma redução de 98,44% de coliformes totais e 92,86% de EC.

A bucha como elementos filtrante não se mostrou eficiente na redução de coliformes, não sendo, dessa forma, seu uso isolado indicado, seja da forma triturada ou cortada, sendo que a bucha triturada teve uma redução significativa da EC na amostra.

Em síntese, em relação a redução de microorganismos vemos na moringa um poder significativo de desinfecção, sendo um importante elemento filtrante na tecnologia social de

filtração de água, seja ela isolada como biomassa, seja ela combinada com a bucha, porém, vimos neste projeto que a mesma não foi capaz de promover a total desinfecção da água, não sendo indicado portanto seu uso isolado, podendo esta vir a ser complementada pela introdução de hipoclorito de sódio na água para seu consumo seguro por parte das comunidades ribeirinhas.

4.3 Análise geral das biomassas como elemento filtrante

Analisando de forma geral os 5 diferentes filtros com as biomassas selecionadas, podemos perceber que a moringa se mostrou a mais eficiente na redução da cor, turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli*, mas também vimos na combinação de bucha vegetal e moringa uma biomassa muito interessante a ser utilizada quando introduzimos na análise a variável de vazão, pois obtivemos neste filtro a maior vazão, além da bucha vegetal também contribuir para a não colmatção do filtro que é comumente provocada pela torta da moringa ao entrar em contato com a água, servindo a bucha de suporte para evitar o entupimento da saída de água.

Desta forma, quando consideramos a vazão e a redução no risco de colmatção do filtro, além das interessantes reduções de cor aparente, turbidez, coliformes totais e EC, selecionamos a biomassa de bucha e moringa como a melhor biomassa a ser utilizada no Filtro de Múltiplas Etapas adaptado que está em construção sendo que a proporção de moringa será superior a de bucha vegetal.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho podemos concluir que a moringa oleífera se apresenta como a melhor biomassa para compor o meio filtrante de filtros lentos em conjunto com a brita, areia grossa, areia fina, tendo eficiência no tratamento, juntamente com a coagulação de semente de moringa, de 97% na redução da turbidez, 97,13% na redução de cor, 99,12% na redução de coliformes totais e 96% na redução de *Escherichia coli*. Apesar disso, vale salientar que nenhuma das filtrações efetuadas com garrafas PET ficaram dentro dos limites de potabilidade exigidos pela legislação, porém, podem ser efetuados tratamentos simples posteriores para tal como filtração com carvão ativado e desinfecção com hipoclorito de sódio.

Além da *Moringa oleífera*, o uso da bucha vegetal combinado com a moringa oleífera também se torna a opção mais interessante de biomassa como elementos filtrante pois a bucha vegetal evita o problema da colmatção dos filtros e aumenta a vazão da água na filtragem, devendo a moringa ser utilizada numa proporção maior que a bucha vegetal.

Também podemos perceber com este trabalho que o uso da bucha triturada e da bucha cortada somente não trouxeram grandes benefícios ao tratamento da água quando comparadas com os resultados encontrados com a filtração lenta com a areia e brita.

Respondendo à questão de pesquisa presente na introdução, esta tecnologia de forma isolada não foi eficaz na redução total dos parâmetros de qualidade da água de forma a torná-la segura para o consumo humano, porém, utilizando-a em conjunto com tecnologias de tratamento posterior já utilizadas pela comunidade, que são filtração no filtro de barro com vela contendo carvão ativado e prata coloidal e desinfecção com hipoclorito de sódio, pode-se tornar a água do barreiro trincheira segura para consumo humano.

Como recomendação de trabalhos futuros, propomos a construção de uma tecnologia social familiar de filtro adaptado de múltiplas etapas (FiME) sendo uma etapa de brita, uma etapa de filtro lento de areia e outra etapa de biomassa de moringa e bucha vegetal para que se

possa analisar seu desempenho e caso necessário que este seja complementado com o filtro de barro e desinfecção com hipoclorito de sódio para que comunidades sem acesso a água potável possam ter acesso à água segura e de qualidade para consumo humano.

REFERÊNCIAS

- AGRA, C.A. (2009) Tratamento de águas residuárias domésticas em reatores de biomassa dispersa e biomassa aderida Dissertação (Mestrado) - Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. Disponível em: https://silo.tips/queue/clelia-de-almeida-agra?&queue_id=-1&v=1652102630&u=MTM4LjEyMi44Ni4xMTQ= Acesso em 09 de maio de 2022.
- BARRETT, J. M.; BRYCK, J.; JANONIS, B. A. Manual of Design for Slow Sand Filtration. AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 1991. Disponível em: <https://www.joinforwater.ngo/en/manual-design-slow-sand-filtration> Acesso em: 17 de maio de 2022.
- Bisognin, Dilson Antônio Origin and evolution of cultivated cucurbits. Ciência Rural [online]. 2002, v. 32, n. 4 [Accessed 9 May 2022] , pp. 715-723. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000400028>>. Epub 03 Nov 2003. ISSN 1678-4596. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000400028>. Acesso em 09 de maio de 2022.
- BRASIL. Projeto de Lei nº 111, de 2011. Institui A Política Nacional de Tecnologia Social. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/99555>. Acesso em: 25 abr. 2022.
- CAMACHO, Franciele Pereira; SOUSA, Vânia Serrão; BERGAMASCO, Rosângela; TEIXEIRA, Margarida Ribau. The use of Moringa oleifera as a natural coagulant in surface water treatment. Chemical Engineering Journal, [S.L.], v. 313, p. 226-237, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894716317831>. Acesso em: 06 set. 2021.
- Cruz, B. de P. A., Melo, W. dos S., Malafaia, F. C. B., & Tenório, F. G. (2012). EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA E RESPONSABILIDADE SOCIAL: 20 ANOS DE EXPERIÊNCIA DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR. Environmental and Social Management Journal, 5(3), 03–16. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v5i3.450>. Acesso em: 11 setembro 2022.
- DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/aguas_de_abastecimento.pdf Acesso em: 16 de maio de 2022.
- FREITAS, Ana Maria Araújo de *et al.* TRATAMENTO DE ÁGUA POR ADSORÇÃO CONTAMINADA COM BACTÉRIA *Pseudomonas aeruginosa* USANDO BUCHA VEGETAL: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE pH, MASSA DE ADSORVENTE E AGITAÇÃO NO PROCESSO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE, 3., 2015, João Pessoa. Anais [...]. [S.L.]João Pessoa: Congestas, 2015. v. 3, p. 766-771. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2015/trabalhos/pdf/congestas2015-et-07-016.pdf>. Acesso em: 09 maio 2022.
- HEISER, C.B., SCHILLING, E.E. The genus *Luffa*: a problem in phytogeography. In: BATES, D.M., ROBINSON, R.W., JEFFREY, C. Biology and utilization of the Cucurbitaceae Ithaca and London : Cornell University, 1990. 120-133. 485p.
- HUISMAN, L.; WOOD, W. E. Slow sand filtration. Geneva, Belgium: World Health Organization, 1974. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38974/9241540370.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 16 de maio de 2022.
- Justen, GS, Morais-da-Silva, RL, Takahashi, ARW, & Segatto, AP (2020). INOVAÇÃO SOCIAL E DESENVOLVIMENTO LOCAL: UMA ANÁLISE DE META-SÍNTESE. Jornal de Gestão Ambiental e Social , 14 (1), 56–73. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v14i1.1902>
- LIMA, Caetano José de. Potencial Da Bucha Vegetal (*Luffa Cylindrica* Roemer) Na Produção E Características Do Néctar No Município De Sousa - PB. 2014. Disponível em:

https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFCG_0149961b40372ebc7b047243966d402d Acesso em: 09 de maio de 2022.

LIMA, N. M. de, Aplicação de Moringa oleífera no tratamento da água com turbidez, 2015. Dissertação (mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2015. 56 páginas.

LOGSDON, G s; KOHNE, R; ABEL, S; LABONDE, S. Slow sand filtration for small water systems. Journal Of Environmental Engineering And Science, [S.L.], v. 1, n. 5, p. 339-348, 1 set. 2002. Thomas Telford Ltd.. <http://dx.doi.org/10.1139/s02-025>. Acesso em: 16 de maio de 2022.

MACIEL, Paulo Marcos Faria. Filtração lenta domiciliar como alternativa de tratamento de água em comunidades isoladas: eficiências com e sem controle de nível da água e aceleração do amadurecimento. 2018. 273 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-18032019-163138/publico/MACIEL_2018_TESE.pdf. Acesso em: 16 maio 2022.

MADRONA, Grasielle; SCAPIM, Monica; TONON, Lucineia Cestari; REIS, Miria Miranda; PARAISO, Carolina; BERGAMASCO, Rosangela. Use of moringa oleifera in a combined coagulation-filtration process for water treatment. Chemical Engineering Transactions, [S.L.], v. 57, p. 1195-1200, maio 2017. AIDIC: Italian Association of Chemical Engineering. <http://dx.doi.org/10.3303/CET1757200>. Disponível em: <https://doaj.org/article/40249e95ef27470f9da32c78098930e4>. Acesso em: 06 set. 2021.

NAKAMOTO, Nobutada; GRAHAM, Nigel; COLLINS, M. Robin; GIMBEL, Rolf. Progress in Slow Sand and Alternative Biofiltration Processes. Water Intelligence Online, [S.L.], v. 13, p. 3-16, 77-84 abr. 2014. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/9781780406381>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

NORDMARK, Brittany A.; BECHTEL, Toni M.; RILEY, John K.; VELEGOL, Darrell; VELEGOL, Stephanie B.; PRZYBYCIEN, Todd M.; TILTON, Robert D.. Moringa oleifera Seed Protein Adsorption to Silica: effects of water hardness, fractionation, and fatty acid extraction. Langmuir, [S.L.], v. 34, n. 16, p. 4852-4860, 22 mar. 2018. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00191>. Acessado em: 20 de abril de 2022.

OLADOJA, Nurudeen Abiola; PAN, Gang. Modification of local soil/sand with Moringa oleifera extracts for effective removal of cyanobacterial blooms. Sustainable Chemistry And Pharmacy, [S.L.], v. 2, p. 37-43, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scp.2015.08.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352554115300036>. Acesso em: 06 set. 2021.

OLIVEIRA, Natalia Terezinha; NASCIMENTO, Karine Pinheiro; GONÇALVES, Bruno de Oliveira; LIMA, Felipe Cordeiro de; COSTA, André Luiz Neves da. Tratamento de água com moringa oleífera como coagulante/floculante natural. Revista Científica Faema, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 373-382, 12 abr. 2018. Revista FAEMA. <http://dx.doi.org/10.31072/rcf.v9i1.539>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31072/rcf.v9i1.539>. Acesso em: 28 out. 2020.

Rede De Tecnologia Social (2006) Fórum Nacional da RTS, 1, Brasília: Abipti.

RUELAS-LEYVA, Jose P.; CONTRERAS-ANDRADE, Ignacio; SARMIENTO-SÁNCHEZ, Juan I.; LICEA-CLAVERÍE, Angel; JIMÉNEZ-LAM, Sergio A.; CRISTERNA-MADRIGAL, Yereli G.; PICOS-CORRALES, Lorenzo A.. The Effectiveness of Moringa oleifera Seed Flour and Chitosan as Coagulant-Flocculants for Water Treatment. Clean - Soil, Air, Water, [S.L.], v. 45, n. 8, p. 1600339, 18 jul. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/clen.201600339>. Acesso em 02 de maio de 2022.

SILVA, Marcelo; PATERNIANI, José FRANCISCO, Adriana; SILVA, Gabriela. Aplicação de sementes de Moringa oleifera como auxiliares de pré-filtração em sistemas de pré-filtração em etapas adicionais. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, Brasília, DF, 8.4, 30 12 2011. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=732>>. Acesso em: 28 08 2022.

Souza, Ana Clara Aparecida Alves de e Pozzebon, Marlei Práticas e mecanismos de uma tecnologia social: proposição de um modelo a partir de uma experiência no semiárido. Organizações & Sociedade [online]. 2020, v. 27, n. 93 [Acessado 25 Abril 2022], pp. 231-254. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1984-9270934>>. Epub 29 Jun 2020. ISSN 1984-9230. <https://doi.org/10.1590/1984-9270934>.

Valverde, Karina Cardoso *et al.* Combined water treatment with extract of natural Moringa oleifera Lam and synthetic coagulant. Revista Ambiente & Água [online]. 2018, v. 13, n. 3, e2135. Disponível em:

<<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2135>>. Epub 11 June 2018. ISSN 1980-993X. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2135>. Acesso em: 06 set. 2021.

Veras, Luciana Rodrigues Valadares e Di Bernardo, Luiz. Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas - FIME. Engenharia Sanitaria e Ambiental [online]. 2008, v. 13, n. 1 [Acessado 16 Maio 2022] , pp. 109-116. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000100014>>. Epub 06 Maio 2008. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000100014>. Acesso em: 16 de maio de 2022.

VIANNA, Marcos Rocha; MELO, Gilberto Caldeira Bandeira de. Utilização do fruto seco descascado da *Luffa cylindrica* como meio suporte em filtros biológicos percoladores: análise do desempenho quanto à redução da carga orgânica e considerações microbiológicas. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 13-20, fev. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019110427>. Acesso em: 02 de maio de 2022.

VIOTTI, Paula Valéria; MOREIRA, Wardleison Martins; SANTOS, Onélia Aparecida Andreo dos; BERGAMASCO, Rosangela; VIEIRA, Angélica Marquetotti Salcedo; VIEIRA, Marcelo Fernandes. Diclofenac removal from water by adsorption on *Moringa oleifera* pods and activated carbon: mechanism, kinetic and equilibrium study. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 219, p. 809-817, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.129>. Acesso em: 02 de maio de 2022.

CAPÍTULO III

RESULTADOS OBTIDOS – ARTIGO 2:

TECNOLOGIA SOCIAL DE TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO FIME COM BIOMASSA DE MORINGA OLEÍFERA E BUCHA VEGETAL



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Tecnologia social de tratamento de água utilizando FIME com biomassa de *Moringa oleífera* e bucha vegetal

Luam de Oliveira Santos¹; Inajá Francisco de Sousa²; Gabriel Francisco da Silva³; Silvanito Alves Barbosa⁴

¹ Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, luam.santos@ifs.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3200-8974> (autor correspondente). ² Dr. em Recursos Naturais, Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, inajafrancisco@academico.ufs.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6732-0963>. ³ Dr. em Engenharia de Alimentos, Programa de Pós Graduação em Biotecnologia - RENORBIO, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, gabriel.silva@ufs.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9622-2518>. ⁴ Dr. em Biotecnologia, Departamento de Petróleo e Gás, Instituto Federal de Sergipe. Aracaju - SE, CEP: 49055-260, silvanito.barbosa@ifs.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0712-7533>.

Artigo recebido em 22/12/2022 e aceito em 09/04/2023

RESUMO

O problema de pesquisa é tornar a água de um barreiro trincheira, de péssima qualidade para consumo humano, em uma água de qualidade e segura para seu consumo utilizando técnicas simples e que possam ser replicadas pela comunidade. O uso da *Moringa oleífera* (MO) apresenta-se como boa alternativa de agente coagulante, indicada no sistema de tratamento de água, no seu processo de clarificação, além de ser biodegradável, dessa forma justifica-se o estudo do seu uso como tecnologia social a ser utilizada por populações ribeirinhas para tratamento da água de forma simples e eficaz. A hipótese desse projeto é: um sistema de tratamento de água utilizando coagulação com semente de MO e filtração em múltiplas etapas com biomassa de MO e bucha vegetal é eficaz no tratamento da água de barreiro trincheira para uso e consumo humano. Este projeto tem como objetivo a construção e avaliação de uma tecnologia social de tratamento de água utilizando a MO e a bucha vegetal em sistema de filtração em múltiplas etapas (FIME) domiciliar. O projeto será realizado em parceria da UFS com o IFS onde foram analisados parâmetros da água bruta assim como da água após os tratamentos. Os parâmetros analisados foram, pH, cor aparente, turbidez, dureza total, dureza de cálcio, dureza de magnésio, cloretos, sódio, lítio e potássio, além das análises microbiológicas de coliformes totais e *Escherichia coli*. Nos resultados encontrados podemos perceber redução de até 97,66% da turbidez, 99,52% na cor aparente, 100% nos coliformes totais e *Escherichia coli* entre a água bruta e a água após o tratamento proposto.

Social technology of water treatment using multi-step filtrations with *Moringa oleífera* and vegetable loofah biomass

ABSTRACT

Our research problem is to make the water from a “barreiro trincheira”, of poor quality for human consumption, safe and quality water through simple techniques. These techniques must be easily replicated by the local community. *Moringa oleífera* (MO) is a promising alternative to coagulating agents, indicated to the water treatment systems and the clarification process, in addition to being biodegradable. That justifies the study of MO as a social technology for riverside populations to treat water simply and effectively. Our hypothesis is: our water treatment system using MO seed coagulation and multi-step filtration with MO biomass and vegetable loofah can effectively treat “barreiro trincheira” water for human use and consumption. We aimed to build and evaluate a social technology for water treatment using MO and vegetable loofah in a multi-stage filtration system (FIME) at riverside populations’ houses. We carried out this research in partnership between UFS and IFS, where we analyzed raw water and water after treatments. We analyzed pH, apparent color, turbidity, total hardness, calcium hardness, magnesium hardness, chlorides, sodium, lithium, and potassium, besides microbiological analyses of total coliforms and *Escherichia coli*. As a result, we can see a reduction of up to 97.66% in turbidity, 99.52% in apparent color, 100% in total coliforms and *Escherichia coli* comparing raw water and the water after the proposed treatment.

Introdução

O projeto tem como tema tecnologias sociais e desenvolvimento sustentável sendo a linha de pesquisa tratamento alternativo da água para consumo humano, tendo como motivação a redução do uso de produtos químicos no tratamento da água além de possibilitar maior autonomia de populações ribeirinhas no consumo de água segura e de qualidade de forma simples e segura.

É recorrente o sofrimento da região agreste sergipana com a escassez de água, sendo que nos últimos dez anos a região tem uma média de apenas 282 mm de chuva por ano. (BRASIL, 2022). Várias comunidades dessa região fazem uso de tecnologias sociais como cisternas de placa, cisternas calçadão e barreiro trincheira para suprir suas necessidades hídricas. Dentro deste contexto, esta pesquisa busca melhorar a qualidade da água do barreiro trincheira utilizado pela comunidade do povoado de Santa Rita no município de Nossa Senhora Aparecida, em Sergipe, tornando-a segura para uso e consumo humano.

Para Dzuvor *et al.* (2021) a utilização *Moringa oleífera* Lam (MO) apresenta-se como uma gama de potenciais benefícios para saúde humana com propriedades anticancerígenas, antidiabéticas, antioxidantes, anti-inflamatórias e além disso, suas sementes e tortas podem ser utilizadas no processo de tratamento de água na coagulação, floculação e como adsorventes por sua capacidade de eliminação de micróbios e matéria orgânica.

Dessa forma, justifica-se o estudo da viabilidade do uso da *Moringa oleífera* (MO) como alternativa para tratamento da água para consumo humano.

A hipótese deste artigo é: Um sistema de tratamento de água utilizando coagulação com semente de MO e filtração em múltiplas etapas com biomassa de *Moringa oleífera* e bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) é eficaz no tratamento da água de barreiro trincheira para uso e consumo humano.

Em pesquisa de revisão feita por Yamaguchi *et al.* (2021) mostra que a MO tem potencial de uso como auxiliar de floculação, reduzindo o uso de coagulantes químicos e tendo bons resultados de remoção, além do seu uso como adsorvente, com potencial para remoção de diversos contaminantes da água. Além disso, em pesquisa desenvolvida por Santos *et al.* (2023) verificou-se o grande potencial da MO e bucha vegetal como biomassa adsorventes para adicionar em filtros lentos para tratamento de água.

Pesquisas como a de Aziz *et al.* (2021), confirmam a capacidade de adsorção da MO em

íons de Pb^{2+} em até 81%, Ni^{2+} em até 98% e Cd^{2+} em até 61%.

Este projeto tem como objetivo a construção e avaliação de uma tecnologia social de tratamento de água utilizando a MO e a bucha vegetal em sistema de filtração em múltiplas etapas (FIME) domiciliar.

Resultados positivos no tratamento da potabilização da água também foram encontrados por Madrona *et al.* (2017), no uso da *Moringa oleífera* lam num processo combinado de Coagulação/Floculação com ultrafiltração obtendo água de alto nível de qualidade para consumo humano após o processo. Além de resultados com tratamento de efluentes propostos por Desta e Bote (2021) com reduções de até 98% de turbidez e 90,76% de cor.

Ainda com tratamentos de águas residuais, pesquisas realizadas com Varsani *et al.* (2022) demonstram um grande potencial da MO, obtendo significativas reduções de turbidez, cor, DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio).

A bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) é um fruto encontrado em todo território brasileiro, popularmente conhecida como esponja vegetal, bucha de metro, esfregão, maxixe do mato, entre outros nomes. Ela é pertencente à mesma família do melão, melancia, pepino e abóboras. De fácil cultivo, trata-se de um produto que não agride ao meio ambiente por ser biodegradável e de fonte renovável. (LIMA, 2015).

Referencial teórico

Neste tópico apresentaremos o referencial teórico que seguiu de base para nossa pesquisa, sendo este dividido nos seguintes tópicos: uso da *Moringa oleífera* e bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) como forma alternativa ao tratamento da água; filtração em múltiplas etapas e tecnologia social.

Uso da *Moringa oleífera* e Bucha Vegetal Como Forma Alternativa ao Tratamento da Água

A *Moringa oleífera* Lam (MO) é uma planta tropical que pertence à família *Moringaceae*. Em torno de catorze espécies já foram identificadas e todas possuem propriedades coagulantes em diferentes graus de coagulação (OLADOJA e PAN, 2015).

A MO possui propriedades poliméricas naturais que vem notoriamente ganhando destaque no tratamento da água pela sua contribuição ao desenvolvimento sustentável através da redução do uso de produtos químicos, atuando como agente clarificador devido a presença de uma proteína

catiônica que desestabiliza as partículas contidas em um meio líquido. (MADRONA *et al.*, 2017).

Ela possui ativos biocoagulantes ativos que podem ser utilizados no tratamento de clarificação da água, filtração, sedimentação e floculação da água, reduzindo o uso de coagulantes de base química (CAMACHO *et al.*, 2017), (VALVERDE *et al.*, 2018).

Estudos mostram que os usos da MO podem reduzir em até 85% a turbidez da água, além de ser capaz de remover de 40% a 50% também da matéria orgânica presente na água (CAMACHO *et al.*, 2017).

Segundo Nordmark *et al.* (2018), os resultados de suas pesquisas concluem que proteínas de *Moringa oleífera* adsorvem irreversivelmente com relação ao enxágue no modelo de água utilizado, sugerindo que a areia modificada com as proteínas da moringa é estável em uso repetido de filtração da água, tornando assim um dispositivo de filtração de água simples, eficaz e sustentável.

Resultados positivos no tratamento da potabilização da água também foram encontrados por Madrona *et al.* (2017), no uso da *Moringa oleífera* Lam num processo combinado de Coagulação/Floculação com Ultrafiltração obtendo água de alto nível de qualidade para consumo humano após o processo.

A bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) é um fruto encontrado em todo território brasileiro, popularmente conhecida como esponja vegetal, bucha de metro, esfregão, maxixe do mato, entre outros nomes. Ela é pertencente à mesma família do melão, melancia, pepino e abóboras.

Estudos realizados por Freitas *et al.* (2015), no tratamento da água contaminada por bactérias específicas, mostram que a bucha vegetal é eficiente como adsorvente no tratamento alternativo da água contaminada, tendo sua maior eficiência em pH mais básico e sem agitação da água.

Filtração em Múltiplas Etapas (FIME)

A filtração em múltiplas etapas (FIME), se destaca por ser um sistema de simples manuseio e construção, com baixo custo de implementação e que dispensa o uso de instrumentação. Além disso, se destaca por ser uma tecnologia adequada às zonas rurais e grande parte dos pequenos municípios onde a coagulação química não se mostra como uma opção sustentável. (VERAS; DI BERNARDO, 2008, p. 109) e (VIEIRA *et al.*, 2005).

O sistema de filtração em múltiplas etapas consiste na sequência do pré-filtro dinâmico, pré-filtro grosseiro, de pedregulho que pode ser

escoamento horizontal ou vertical ascendente ou descendente e o filtro lento. (VIEIRA *et al.*, 2005).

A água passa por sucessivas etapas de tratamento com progressiva remoção de substância sólidas. O princípio básico de cada etapa é melhorar a qualidade de seu efluente para que possa ser submetido ao tratamento posterior, sem sobrecarregá-lo. (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999, p. 22).

Tecnologia Social

A tecnologia social é definida na lei Nº 111 de 2011 do senado federal como um conjunto de atividades desenvolvidas da organização, desenvolvimento e aplicação que aliam o saber popular, organização social e conhecimento técnico-científico, voltadas à inclusão social e melhoria da qualidade de vida. (BRASIL, 2011).

O ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações traz que o conceito de tecnologia social estabelece 4 dimensões, sendo elas:

- Conhecimento, ciência, tecnologia. Tem como ponto de partida os problemas sociais; é feita com organização e sistematização além de que introduz ou gera inovação nas comunidades.
- Participação, cidadania e democracia. Enfatiza a cidadania e a participação democrática; adota a metodologia participativa nos processos de trabalho e impulsiona sua disseminação e reaplicação.
- Educação. Realiza um processo pedagógico por inteiro; se desenvolve num diálogo entre saberes populares e científicos além de ser apropriada pelas comunidades, que estas ganham autonomia.
- Relevância social. É eficaz na solução de problemas sociais; tem sustentabilidade ambiental; provoca a transformação social. (BRASIL, 2011).

Material e métodos

Este projeto tem método de abordagem hipotético-dedutivo, podendo ser classificada como pesquisa aplicada, quantitativa, exploratória, experimental e estudo de caso. Os meios utilizados serão, pesquisa de campo, laboratório, bibliográfico, experimental e estudo de caso.

Caracterização do Objeto de Estudo

A coleta da água para experimentos ocorreu no município de Nossa Senhora Aparecida região agreste central do estado de Sergipe no povoado de Santa Rita em um barreiro trincheira, localização latitude: -10,3335666; longitude: -37,5071187 conforme figura 1, usado pela

população para irrigação e consumo de hidratação dos animais.

Análises realizadas através de dados disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), nos últimos 10 anos choveu aproximadamente uma média de apenas 282,02 mm de chuva por ano, sendo que não chove na região desde novembro de 2021. (BRASIL, 2022).



Figura 1. Barreiro Trincheira na comunidade de Santa Rita na cidade de Nossa Senhora Aparecida

Foi coletada a água do barreiro e alimentado um recipiente de 220 litros que foi utilizado posteriormente como fonte de água bruta para alimentação dos filtros utilizados nas análises.

Construção do Filtro de Múltiplas Etapas Domiciliar

Foram feitas adaptações ao sistema de FiMe proposto por Di Bernardo; Brandão; Heller (1999) apresentado anteriormente nos referenciais teóricos, sendo que foi utilizado 3 recipientes de 30 litros cada, na sequência que segue, como pré-filtro grosseiro, filtro lento e filtro de biomassa, todos com fluxo descendentes e 1 recipiente de 220 litros com a água bruta selecionada, conforme podemos verificar na figura 2.

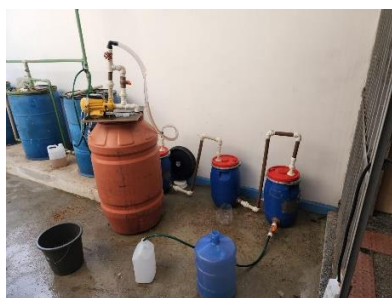


Figura 2. Sistema de FiME domiciliar montado para experimentos.

No recipiente do filtro grosseiro utilizou-se 20 cm de brita grossa (Nº 2) (3/4"-19.05mm) na parte superior e 20 cm de brita fina (Nº0) (aproximadamente 5mm) na parte inferior.

No recipiente filtro lento, foi utilizado uma camada suporte de brita grossa na parte inferior de

10cm e 15 cm de areia grossa (granulometria 1,42 a 2,4 mm) na parte superior e 15 cm de areia fina (granulometria 0,08 a 1,0 mm) na parte inferior.

No recipiente do filtro de biomassa, foi utilizado uma camada suporte de brita grossa na parte inferior de 10 cm e 20 cm de torta de *moringa oleífera*, figura 3, na parte inferior e 10 cm de bucha vegetal cortada com tamanho de 4 a 5 cm de comprimento, como pode ser visto na figura 3, como utilizado por Agra (2009), na parte superior.

Estas quantidades de MO e bucha vegetal foram utilizadas baseadas no estudo de Santos *et al.* (2023), onde determinou-se que a biomassa de MO é mais eficiente no tratamento da água, porém a bucha vegetal auxilia a evitar a colmatação dos filtros por parte da MO, neste caso, utilizou-se a proporção de 70:30 entre MO e bucha vegetal.

Para separação de cada componente dentro dos recipientes foi utilizado tela de nylon de malha 4 mm x 7 mm. Assim como foi utilizado também a malha na conexão do flange de saída de cada recipiente.

Em cada recipiente de 30 litros, que tem uma altura de 50 cm, foi reservado os 10 cm superiores para camada livre com água.

Foi utilizado uma bomba centrífuga de ½ cv para sucção da água bruta armazenada no recipiente de 220 litros. Foi preparada uma linha auxiliar de retorno (*by pass*) para controle de vazão da bomba sem danificá-la.

Após a montagem, todo o sistema de filtração deve ser lavado para limpeza e redução da contribuição da MO na cor aparente da água. Nessa lavagem, foi utilizado 100 litros de água. Essa água não precisa ser descartada, podendo esta ser utilizada para irrigação.

É recomendado a filtração ocorra de forma contínua, ou seja, uma vez lavado o filtro, é recomendado que seja efetuado o tratamento de toda a água do reservatório de água bruta e armazenada então em um outro reservatório a água tratada.



Figura 3. (A) Torta da *moringa oleífera* seca; (B) Bucha vegetal cortada.

Na tabela 1 encontramos a lista de material utilizada na construção do FIME assim como o custo de cada material.

Tabela 3. Lista de material utilizado na construção do FIME.

Material	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Tubo 32mm	3 m	29,90	29,90
Flange 32mm	3 und.	25,60	76,80
Flange 25mm	3 und.	13,90	41,70
Joelho 32mm	8 und.	5,70	45,60
Registo esfera 32mm	3 und.	28,70	86,10
Tê 32mm	2 und.	9,90	19,80
Bomba centrífuga ½ cv	1 und.	189,00	189,00
União Roscável 32mm	5 und.	16,90	84,50
União Roscável 25mm	3 und.	11,20	33,60
Mangueira 32mm	1 m	15,00	15,00
Mangueira 20 mm	1 m	4,79	4,79
Adaptador para mangueira 32mm	2 und	4,30	8,60
Adaptador para mangueira 20mm	1 und.	1,85	1,85
Bombona 220 litros	1 und.	120,00	120,00
Bombona 30 litros	3 und.	40,00	120,00
Niple 32mm	11 und.	3,40	37,40
Niple 25mm	3 und.	1,64	4,92
Luva Redução 32x25mm	3 und.	2,90	8,70
Luva Redução 32x20mm	1 und.	3,19	3,19
Válvula de Retenção para poço 32mm.	1 und.	50,00	50,00
Valor Total:			R\$ 981,45

Análises Físico Químicas e Microbiológicas

Foi efetuada algumas análises físico-químicas diretamente no barreiro trincheira através de uma sonda multiparâmetro modelo horiba U-52 e os parâmetros analisados in loco foram: temperatura, pH, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e salinidade, sendo que além desses, foram analisados em

laboratório parâmetros de cor aparente, acidez total, acidez carbônica, dureza total, dureza de cálcio, dureza de magnésio, alcalinidade, cloretos, sódio, lítio e potássio, além das análises microbiológicas de coliformes totais e *Escherichia coli*, conforme verifica-se na tabela 2.

Tabela 2. Métodos de análises físico-químicas e microbiológicas

Parâmetro	Método	Unidade	Referência
pH	Método potenciométrico	adimensional	NBR 7353
Cor	Método colorimétrico	UC	SM 2120
Turbidez	Método nefelométrico	uT	SM 2130 B
Condutividade	Método condutométrico	(µS)/cm	SM 2510 B
Sólidos Totais Dissolvidos	Método condutométrico	ppm	SM 2540

Alcalinidade Total e Parcial	Volumetria de neutralização	ppm CaCO_3	SM 2320 B
Acidez Total e Carbônica	Volumetria de neutralização	ppm CaCO_3	SM 2310
Dureza total, de Cálcio e Magnésio	Volumetria de complexação	ppm CaCO_3	SM 2340 B
Cloretos	Volumetria de precipitação	ppm Cl^-	SM 4500
Sódio, Lítio e Potássio	Espectrofotometria de chama	ppm	SM 3111
Coliformes Totais	Método de tubos múltiplos	NMP/100ml	SM 9221
<i>Escherichia coli</i>	Método de tubos múltiplos	NMP/100ml	SM 9221

Jar Test

Antes do tratamento da água, foi efetuado previamente o teste de jarro para encontrar-se a proporção de coagulante ideal para o processo de coagulação da água bruta. Foi utilizado semente de moringa descascada, triturada em liquidificador e peneirada em peneira doméstica de malha com abertura de 2,5mm até a obtenção de uma farinha fina, conforme figura 4.

Para identificar a concentração ideal de coagulante foi efetuado o teste de jarro, com concentrações de 0,6 g/L, 0,8 g/L e 1,0 g/L,

agitação rápida em 299 rpm por 2 minutos e agitação lenta em 45 rpm por 10 minutos e período de decantação de 2 horas. Após esse procedimento, foi coletado o sobrenadante de cada becker de vidro e analisado os parâmetros de cor aparente e turbidez. Como podemos verificar na tabela 3 a seguir, encontrando-se que a concentração ideal de coagulante é de 0,8 g/L. Sendo esta concentração utilizada posteriormente para coagulação da água bruta.



Figura 4. Processo de beneficiamento da semente de moringa para obtenção do coagulante em pó.

Tabela 3. Resultados do Jar Test

	0,6 g/L		0,8 g/L		1,0 g/L	
	Turbidez (NTU)	Cor (UC)	Turbidez (NTU)	Cor (UC)	Turbidez (NTU)	Cor (UC)
	31,8	72,1	28,3	63,2	30,9	68,6
	31,8	72,3	28,3	63,2	30,9	68,8
	31,7	72,1	28,3	62,7	30,9	68,7
média	31,77	72,17	28,3	63,03	30,9	68,7

Resultados e discussão

Primeiramente apresentar-se-á a caracterização físico-química de pH, cor e turbidez da água bruta; água coagulada; água da cisterna de placa, que eles utilizam para consumo humano; água após o processo de tratamento FIME; água coagulada e depois filtrada no filtro de barro com

vela com carvão ativado e prata coloidal; e água após o tratamento FIME, posterior cloração com 20 ppm de Hipoclorito de Sódio e filtração no mesmo filtro de barro, conforme tabela 4 a seguir.

Tabela 4. Caracterização físico-química das amostras.

Amostra	Cor	Turbidez	pH
Água bruta	1864±2,53	383,67±0,04	8,49±0,08
Água Coagulada	63,10±0,21	28,30±0,06	7,33±0,02
Cisterna de Placa	11,11±0,06	0,10±0,00	9,03±0,04
FIME	33,68±0,19	11,86±0,02	6,40±0,06
Coagulada + Filtro de Barro	32,47±0,02	12,16±0,42	7,51±0,04
FIME + Filtro de Barro	9,00±0,01	8,98±0,02	8,80±0,06
Limites GM/MS Nº 888 de 2021	15 UC	5 NTU	6,0 – 9,5

Cor, Turbidez e pH

Com esta caracterização inicial pode-se perceber que a coagulação com a farinha de semente de MO na concentração de 0,8 g/L na água bruta proveniente do barreiro trincheira foi responsável pela redução de 92,62% na turbidez e de 96,62% na cor. Estes resultados estão compatíveis com Desta e Bote (2021) que obteve redução de 99,5% de turbidez e 97,7% de cor em águas básicas e 98% de turbidez e 90,76% de cor em águas ácidas. Foram compatíveis também com resultados encontrados por Madrona *et al.* (2017) que também obteve redução de aproximadamente 99% de cor e turbidez após o tratamento utilizando a MO e Valverde *et al.* (2018) que obteve redução de 70% de turbidez e 75% de cor aparente com a utilização da semente de MO como agente coagulante. Estes resultados variam, pois, vários são os fatores que afetam a atividade coagulante da MO principalmente o pH e a turbidez inicial da água bruta, que determinam o nível de interação entre as partículas.

Além da coagulação, o tratamento de filtração em múltiplas etapas foi responsável pela redução de 58,09% da turbidez e 46,62% da cor aparente da água coagulada. Em trabalhos como o de Di Bernardo, Brandão e Heller (1999), atingiu-se redução de até 70% na remoção da turbidez e até

45% na remoção da cor verdadeira utilizando somente o filtro lento de areia, enquanto no trabalho de Silveira e Coutinho (2016) mostram uma redução média de 66,9% na remoção da turbidez, também utilizando somente o filtro lento de areia. Esses valores dependem da turbidez inicial da água bruta, sendo que para que a filtração lenta tenha bons resultados é necessário que a turbidez inicial da água seja abaixo de 10 NTU.

Nesta pesquisa, o tratamento combinado de coagulação/floculação com FIME reduziu a turbidez em 96,91% e 98,19% de cor aparente, enquanto o tratamento combinado de coagulação/floculação, FIME e microfiltração em filtro de barro reduziu a turbidez em 97,66% e a cor aparente em 99,52%, condizente com as pesquisas de processo combinado de coagulação/floculação com a microfiltração realizada por Paixão *et al.* (2020) que obteve redução dos parâmetros da água contaminada com corante têxtil superior a 95%. A seguir apresentar-se-á os gráficos e informações mais detalhadas a respeito dos parâmetros de cor, turbidez e pH.

Foi utilizado o software prism 9 da Graphpad com teste unidirecional ANOVA e significância de 5% para análises das diferenças estatísticas na construção dos gráficos apresentados na figura 5 a seguir.

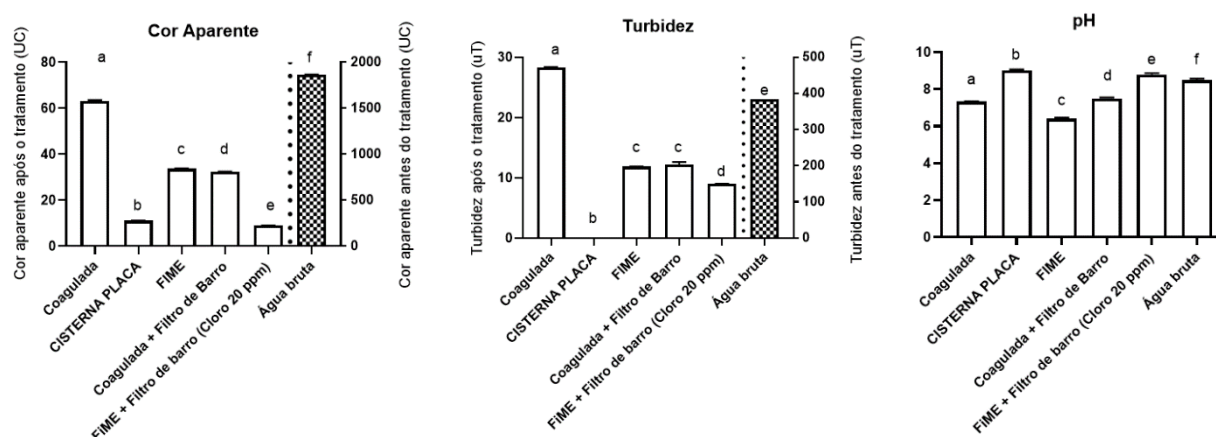


Figura 5. Gráficos de cor aparente, turbidez e pH das amostras.

Primeiramente deve-se considerar que estes gráficos de Cor Aparente e Turbidez, utilizam-se de eixo auxiliar a direita com escala diferente. Isto faz-se necessário devido os valores encontrados de cor e turbidez da água bruta serem muito mais elevados que após os tratamentos.

Dito isto, para análise de todos os gráficos, utilizamos letras iguais para amostras que não são significativamente diferentes do ponto de vista estatístico e letras diferentes para amostras que são significativamente diferentes estatisticamente.

Conforme dito anteriormente, é perceptível a significativa redução da cor aparente e turbidez da água após o processo de filtração em múltiplas etapas, porém, é evidente que estes valores eram superiores ao da água da cisterna de placa que é consumida pela população.

Por isto, utilizou-se o filtro de barro com vela conteúdo carvão ativado e prata coloidal, que é uma tecnologia de ampla utilização pela comunidade para o tratamento da água, assim como a desinfecção por hipoclorito de sódio.

Fica perceptível também que somente o filtro de barro utilizado diretamente após a coagulação não é eficaz no tratamento da água, obtendo-se parâmetros muito próximos aos encontrado na filtração em múltiplas etapas após a coagulação, sendo que não houve diferenças estatisticamente significativas na turbidez e na cor aparente a água coagulada e posterior filtrada no

filtro de barro tem cor aparente 3,59% menor que a água proveniente diretamente do FIME.

Porém, quando utilizamos a desinfecção com hipoclorito de sódio e o filtro de barro posterior ao tratamento no FIME obtemos alta eficiência no tratamento, com redução de 73,28% da cor aparente e 24,28% da turbidez, quando comparamos com a água proveniente diretamente do FIME.

Comparando com a água da cisterna de placa, que é aquela consumida pela população, temos que a água tratada pela tecnologia social combinada de coagulação/floculação natural com semente de MO, filtração FIME e microfiltração em filtro de barro com desinfecção por hipoclorito de sódio, possui 18,00% menos de cor aparente e turbidez mais elevada, sendo este o único parâmetro que está acima do recomendado pela portaria GM/MS N° 888 de 2021 para potabilidade.

Tendo em vista que a turbidez é um parâmetro estético e este não necessariamente quer dizer que a água é ou não segura para consumo, prosseguimos para as análises físico-químicas e microbiológicas da água.

Após feita a caracterização inicial, apresentaremos a tabela 5 a seguir com os resultados das análises físico-químicas após o tratamento proposto. Para melhor discussão dos resultados, os mesmos serão apresentados agrupados.

Tabela 5. Resultados das Análises Físico-Químicas

	Água Bruta	Coagulada	Cisterna de Placa	FIME	Coagulada + FB	FIME + Cl ₂ + FB	Limites
Dureza Total	39,13±1,91	36,43±3,31	86,36±1,91	130,89±1,90	90,41±1,90	130,88±3,81	500 mg/l CaCO ₃
Dureza Cálcio	18,89±1,91	16,54±3,34	58,02±1,91	62,07±1,91	46,55±1,65	65,44±0,95	

Dureza Magnésio	20,24±3,31	19,89±0,49	28,34±0,00	68,81±0,00	43,85±0,95	65,44±3,44	
Cloretos	74,92±5,56	72,66±3,21	27,25±0,00	55,63±1,60	68,12±0,00	56,77±3,21	250 mg/l
Condutividade	243,31±1,99	250,30±1,73	130,48±0,47	290,55±1,22	399,45±0,61	439,37±4,01	1000 mg/l (STD)
Sódio	11,53±0,53	10,77±0,63	2,80±0,16	16,50±0,08	17,70±0,22	22,40±0,33	200 mg/l
Lítio	0,21±0,00	0,18±0,00	0,09±0,00	0,04±0,00	0,03±0,00	0,04±0,00	
Potássio	20,17±0,05	18,43±0,29	5,43±0,37	6,50±0,00	37,32±0,05	35,13±0,19	

Legenda: FB: Filtro de Barro

Dureza Total, Dureza de Cálcio e Magnésio

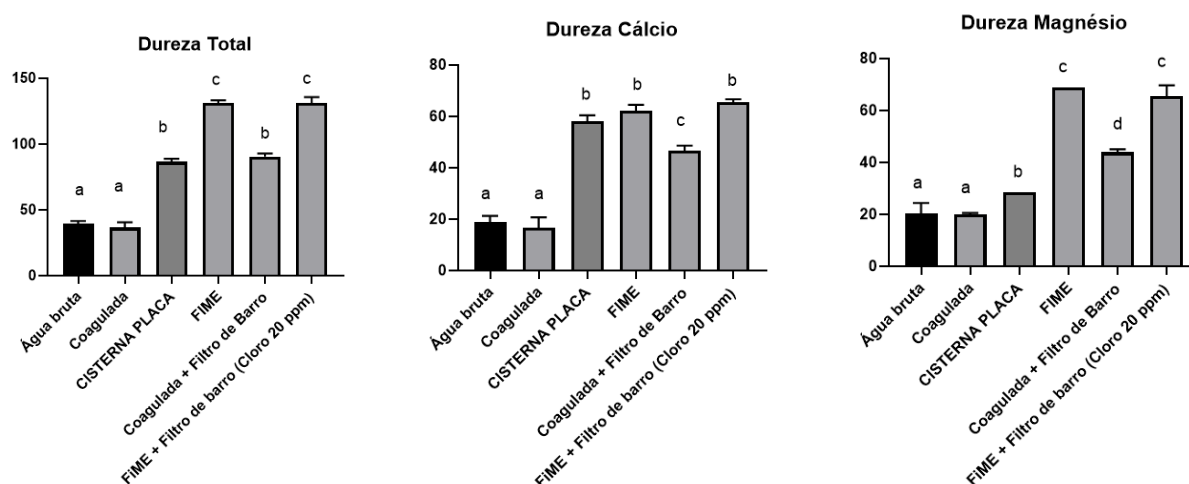


Figura 6. Gráficos de dureza total, dureza de cálcio e dureza de magnésio.

Com estes resultados, podemos perceber que a coagulação com a semente de MO não reduz a dureza da água, seja ela total, de cálcio ou magnésio, assim como ocorre no trabalho de Valverde *et al.* (2018), sendo assim, pode-se afirmar que a coagulação com a semente de MO não interfere de forma significativa estatisticamente na dureza da água.

Contudo, o sistema FIME contribui para o aumento da dureza da água, devido a carreação de material da areia, brita e biomassa, além da presença de dióxido de carbono que é produzida pela ação bacteriana no filtro lento contribuindo assim para o aumento da dureza total e proporcionalmente à dureza de cálcio e magnésio, pode-se perceber também que o filtro de barro também contribui para o aumento da dureza da água, porém em menor quantidade que o FIME. (HUISMAN & WOOD, 1974)

Percebe-se também que o filtro de barro não reduziu significativamente a dureza total, nem de cálcio nem de magnésio da água tratada pelo FIME.

Essas elevações na dureza total também podem ser evidenciadas no trabalho de Agra *et al.* (2011) onde, após a filtração lenta, os valores de

dureza total da água bruta também houve aumentos significativos.

Apesar do aumento na dureza da água após o tratamento, todos os valores obtidos são inferiores ao limite 500 mg/l CaCO_3 recomendado pela portaria GM/MS N° 888 de 2021 para potabilidade.

Quando comparamos os valores da água consumida pela população, a da cisterna de placa, proveniente de água pluvial, vemos que a dureza é mais elevada que a dureza da água bruta e coagulada, porém, inferior à dureza da água bruta após o tratamento. Percebe-se também que a dureza de cálcio influencia em maior quantidade que a dureza de magnésio à dureza total da água da cisterna de placa, ao ponto que a dureza de magnésio não há diferenças significativas entre a água da cisterna, do FIME e do sistema combinado de FIME e filtro de barro. Resultados próximos para a água da chuva podem ser evidenciados em Santos (2016) onde percebe-se que a influência do cálcio em águas pluviais de Sergipe na captação direta é maior que a influência do magnésio.

Cloretos e Condutividade

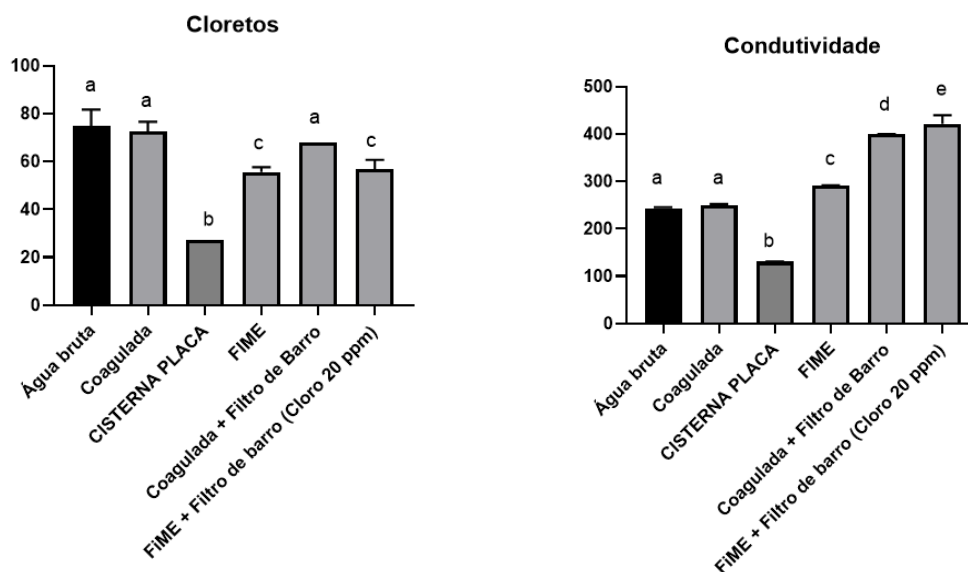


Figura 7. Gráficos de cloretos e condutividade.

Com estes resultados, pode-se perceber claramente que o FIME reduz significativamente a quantidade de cloretos da água bruta, reduzindo estes em 25,74%, enquanto a coagulação e o filtro de barro não são eficientes na redução de cloretos da água.

Todas as amostras apresentam quantidade de cloretos inferior ao limite 250 mg/l recomendado pela portaria GM/MS Nº 888 de 2021 para potabilidade.

Resultados encontrados por Agra *et al.* (2011) mostram que o filtro lento não interfere significativamente na quantidade de cloretos das amostras sendo a biomassa de MO a responsável pela redução na quantidade de cloretos no tratamento.

Assim como em Santos (2016) a quantidade de cloretos na água pluvial armazenada na cisterna de placa contem baixos valores de cloretos, mesmo comparando com as outras amostras após o tratamento.

Em relação a condutividade, percebe-se que a coagulação com a semente de MO não interfere significativamente também neste parâmetro, porém, percebe-se que o FIME e o filtro de barro contribuem para a elevação deste parâmetro.

Em estudos com coagulantes naturais à base de MO em tratamento de águas residuais

realizados por Varsani *et al.* (2022) percebe-se elevação na condutividade elétrica submetidas aos coagulantes naturais, devido aos minerais e compostos inorgânicos que se dissolvem na água.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silveira e Coutinho (2016) em relação ao aumento da condutividade após a filtração em múltiplas etapas, assim como os encontrados. Quanto ao uso da semente de MO como coagulante, resultados semelhantes foram encontrados por Balbinoti *et al.* (2018) onde não houve redução da condutividade após a coagulação.

Sódio, Lítio e Potássio

Primeiramente, vale salientar que para a discussão dos resultados da presença de Sódio, Lítio e Potássio, fez-se necessário incluir os resultados das amostras dos filtros de: brita e areia; brita, areia e moringa; brita, areia, moringa e bucha; brita, areia e bucha cortada; brita, areia e bucha triturada. Dessa forma, pode-se melhor identificar a influência destas biomassas na variação destes íons analisados.

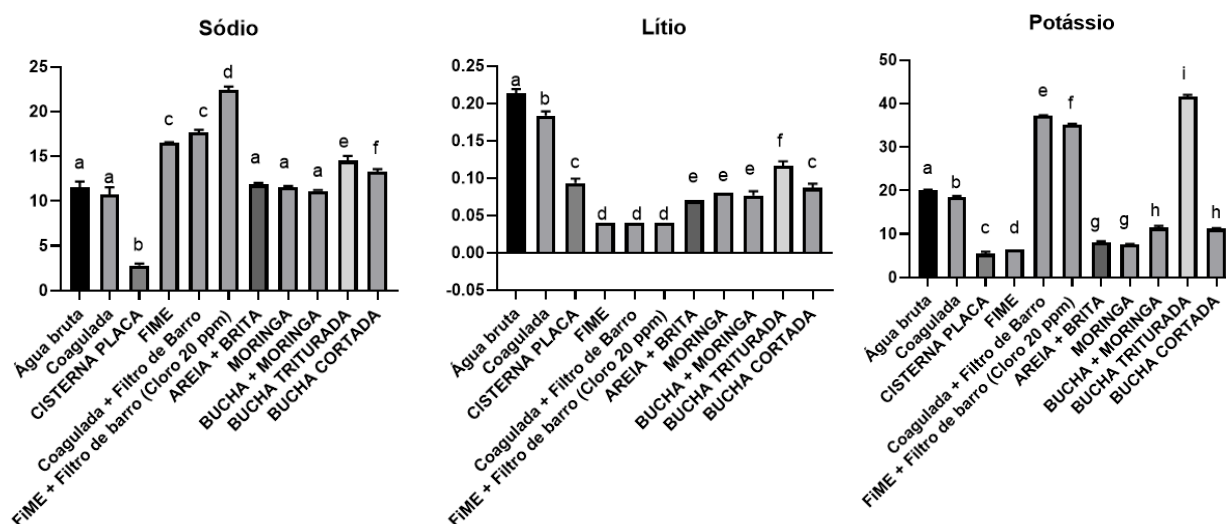


Figura 8. Gráficos de Sódio, Lítio e Potássio.

Em relação ao Sódio, percebe-se que: a coagulação não altera significativamente a quantidade de sódio da água; o sistema de FIME proposto contribui significativamente para o aumento de sódio presente na água e que esta elevação está relacionada com a presença da biomassa de bucha vegetal no sistema, tendo em vista que brita, a areia e a MO não alteraram significativamente a quantidade de sódio na água, além disto, percebe-se que a bucha vegetal triturada contribui mais significativamente para esta elevação que a bucha vegetal cortada; também percebe-se neste gráfico do sódio que o filtro de barro também contribui para a elevação deste íons na água, como pode ser verificado na elevação do sódio na água coagulada após a filtração no filtro de barro e também sua contribuição na água proveniente do FIME e filtrada posteriormente no filtro de barro, obtendo assim o valor mais elevado de sódio entre as amostras analisadas.

Todas as amostras analisadas tiveram valores de sódio muito inferiores ao limite 200 mg/l recomendado pela portaria GM/MS N° 888 de 2021 para potabilidade.

Em relação ao Lítio, percebe-se que: a coagulação reduz significativamente a quantidade de sódio da água em 14,29%; o filtro lento de areia e brita também reduz significativamente a quantidade de Lítio na água em 61,11%. A biomassa de bucha vegetal e MO não interferem muito significativamente na alteração na quantidade de Lítio no tratamento.

O filtro de barro reduz significativamente a quantidade de lítio em 77,78% em relação à água coagulada, porém em relação à água tratada pelo FIME e posteriormente filtrada no filtro de barro, houve redução, mas não significativa do ponto de vista estatístico, o que mostra que quanto menor a

quantidade de lítio, menor é a eficiência de sua remoção pelo filtro de barro.

O sistema de FIME também obteve uma redução significativa de lítio, reduzindo em 77,78% quando comparada com a água coagulada.

Em relação ao potássio, percebe-se que: a coagulação reduz, mesmo que pouco, porém significativa do ponto de vista estatístico, em 8,63% a quantidade de potássio da água; percebe-se também que o sistema FIME reduz significativamente em 64,73% a quantidade de potássio da água e que o filtro de barro contribui muito significativamente para o aumento de potássio em 102,50%.

Outra informação muito importante que podemos perceber com este gráfico é que o filtro de areia e brita reduzem a quantidade de potássio em 55,89% e que a biomassa de MO não contribui significativamente para a redução deste parâmetro, porém, a biomassa de bucha vegetal, quando triturada, contribui muito significativamente para o aumento de potássio na água tratada, aumentando este parâmetro em 411,93% quando comparamos com a água filtrada somente com areia e brita, mas vale salientar, que a bucha vegetal cortada não contribui tão significativamente quanto à triturada, aumentando este parâmetro somente em 37,39%, o que indica que quando a bucha vegetal é triturada tem uma interação muito maior com a água durante o tratamento, de forma que aumenta muito mais significativamente a quantidade de potássio na água após o tratamento.

Como na portaria GM/MS N° 888 de 2021 não há limites para Lítio e Potássio, estes parâmetros não foram comparados com a legislação.

Coliformes totais, *Escherichia coli* e Desinfecção da água tratada.

Tabela 6. Resultados das Análises Microbiológicas

	B _{ruta}	Cisterna de Placa	FIME	Coagula da + FB	FIME + Cl ₂ + FB	Limites
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	>1600	430	>1600	>1600	Ausente	Ausente
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	>1600	Ausente	>1600	>1600	Ausente	Ausente
Cloro Livre (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2	0,5 a 2,0 mg/L

Legenda: NMP: Número mais provável.

Pesquisas realizadas por Santos *et al.* (2023) demonstram a capacidade da MO em remoção da matéria orgânica no tratamento com filtração lenta.

Em pesquisas com tratamentos de efluentes realizada por Desta e Bote (2021), a MO foi capaz de reduzir por adsorção 65,8% da DQO da água.

Analisando-se a tabela 5 acima, verifica-se que nenhum dos sistemas de tratamento proposto, sem a desinfecção por uso do hipoclorito de sódio, foram eficazes a ponto de torná-la segura para consumo humano.

Portanto, utilizou-se a água proveniente do tratamento de FIME e fez-se a desinfecção com 20 ppm de hipoclorito de sódio e após 30 minutos, fez-se a filtração com o filtro de barro. Desta forma, obteve-se água tratada e segura para consumo humano, com todos os parâmetros, com exceção da turbidez e cloro livre, dentro dos parâmetros que constam na portaria GM/MS Nº 888 de 2021.

Considerações Gerais e Análise de Vazão do Tratamento.

Durante a realização da pesquisa, percebeu-se que é necessário uma significativa quantidade de água para lavagem dos elementos filtrantes após a montagem do FIME e por isso propõe-se que esta água utilizada na lavagem seja armazenada para utilização na irrigação. Dessa forma, propõe-se que este sistema seja utilizado de forma familiar ou até mesmo comunitária, sendo assim, faz-se necessário, para uma família de 4 pessoas, o uso de 3 caixas d'água, sendo uma caixa de 1.500 litros para água bruta que será coagulada, uma caixa de 500 litros para a água proveniente da lavagem do sistema, que será utilizada para irrigação e uma caixa de 1.000 litros para uso humano.

Como a biomassa da MO tem rápido desgaste, com vida útil de aproximadamente 2 a 4

dias, sendo posteriormente necessária a sua substituição, recomenda-se que, após a lavagem do FIME, o mesmo seja utilizado para o tratamento de toda a água bruta e que a água tratada seja armazenada e outra caixa d'água própria para a água tratada. Como proposta de utilização da biomassa degradada, sugere-se que seja realizada a compostagem desta para que posteriormente seja utilizada como adubo.

A vazão do tratamento FIME foi de 150 litros por hora e, portanto, pode ser facilmente utilizado para abastecimento familiar ou comunitário, sendo capaz de tratar uma caixa d'água de 1500 litros em apenas 10 horas de funcionamento.

Conclusões

Este trabalho teve seu objetivo atingido pois percebe-se que a tecnologia social proposta de filtração em múltiplas etapas é capaz de tornar a água de barreiro trincheira própria para uso humano e com posterior desinfecção com hipoclorito de sódio e microfiltração em filtro de barro com elemento filtrante contendo carvão ativado e prata coloidal, é possível também tornar a água de barreiro trincheira em uma água segura para consumo humano. Ao final de todo processo, obteve-se uma redução de 100% dos coliformes totais, 100% da *Escherichia coli*, 99,52% da cor aparente, 97,66% da turbidez. Todos os equipamentos e sistemas utilizados na construção, montagem e tratamento da água são conhecidos e de fácil acesso pela comunidade.

A água tratada pelo FIME já está totalmente apta para uso humano como banho, irrigação, hidratação de animais e outros usos não potáveis, sendo que a água para ser consumida deve ser tratada posterior ao tratamento FIME com o hipoclorito de sódio e o filtro de barro.

Como recomendação de trabalhos futuros, propomos que seja analisada o uso de carvão

ativado feito com a biomassa já utilizada no FIME de MO para auxiliar na redução da turbidez da água sem a necessidade do uso do filtro de barro.

Além disto, propomos o estudo de outras finalidades desta biomassa degradada no tratamento da água como alimentação de animais e produção de cogumelos.

Agradecimentos

Agradece ao IFS (Instituto Federal de Sergipe) pelo processo de afastamento N° 23288.000359/2021-46 para o curso de doutorado.

Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7353:2014: Soluções aquosas - Determinação do pH com eletrodos de vidro. Rio de Janeiro.
- AGRA, Ticiania Ayres; FERREIRA, Ângelo Thomás Pimentel; SOUZA, Victor Cantalice de; BARBOZA, Marcio Gomes; LIMA, Luciano Lopes. USO DO FILTRO LENTO NA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA. In: XIVTH IWRA WORD WATER CONGRESS, 14., 2011, Pernambuco. PAP006035 - USO DO FILTRO LENTO NA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA. Recife: Iwra, 2011. p. 1-20. Disponível em: https://iwra.org/member/congress/resource/PA_P00-6035.pdf. Acesso: 09 mai. 2022.
- AGRA, C.A. (2009) Tratamento de águas residuárias domésticas em reatores de biomassa dispersa e biomassa aderida Dissertação (Mestrado) - Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. Disponível em: https://silo.tips/queue/clelia-de-almeida-agra?&queue_id=-1&v=1652102630&u=MTM4LjEyMi44Ni4xMTQ=. Acesso: 09 mai. 2022.
- APHA (1992) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Edition, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), Washington DC.
- Aziz, N. F. A., Jayasuriya, N., Fan, L., & Al-Gheethi, A. (2021). A low-cost treatment system for underground water using *Moringa oleifera* seeds and Musa cavendish peels for remote communities. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 96(3), 680–696. <https://doi.org/10.1002/jctb.6581>. Acesso: 25 abr. 2023
- Balbinoti, JA, Beghetto, C., Silva, LN, Coral, LA, & De Jesus Bassetti, F. (2018). Uso de sementes de *Moringa oleifera* como agente coagulante para o tratamento de água. Revista Brasileira De Geografia Física. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.5.p1748-1760>. Acesso: 22 mai. 2022
- BRASIL. Projeto de Lei nº 111, de 2011. Institui A Política Nacional de Tecnologia Social. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/99555>. Acesso: 22 mai. 2022
- BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021. Portaria Gm/MS N° 888. BRASIL, BRASÍLIA, 07 maio 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso: 22 mai. 2022
- BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Banco de Dados Meteorológicos do INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, BRASIL, 2022. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso: 22 mai. 2022
- Camacho, FP, Teixeira, MR, & Bergamasco, R. (2017b). O uso da *Moringa oleifera* como coagulante natural no tratamento de águas superficiais. Chemical Engineering Journal , 313 , 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>. Acesso: 18 jul. 2022
- Desta, W. M., & Bote, M. E. (2021). Wastewater treatment using a natural coagulant (*Moringa oleifera* seeds): optimization through response surface methodology. Heliyon, 7 (11), e08451. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451>. Acesso: Acesso: 25 abr. 2023
- DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e->

[financiamento/historico-de-programas/prosab/aguas_de_abastecimento.pdf](#). Acesso: 22 mai. 2022

Dzuovor, C. K. O., Pan, S., Amanze, C., Amuzu, P., Asakiya, C., & Kubi, F. (2021). Bioactive components from *Moringa oleifera* seeds: production, functionalities and applications – a critical review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(2), 271–293. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1931804>. Acesso: 25 abr. 2023

FREITAS, Ana Maria Araújo de et al. TRATAMENTO DE ÁGUA POR ADSORÇÃO CONTAMINADA COM BACTÉRIA *Pseudomonas aeruginosa* USANDO BUCHA VEGETAL: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE pH, MASSA DE ADSORVENTE E AGITAÇÃO NO PROCESSO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE, 3., 2015, João Pessoa. Anais [...] . [S.L.] João Pessoa: Congestas, 2015. v. 3, p. 766-771. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2015/trabalhos/pdf/congestas2015-et-07-016.pdf>. Acesso: 10 jun. 2022

HUISMAN, L.; WOOD, W. E. Slow sand filtration. Geneva, Belgium: World Health Organization, 1974. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38974/9241540370.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>. Acesso: 10 jun. 2022

LIMA, N. M. Aplicação de *Moringa oleífera* no tratamento da água com turbidez, 2015. Dissertação (mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2015. 56 páginas.

Madrona, GS, Da Silva Scapim, MR, Tonon, L. a. C., Reis, MG, Paraíso, CM, & Bergamasco, R. (2017). Uso da *Moringa oleifera* em um Processo Combinado de Coagulação-filtração para Tratamento de Água. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1195–1200. <https://doi.org/10.3303/cet1757200>. Acesso: 10 jun. 2022

Nordmark, BA, Bechtel, TM, Riley, JG, Velegol, D., Velegol, SB, Przybycien, TM, & Tilton, RD (2018). Adsorção de Proteína de Semente de

Moringa oleifera à Sílica: Efeitos da Dureza da Água, Fracionamento e Extração de Ácidos Graxos. *Langmuir*.

<https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00191>. Acesso: 12 set. 2022

Oladoja, NA, & Zhao, X. (2015). Modificação do solo/areia local com extratos de *Moringa oleifera* para remoção eficaz de florescências de cianobactérias. *Química e Farmácia Sustentáveis*, 2, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2015.08.003>. Acesso: 10 jun. 2022

Paixão, RM, Reck, IM, Da Silva, L. a. F., Takaoka, A. a. B., Bergamasco, R., & Vieira, MLC (2020b). Descoloração de água contaminada com corante têxtil através de um processo combinado de coagulação/floculação e separação por membrana com diferentes coagulantes naturais extraídos de *Moringa oleifera* Lam. sementes. *Jornal Canadense de Engenharia Química*. <https://doi.org/10.1002/cjce.23932>. Acesso: 25 abr. 2023

SANTOS, Luam de Oliveira. ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS INDUSTRIAIS POR ÁGUA DE CHUVA: UMA ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA. 2016. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Cap. 5. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/9145/2/arquivototal.pdf>. Acesso: 25 out. 2023

SANTOS, L., SOUSA, I. F., BARBOSA, S.A., & SILVA, G.F., (2023). Análise da Eficiência de Diferentes Biomassas no Tratamento da Água "Barreiro Trincheira" para Consumo Humano. *Revista De Gestão Social E Ambiental - RGSA*, 17 (1), e03000. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n1-025>. Acesso: 25 abr. 2023

SILVEIRA, Leonardo Ramos da; COUTINHO, Maycol Moreira. Utilização de Filtro de Múltiplas Camadas para remoção de Turbidez. *Revista Tecnia - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFG: MEIO AMBIENTE*, Goiânia, v. 1, n. 2, p. 65-78, 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/60475901-Utilizacao-de-filtro-de-multiplas-camadas->

[para-remocao-de-turbidez.html](#). Acesso: 20 ago. 2022

Valverde, KC, De Souza Paccola, EA, Pomini, AM, Yamaguchi, NU, & Bergamasco, R. (2018b). Tratamento de água combinado com extrato natural de *Moringa oleifera* Lam e coagulante sintético. Revista Ambiente & Água, 13 (3), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2135>. Acesso: 20 mai. 2022

Veras, LRV, & Di Bernardo, L. (2008b). Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas - FIME. Engenharia Sanitária E Ambiental, 13 (1), 109–116. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522008000100014>. Acesso: 13 abr. 2022

VIEIRA, M.E.A.G.; DE SIQUEIRA, E.Q.; BRANDÃO, C.C.S.; CAMPOS, L.C. Avaliação da Filtração em Múltiplas Etapas para Remoção de Turbidez de Águas Superficiais. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG - CONPEEX, 2., 2005, Goiânia. Anais eletrônicos do XIII Seminário de Iniciação Científica [CD-ROM], Goiânia: UFG, 2005. n.p. Disponível em: https://projetos.extras.ufg.br/conpeex/2005/porta_arquivos/outras/MariaEulinaAiresGon%C3%A7alvesVieira_Filtra%C3%A7%C3%A3oemM%C3%BAltiplasEtapasparaRemo%C3%A7%C3%A3odeTurbidezde%C3%81guas_494.pdf. Acesso: 3 set. 2022

Yamaguchi, NU, Cusioli, LF, Quesada, HB, Ferreira, MEC, Fagundes-Klen, MR, Vieira, AT, Gomes, RG, & Bergamasco, R. (2021b). Uma revisão das sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de água: tendências e desafios futuros. Chemical Engineering Research & Design, 147, 405–420. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.044>. Acesso: 25 abr. 2023

CAPÍTULO IV

RESULTADOS OBTIDOS – ARTIGO 3:

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE FILTRAÇÃO DE ÁGUA POR MÚLTIPLAS
ETAPAS VS MÚLTIPLAS CAMADAS COM BIOMASSA DE MORINGA OLEÍFERA
E BUCHA VEGETAL.**



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Análise de eficiência de filtração de água por múltiplas etapas vs múltiplas camadas com biomassa de *Moringa oleífera* e bucha vegetal

Luam de Oliveira Santos¹; Inajá Francisco de Sousa²; Gabriel Francisco da Silva³; Silvanito Alves Barbosa⁴; Nídia de Sá Caetano⁵

¹ Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, luam.santos@ifs.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3200-8974> (autor correspondente)

² Doutor em Recursos Naturais, Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, inajafrancisco@academico.ufs.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6732-0963>

³ Doutor em Engenharia de Alimentos, Programa de Pós Graduação em Biotecnologia - RENORBIO, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, gabriel.silva@ufs.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9622-2518>

⁴ Doutor em Biotecnologia, Departamento de Petróleo e Gás, Instituto Federal de Sergipe. Aracaju - SE, CEP: 49055-260, silvanito.barbosa@ifs.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0712-7533>

⁵ Doutora em Engenharia Química, LEPABE - Laboratory for Process Engineering, Environment, Biotechnology and Energy, Faculty of Engineering, University of Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal and Alice - Associate Laboratory in Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal, and School of Engineering (ISEP), Polytechnic of Porto (P.Porto), Rua Dr. António Bernardino de Almeida 431, 4249-015 Porto, Portugal, nsc@isep.ipp.pt, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2185-6401>

Artigo recebido em 19/04/2023 e aceito em 17/05/2023

RESUMO

O problema de pesquisa é tornar a água de um barreiro trincheira, de péssima qualidade para consumo humano, em uma água de qualidade e segura para seu consumo, utilizando técnicas simples e de baixo custo que possam ser replicadas pela comunidade. O uso da *Moringa oleífera* (MO) apresenta-se como boa alternativa de agente coagulante, indicada no sistema de tratamento de água, no seu processo de clarificação, sendo biodegradável, dessa forma justifica-se o estudo do seu uso como tecnologia social a ser utilizada por populações ribeirinhas para tratamento da água de forma simples e eficaz. A hipótese desse projeto é: um sistema de tratamento de água utilizando coagulação com semente de MO e filtração em múltiplas etapas com biomassa de MO e bucha vegetal é eficaz no tratamento da água de barreiro trincheira para uso e consumo humano. Este projeto teve como objetivo a construção e avaliação das eficiências de sistemas de tratamento de água por filtração em múltiplas etapas (FIME) e de sistemas de filtração em múltiplas camadas (FMC), ambas utilizando as biomassas de MO e a bucha vegetal, utilizados como tecnologia social de tratamento de água do barreiro trincheira pela comunidade. O projeto foi realizado em parceria da UFS com o IFS onde foram analisados parâmetros da água bruta assim como da água após os tratamentos. Os parâmetros analisados foram, pH, cor aparente, turbidez, dureza total, dureza de cálcio, dureza de magnésio, cloretos, sódio, lítio e potássio, além das análises microbiológicas de coliformes totais e *Escherichia coli*. Nos resultados encontrados podemos perceber grandes vantagens na utilização do sistema FIME em relação ao sistema FMC, obtendo-se redução de até 96,91% da turbidez e 98,19% na cor aparente, entre a água bruta e a água após os tratamentos propostos, além deste ser indicado para tratamento domiciliar ou até mesmo comunitário com vazão de operação de até 150 litros por hora.

Palavras-chave: Bucha vegetal; Desenvolvimento Sustentável; Filtração lenta; *Moringa oleífera*; Tecnologia social.

Efficiency analysis of water filtration through multiple stages vs multiple layers with *Moringa oleifera* and vegetable loofah biomass

Abstract

The research problem is to turn water from “barreiro trincheira”, of poor quality for human consumption, into quality and safe water for human consumption, using simple and low-cost techniques that can be replicated by the community. *Moringa oleifera* (MO) is a good alternative coagulant agent, indicated in the water treatment system, in its clarification process. Being biodegradable, thus justifying the study to be employed as a social technology to be used by riverside populations. The hypothesis of this project is: a water treatment system using coagulation with MO seed and multi-stage filtration (FIME) with MO and vegetable loofah biomass is effective in treating “barreiro trincheira” water for human use and consumption. This project aimed to build and evaluate the efficiencies of water treatment systems by multi-stage filtration compared to multi-layer filtration (FMC), both using MO and vegetable loofah biomass, used as a social

treatment technology of the “barreiro trincheira” water by the community. The project was carried out in a partnership between UFS and IFS, where raw water parameters were analyzed as well as of treated water. The parameters analyzed were pH, apparent color, turbidity, total hardness, calcium hardness, magnesium hardness, chlorides, sodium, lithium and potassium, in addition to microbiological analyzes of total coliforms and *Escherichia coli*. In the results found, we can perceive great advantages in the use of the FIME system compared to the FMC system, obtaining a reduction of up to 96.91% in turbidity and 98.19% in the apparent color of the water after the proposed treatments, in addition the FIME system is indicated for home or even community treatment with an operating flow of up to 150 liters per hour.

Keywords: *Moringa oleifera*; Slow filtration; Social technology; Sustainable Development; Vegetable loafah.

Introdução

O projeto tem como tema tecnologias sociais e desenvolvimento sustentável, sendo a linha de pesquisa tratamento alternativo da água para consumo humano, tendo como motivação a redução do uso de produtos químicos no tratamento da água, e a sua substituição por produtos naturais de baixo custo, visando possibilitar maior autonomia de populações ribeirinhas no consumo de água segura e de qualidade de forma simples e segura.

É recorrente o sofrimento da região agreste sergipana com a escassez de água, sendo que nos últimos dez anos a região tem uma média de apenas 282 mm de chuva por ano. (Brasil, 2022). Várias comunidades dessa região fazem uso de tecnologias sociais como cisternas de placa, cisternas calçadão e barreiro trincheira para suprir suas necessidades hídricas. Dentro deste contexto, esta pesquisa busca melhorar a qualidade da água do barreiro trincheira utilizado pela comunidade do povoado de Santa Rita no município de Nossa Senhora Aparecida, em Sergipe, tornando-a segura para uso e consumo humano.

Para Dzuvoor et al. (2021) a utilização *Moringa oleífera* Lam (MO) apresenta-se como uma gama de potenciais benefícios para saúde humana com propriedades anticancerígenas, antidiabéticas, antioxidantes, anti-inflamatórias e além disso, suas sementes e tortas podem ser utilizadas no processo de tratamento de água na coagulação, floculação e como adsorventes por sua capacidade de eliminação de micróbios e matéria orgânica.

Dessa forma, justifica-se o estudo da viabilidade do uso da *Moringa oleífera* (MO) como alternativa para tratamento da água para consumo humano.

A hipótese desse projeto é: Um sistema de tratamento de água utilizando coagulação com semente de MO e filtração simples com biomassa de *Moringa oleífera* e bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) é eficaz no tratamento da água de barreiro trincheira para uso e consumo humano, seja com uso de sistema de bombeio ou por gravidade.

Este projeto tem como objetivo a construção e avaliação das eficiências dos sistemas de tratamento de água por filtração em múltiplas etapas (FIME) em comparação com a filtração em múltiplas camadas (FMC), ambas utilizando as biomassas de MO e a bucha vegetal, utilizado como tecnologia social de tratamento de água do barreiro trincheira pela comunidade.

Para isto, utilizaremos a MO uma planta tropical que pertence à família *Moringaceae*. Em torno de catorze espécies já foram identificadas e todas possuem propriedades coagulantes em diferentes graus de coagulação (Oladoja e Pan, 2015).

Resultados positivos no tratamento da potabilização da água também foram encontrados por Madrona et al. (2017), no uso da *Moringa oleífera* Lam num processo combinado de Coagulação/Floculação com ultrafiltração obtendo água de alto nível de qualidade para consumo humano após o processo.

A bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) é um fruto encontrado em todo território brasileiro, popularmente conhecida como esponja vegetal, bucha de metro, esfregão, maxixe do mato, entre outros nomes. Ela é pertencente à mesma família do melão, melancia, pepino e abóboras. De fácil cultivo, trata-se de um produto que não agride ao meio ambiente por ser biodegradável e de fonte renovável (Lima, 2014).

Referencial teórico

Neste tópico apresentaremos o referencial teórico que seguiu de base para nossa pesquisa, sendo este dividido nos seguintes tópicos: uso da *Moringa oleífera* e bucha vegetal como forma alternativa ao tratamento da água; tecnologia de filtração em múltiplas etapas e tecnologia social.

Uso da *Moringa oleífera* e Bucha Vegetal Como Forma Alternativa ao Tratamento da Água

A MO possui propriedades poliméricas naturais que vem notoriamente ganhando destaque no tratamento da água pela sua contribuição ao desenvolvimento sustentável através da redução do uso de produtos químicos, atuando como agente clarificador devido a presença de uma proteína

catiônica que desestabiliza as partículas contidas em um meio líquido. (Madrona *et al.*, 2017). Ela possui ativos biocoagulantes que podem ser utilizados no tratamento de clarificação, filtração, sedimentação e floculação da água, reduzindo o uso de coagulantes de base química (Camacho *et al.*, 2017), (Valverde *et al.*, 2018).

Estudos mostram que os usos da MO podem reduzir em até 85% a turbidez da água, além de ser capaz de remover de 40% a 50% também da matéria orgânica presente na água (CAMACHO *et al.*, 2017).

Segundo Nordmark *et al.* (2018), os resultados de suas pesquisas concluem que proteínas de *Moringa oleífera* adsorvem irreversivelmente com relação ao enxágue no modelo de água utilizado, sugerindo que a areia modificada com as proteínas da moringa é estável em uso repetido de filtração da água, tornando assim um dispositivo de filtração de água simples, eficaz e sustentável.

Resultados positivos no tratamento da potabilização da água também foram encontrados por Madrona *et al.* (2017), no uso da *Moringa oleífera* Lam num processo combinado de Coagulação/Floculação com Ultrafiltração obtendo água de alto nível de qualidade para consumo humano após o processo.

Estudos realizados por Freitas *et al.* (2015), no tratamento da água contaminada por bactérias específicas, mostram que a bucha vegetal é eficiente como adsorvente no tratamento alternativo da água contaminada, tendo sua maior eficiência em pH mais básico e sem agitação da água.

Filtração em Múltiplas Etapas (FIME)

A filtração em múltiplas etapas (FIME), se destaca por ser um sistema de simples manuseio e construção, com baixo custo de implementação e que dispensa o uso de instrumentação. Além disso, se destaca por ser uma tecnologia adequada às zonas rurais e grande parte dos pequenos municípios onde a coagulação química não se mostra como uma opção sustentável (Vieira *et al.*, 2005; Veras; Di Bernardo, 2008).

O sistema de filtração em múltiplas etapas consiste na sequência do pré-filtro dinâmico, pré-filtro grosseiro, de pedregulho, que pode ser escoamento horizontal ou vertical ascendente ou descendente e o filtro lento (Vieira *et al.*, 2005).

A água passa por sucessivas etapas de tratamento com progressiva remoção de substância sólidas. O princípio básico de cada etapa é melhorar a qualidade de seu efluente para que possa ser submetido ao tratamento posterior, sem

sobrecarregá-lo (Di Bernardo; Brandão; Heller, 1999).

Tecnologia Social

A tecnologia social é definida na lei Nº 111 de 2011 do senado federal como um conjunto de atividades desenvolvidas da organização, desenvolvimento e aplicação que aliam o saber popular, organização social e conhecimento técnico-científico, voltadas à inclusão social e melhoria da qualidade de vida (Brasil, 2011).

O ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações traz que o conceito de tecnologia social estabelece 4 dimensões, sendo elas:

- Conhecimento, ciência, tecnologia. Tem como ponto de partida os problemas sociais; é feita com organização e sistematização além de que introduz ou gera inovação nas comunidades;
- Participação, cidadania e democracia. Enfatiza a cidadania e a participação democrática; adota a metodologia participativa nos processos de trabalho e impulsiona sua disseminação e reaplicação;
- Educação. Realiza um processo pedagógico por inteiro; se desenvolve num diálogo entre saberes populares e científicos além de ser apropriada pelas comunidades, que estas ganham autonomia;
- Relevância social. É eficaz na solução de problemas sociais; tem sustentabilidade ambiental; provoca a transformação social (Brasil, 2011).

Materiais e Método

Este projeto tem método de abordagem hipotético-dedutivo, podendo ser classificada como pesquisa aplicada, quantitativa, exploratória, experimental e estudo de caso. Os meios utilizados serão, pesquisa de campo, laboratório, bibliográfico, experimental e estudo de caso.

Caracterização do Objeto de Estudo

A coleta da água para experimentos ocorreu no município de Nossa Senhora Aparecida região agreste central do estado de Sergipe no povoado de Santa Rita em um barreiro trincheira, localização latitude: -10,3335666; longitude: -37,5071187 conforme figura 1, usado pela população para irrigação e consumo de hidratação dos animais.

Análises realizadas através de dados disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), nos últimos 10 anos choveu aproximadamente uma média de apenas 282,02

mm de chuva por ano, sendo que não chove na região desde novembro de 2021 (Brasil, 2022).



Figura 1. Barreiro Trincheira na comunidade de Santa Rita na cidade de Nossa Senhora Aparecida

Foi coletada a água do barreiro e alimentado um tonel de 220 litros que foi utilizado posteriormente como fonte de água bruta para alimentação dos filtros utilizados nas análises.

Construção do Filtro de Múltiplas Etapas Domiciliar

Forem feitas adaptações ao sistema de FIME proposto por Di Bernardo; Brandão; Heller (1999) apresentado anteriormente nos referenciais teóricos, sendo que foi utilizado 3 recipientes de 30 litros cada, na sequência que segue, como pré-filtro grosseiro, filtro lento e filtro de biomassa, todos com fluxo descendentes e 1 recipiente de 220 litros com a água bruta selecionada, conforme podemos verificar na Figura 2.



Figura 2. Sistema de FIME domiciliar montado para experimentos.

No recipiente do filtro grosseiro utilizou-se 20 cm de brita grossa (Nº 2) (3/4"-19,05 mm) na

parte superior e 20 cm de brita fina (Nº0) (aproximadamente 5 mm) na parte inferior.

No recipiente do filtro lento, foi utilizado uma camada suporte de brita grossa na parte inferior de 10 cm e 15 cm de areia grossa (granulometria 1,42 a 2,4 mm) na parte superior e 15 cm de areia fina (granulometria 0,08 a 1,0 mm) na parte inferior.

No recipiente do filtro de biomassa, foi utilizado uma camada suporte de brita grossa na parte inferior de 10 cm e 20 cm de torta de *Moringa oleífera*, figura 3, na parte inferior e 10 cm de bucha vegetal cortada com tamanho de 4 a 5 cm de comprimento, na parte superior, como pode ser visto na Figura 3, como utilizado por Agra (2009).

Estas quantidades de MO e bucha vegetal foram utilizadas baseadas nas análises efetuadas por Santos *et al.* (2023), onde determinou-se que a biomassa de MO é mais eficiente no tratamento da água, porém a bucha vegetal auxilia a evitar a colmatação dos filtros por parte da MO, neste caso, utilizou-se a proporção de 70:30 entre MO e bucha vegetal.

Para separação de cada componente dentro dos recipientes foi utilizado tela de nylon de malha 4 mm x 7 mm. Assim como foi utilizado também a malha na conexão do flange de saída de cada recipiente.

Em cada recipiente de 30 litros, que tem uma altura de 50 cm, foi reservado os 10 cm superiores para camada livre com água.

Foi utilizado uma bomba centrífuga de ½ cv para sucção da água bruta armazenada no recipiente de 220 litros. Foi preparada uma linha auxiliar de retorno (*by pass*) para controle de vazão da bomba sem danificá-la.

Após a montagem, todo o sistema de filtração deve ser lavado para limpeza e redução da contribuição da MO na cor aparente da água. Nessa lavagem, foi utilizado 100 litros de água. Essa água não precisa ser descartada, podendo esta ser utilizada para irrigação.

É recomendado que a filtração ocorra de forma contínua, ou seja, uma vez lavado o filtro, é recomendado que seja efetuado o tratamento de toda a água do reservatório de água bruta e armazenada então em um outro reservatório a água tratada.

No Quadro 1 encontramos a lista de material utilizada na construção do FIME assim como o custo de cada material.



Figura 3. (A) Torta da *Moringa oleífera* seca; (B) Bucha vegetal cortada.

Quadro 4. Lista de material utilizado na construção do FIME.

Material	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Tubo 32 mm	3 m	29,90	29,90
Flange 32 mm	3 und.	25,60	76,80
Flange 25 mm	3 und.	13,90	41,70
Joelho 32 mm	8 und.	5,70	45,60
Registo esfera 32 mm	3 und.	28,70	86,10
Tê 32 mm	2 und.	9,90	19,80
Bomba centrífuga ½ cv	1 und.	189,00	189,00
União Roscável 32 mm	5 und.	16,90	84,50
União Roscável 25 mm	3 und.	11,20	33,60
Mangueira 32mm	1 m	15,00	15,00
Mangueira 20 mm	1 m	4,79	4,79
Adaptador para mangueira 32 mm	2 und	4,30	8,60
Adaptador para mangueira 20 mm	1 und.	1,85	1,85
Recipiente de 220 litros	1 und.	120,00	120,00
Recipiente de 30 litros	3 und.	40,00	120,00
Niple 32 mm	11 und.	3,40	37,40
Niple 25 mm	3 und.	1,64	4,92
Luva Redução 32x25 mm	3 und.	2,90	8,70
Luva Redução 32x20 mm	1 und.	3,19	3,19
Válvula de Retenção para poço 32 mm	1 und.	50,00	50,00
Valor Total:			R\$ 981,45

Construção do Filtro de Múltiplas Camadas Domiciliar

O filtro de múltiplas camadas (FMC) também foi uma adaptação do sistema de FIME proposto por Di Bernardo; Brandão; Heller (1999), sendo que neste filtro ao invés de etapas que se constituem de 3 filtros diferentes na horizontal, o filtro de múltiplas camadas é formado por dois filtros na vertical interligados, formando um único filtro dividido em 3 camadas, conforme podemos verificar na Figura 4.

O filtro foi construído em tubo de PVC de 100 mm de diâmetro sendo o filtro superior com altura de 1 metro e o filtro inferior com altura de 0,40 metros.



Figura 4. Sistema de FMC domiciliar montado para experimentos.

As camadas na sequência do fluxo da água, ou seja, da camada mais superior para a camada mais inferior são:

- 20 cm de altura de água livre;
- Camada de pré-filtro grosseiro formado de 20 cm de brita grossa na parte superior e 20 cm de brita fina na parte inferior;
- Camada de filtro lento formado de 20 cm de areia grossa na parte superior e areia fina na parte inferior, além de brita fina como camada suporte;
- Filtro de biomassa com 10 cm de bucha vegetal na camada superior e 20 cm de torta de MO na parte inferior além de 10 cm de camada suporte formada com brita fina.

A brita grossa, brita fina, areia grossa, areia fina, torta de moringa oleífera e bucha vegetal seguiram os mesmos procedimentos descritos no tópico 4.3.

Entre cada elemento foi utilizado uma tela de nylon de malha 4 mm x 7 mm para separar os componentes. Também foi utilizada a mesma tela no niple de 32 mm na saída do flange sendo utilizado como uma forma de filtro.

A lavagem de todo o filtro até a contribuição da moringa no aumento da cor aparente da água ser mínima utilizou-se aproximadamente 40 litros de água.

Para o suporte do filtro foi construído um suporte feito de tubo de PVC de ¾", porém, é recomendado o uso de uma tubulação de pelo menos 1" para que se obtenha uma melhor sustentação.

No Quadro 2 encontramos a lista de material utilizada na construção do FMC assim como o custo de cada material.

Quadro 5. Lista de material utilizado na construção do FMC.

Material	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Tubo 100 mm	2 m	13,00	26,00
Flange 32 mm	3 und.	25,60	76,80
União Roscável 32 mm	1 und.	16,90	16,90
CAP	3 und.	7,90	23,70
Niple 32 mm	3 und.	3,40	10,20
Total			153,60

Análises Físico-Químicas e Microbiológicas

Foram efetuadas algumas análises físico-químicas diretamente no barreiro trincheira através de uma sonda multiparâmetro modelo Horiba U-52 e os parâmetros analisados *in loco* foram: temperatura, pH, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e salinidade, sendo que além desses, foram analisados em laboratório parâmetros de cor aparente, acidez total, acidez carbônica, dureza total, dureza de

cálcio, dureza de magnésio, alcalinidade, cloretos, sódio, lítio e potássio, além das análises microbiológicas de coliformes totais e *Escherichia coli*, conforme pode ser verificado no quadro 3. Todas as análises foram efetuadas em triplicatas e de cada tratamento foi coletado três amostras, tendo um total de nove análises por parâmetro, sendo os resultados apresentados em média e desvio padrão.

Quadro 3. Métodos de análises físico-químicas e microbiológicas

Parâmetro	Método	Unidade	Referência
pH	Método potenciométrico	adimensional	NBR 7353
Cor	Método colorimétrico	UC	SM 2120
Turbidez	Método nefelométrico	uT	SM 2130 B
Condutividade	Método condutométrico	(µS)/cm	SM 2510 B
Sólidos Totais Dissolvidos	Método condutométrico	ppm	SM 2540
Alcalinidade Total e Parcial	Volumetria de neutralização	ppm CaCO ₃	SM 2320 B
Acidez Total e Carbônica	Volumetria de neutralização	ppm CaCO ₃	SM 2310
Dureza total, de Cálcio e Magnésio	Volumetria de complexação	ppm CaCO ₃	SM 2340 B
Cloretos	Volumetria de precipitação	ppm Cl ⁻	SM 4500

Sódio, Lítio e Potássio	Espectrofotometria de chama	ppm	SM 3111
Coliformes Totais	Método de tubos múltiplos	NMP/100ml	SM 9221
<i>Escherichia coli</i>	Método de tubos múltiplos	NMP/100ml	SM 9221

Jar Test

Antes do tratamento da água, foi efetuado previamente o teste de jarro para encontrar-se a proporção de coagulante ideal para o processo de coagulação da água bruta. Foi utilizado semente de moringa descascada, triturada em liquidificador e peneirada em peneira doméstica de malha com abertura de 2,5 mm até a obtenção de uma farinha fina, conforme Figura 5.

Para identificar a concentração ideal de coagulante foi efetuado o teste de jarro, com concentrações de

0,6, 0,8 e 1,0 g/L, agitação rápida em 300 rpm por 2 minutos e agitação lenta em 45 rpm por 10 minutos e período de decantação de 2 horas. Após esse procedimento, foi coletado o sobrenadante de cada becker de vidro e analisados os parâmetros de cor aparente e turbidez. Como podemos verificar no quadro 4 a seguir, encontrando-se que a concentração ideal de coagulante é de 0,8 g/L. Sendo esta concentração utilizada posteriormente para coagulação da água bruta.



Figura 5. Processo de beneficiamento da semente de moringa para obtenção do coagulante em pó.

Quadro 4. Métodos de análises físico-químicas e microbiológicas

0,6 g/L		0,8 g/L		1,0 g/L	
Turbidez (NTU)	Cor (UC)	Turbidez (NTU)	Cor (UC)	Turbidez (NTU)	Cor (UC)
31,77±0,06	72,17±0,11	28,3±0,00	63,03±0,29	30,9±0,00	68,7±0,10

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Resultados e Discussões

Primeiramente apresentar-se-á a caracterização físico-química de pH, cor aparente e

turbidez da água bruta; água coagulada; água após o processo de tratamento FIME; e água após o processo de tratamento FMC, conforme quadro 5 a seguir.

Quadro 5. Caracterização físico-química das amostras e vazão.

Amostra	Cor (UC)	Turbidez (NTU)	pH	Vazão (L/h)
Água bruta	1864±2,53	383,67±0,04	8,49±0,08	
Água Coagulada	63,10±0,21	28,30±0,06	7,33±0,02	
FIME	33,68±0,19	11,86±0,02	6,40±0,06	150
FMC	69,46±0,01	23,65±0,01	6,59±0,04	1,30
Limites GM/MS N° 888 de 2021	15 UC	5 NTU	6,0 – 9,5	

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Cor, Turbidez e pH

Com esta caracterização inicial pode-se perceber que a coagulação com a farinha de semente de MO na concentração de 0,8 g/L na água bruta proveniente do barreiro trincheira foi responsável pela redução de 92,62% na turbidez e de 96,62% na cor. Estes resultados estão compatíveis com Lima (2015) que obteve redução de aproximadamente 100% na turbidez, Madrona *et al.* (2017) que também obteve redução de aproximadamente 99% nos parâmetros analisados após o tratamento utilizando a MO e Valverde *et al.* (2018) que obteve redução de 70% de turbidez e 75% de cor aparente com a utilização da semente de MO como agente coagulante.

Além da coagulação, o tratamento de filtração em múltiplas etapas foi responsável pela redução de 58,09% da turbidez e 46,62% da cor aparente da água coagulada. Em trabalhos como o de Di Bernardo, Brandão e Heller (1999), atingiu-se redução de até 70% na remoção da turbidez e até 45% na remoção da cor verdadeira, já no trabalho de Silveira e Coutinho (2016) mostram uma redução média de 66,9% na remoção da turbidez. Esses valores dependem da turbidez inicial da água bruta.

Foi utilizado o software Prism 9 da Graphpad com teste unidirecional ANOVA e significância de 5% para análises das diferenças estatísticas na construção dos gráficos apresentados na Figura 6.

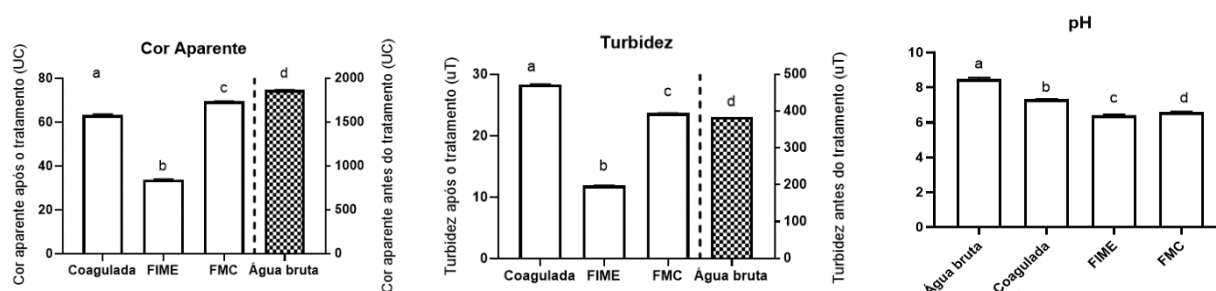


Figura 6. Gráficos de cor aparente, turbidez e pH das amostras.

Fonte: Autores, 2023.

Primeiramente deve-se considerar que estes gráficos de Cor Aparente e Turbidez, utilizam-se de eixo auxiliar a direita com escala diferente. Isto faz-se necessário devido os valores encontrados de cor e turbidez da água bruta serem muito mais elevados que após os tratamentos.

Dito isto, para análise de todos os gráficos, utilizamos letras iguais para amostras que não são significativamente diferentes do ponto de vista estatístico e letras diferentes para amostras que são significativamente diferentes estatisticamente.

Conforme dito anteriormente, é perceptível a significativa redução da cor aparente e turbidez da água após o processo de filtração em múltiplas etapas. Com relação ao filtro de múltiplas camadas, percebe-se que houve uma elevação da cor aparente, quando comparada com a água coagulada e, apesar de significativa, porém, baixa redução da turbidez. Esta elevação na cor aparente

e baixa redução da turbidez podem ser explicados devido à baixíssima vazão do FMC que dificulta sua lavagem ao ponto de reduzir a contribuição da MO na elevação da cor.

Em relação ao pH, percebe-se que a coagulação com a semente de MO reduziu significativamente o pH da água e os tratamentos de FIME e FMC também contribuíram para a redução no pH devido o contato com a MO. Porém, percebe-se que os pH se mantem dentro dos parâmetros aceitáveis pela legislação brasileira para águas de consumo humano, sendo os valores obtidos no tratamento FIME e FMC próximos, variando em torno de 6,40 a 6,59.

Nos tópicos a seguir discutir-se-á os parâmetros físico-químicos da água após os tratamentos propostos, como podem ser verificados no quadro 6, que, para melhor compreensão dos resultados serão apresentados agrupados.

Quadro 6. Resultados das Análises Físico-Químicas

	Água Bruta	Coagulada	FIME	FMC	Valores Limite
Dureza Total	39,13±1,91	36,43±3,31	130,89±1,90	80,96±3,31	500 mg/l CaCO ₃
Dureza Cálcio	18,89±1,91	16,54±3,34	62,07±1,91	32,38±3,31	
Dureza Magnésio	20,24±3,31	19,89±0,49	68,81±0,00	48,58±0,00	
Cloretos	74,92±5,56	72,66±3,21	55,63±1,60	56,77±3,21	250 mg/l

Condutividade	243,31±1,99	250,30±1,73	290,55±1,22	305,00±2,02	1000 mg/l (STD)
Sódio	11,53±0,53	10,77±0,63	16,50±0,08	18,17±0,24	200 mg/l
Lítio	0,21±0,00	0,18±0,00	0,04±0,00	0,04±0,00	
Potássio	20,17±0,05	18,43±0,29	6,50±0,00	16,82±0,13	

Legenda: FB: Filtro de Barro

Dureza Total, Dureza de Cálcio e Magnésio

Com estes resultados representados na Figura 7, podemos perceber que a coagulação com a semente de MO não reduz a dureza da água, seja ela total, de cálcio ou magnésio, assim como ocorre no trabalho de Valverde *et al.* (2018), sendo assim, pode-se afirmar que a coagulação com a semente de MO não interfere de forma significativa na dureza da água.

Contudo, o sistema FIME e FMC contribuem para o aumento da dureza da água, devido a carreação de material da areia, brita e biomassa, além da presença de dióxido de carbono que é produzida pela ação bacteriana no filtro lento contribuindo assim para o aumento da dureza total e proporcionalmente à dureza de cálcio e magnésio. (Huisman e Wood, 1974).

Pode-se perceber também que o sistema FMC contribui para o aumento da dureza em menor quantidade que o FIME, pois devido a sua vazão ser menor que a do FIME, a carreação de material também é significativamente menor. O sistema FIME elevou a dureza total em 234,50%, enquanto o sistema FMC elevou a dureza em 106,90%. Essas elevações na dureza total também podem ser evidenciadas no trabalho de Agra *et al.* (2011) onde, após a filtração lenta, também houveram aumentos significativos da dureza da água tratada. Apesar do aumento na dureza da água após o tratamento, todos os valores obtidos são inferiores ao limite 500 mg/l CaCO₃ recomendado pela portaria GM/MS N° 888 de 2021 para potabilidade.

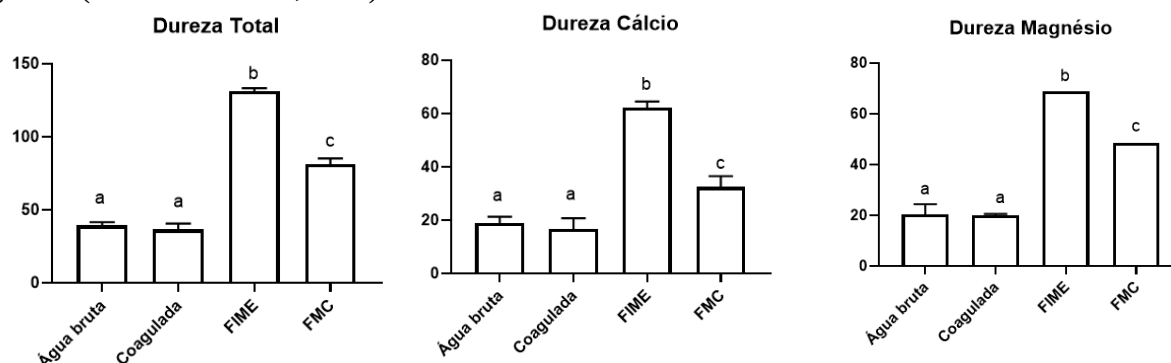


Figura 7. Gráficos de dureza total, dureza de cálcio e dureza de magnésio.

Cloretos e Condutividade

Os resultados de teor de cloretos e condutividade da Figura 8, demonstram claramente que o FIME e o FMC reduzem significativamente a quantidade de cloretos da água bruta, reduzindo estes em até 25,74%, enquanto que a coagulação não é eficiente na redução de cloretos da água. Percebe-se também que não há diferença significativa na quantidade de cloretos da água tratada pelo FIME com a água tratada pelo FMC sendo que os dois tem eficiência de redução de cloretos equivalentes.

Todas as amostras apresentam quantidade de cloretos inferior ao limite 250 mg/l recomendado pela portaria GM/MS N° 888 de 2021 para potabilidade.

Resultados encontrados por Agra *et al.* (2011) mostram que o filtro lento não interfere significativamente na quantidade de cloretos das

amostras, portanto, basicamente a biomassa de MO é a responsável pela redução na quantidade de cloretos no tratamento.

Em relação a condutividade, percebe-se que a coagulação com semente de MO não interfere significativamente neste parâmetro, porém, percebe-se que o FIME e o FMC contribuem para a elevação deste parâmetro em até 25,35% no sistema FMC e 19,42% no sistema FIME.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silveira e Coutinho (2016) em relação ao aumento da condutividade após a filtração em múltiplas etapas. Quanto ao uso da semente de MO como coagulante, resultados semelhantes foram encontrados por Balbinoti *et al.* (2018) onde também não houve redução significativa da condutividade após a coagulação.

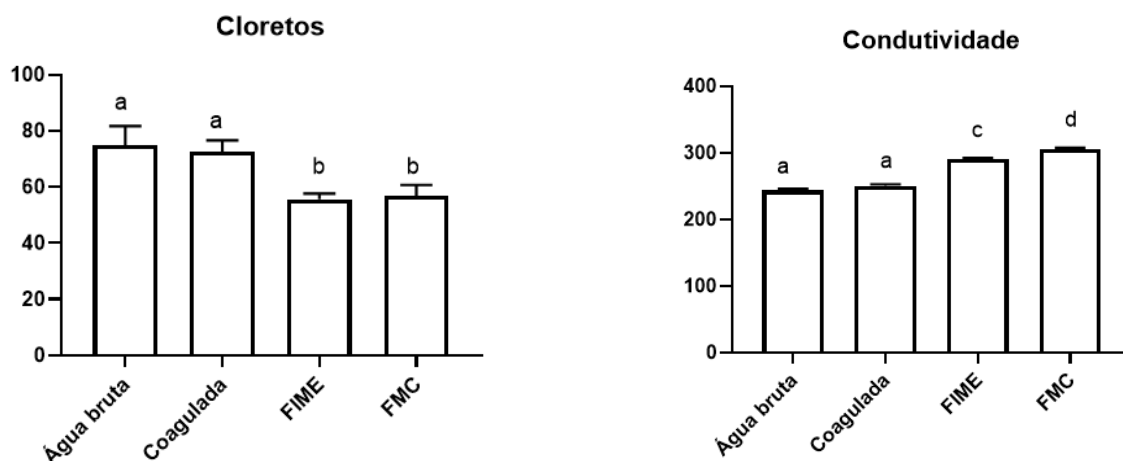


Figura 8. Gráficos de cloretos e condutividade.

Sódio, Lítio e Potássio

Primeiramente, vale salientar que para a discussão dos resultados da presença de Sódio, Lítio e Potássio, fez-se necessário incluir os resultados das amostras dos filtros de: brita e areia; brita, areia e moringa; brita, areia, moringa e bucha; brita, areia e bucha cortada; brita, areia e bucha triturada (Figura 9). Dessa forma, pode-se melhor identificar a influência destas biomassas na variação destes íons analisados.

Em relação ao Sódio, percebe-se que: a coagulação não altera significativamente a quantidade de sódio da água; o sistema de FIME e

FMC propostos contribuem significativamente para o aumento de sódio presente na água e que esta elevação está relacionada com a presença da biomassa de bucha vegetal no sistema, tendo em vista que brita, a areia e a MO não alteraram significativamente a quantidade de sódio na água, além disto, percebe-se que a bucha vegetal triturada contribui mais significativamente para esta elevação que a bucha vegetal cortada e que no sistema FMC esta contribuição é superior devido à baixa vazão, que propicia um maior tempo de contato com as biomassas.

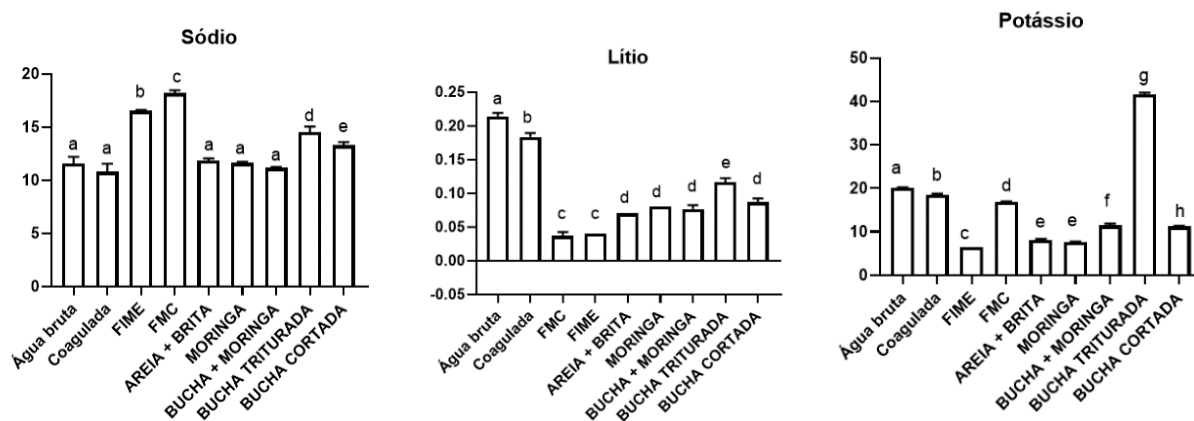


Figura 9. Gráficos de Sódio, Lítio e Potássio.

Todas as amostras analisadas tiveram valores de sódio muito inferiores ao limite 200 mg/l recomendado pela portaria GM/MS Nº 888 de 2021 para potabilidade.

Em relação ao Lítio, percebe-se que: a coagulação reduz significativamente a quantidade de Lítio da água em 14,29%; o filtro lento de areia e brita também reduz significativamente a quantidade de Lítio na água em 61,11%, enquanto a biomassa de bucha vegetal e MO não interferem muito significativamente na alteração da quantidade de Lítio no tratamento.

O sistema de FIME também obteve uma redução significativa de lítio, reduzindo em 77,78% quando comparada com a água coagulada, sendo equivalente à redução obtida no sistema FMC, sendo assim, percebe-se que a vazão não é um fator determinante na redução de Lítio no tratamento, sendo esta influenciada principalmente pela coluna de areia do filtro lento.

Em relação ao potássio, percebe-se que: a coagulação reduz, mesmo que pouco, porém significativo do ponto de vista estatístico, em 8,63% a quantidade de potássio da água; percebe-se também que o sistema FIME reduz

significativamente em 64,73% a quantidade de potássio da água e que o sistema FMC tem menor eficiência de redução do potássio que o sistema FIME, reduzindo em 8,74% apenas. Isto deve-se ao maior tempo de contato da água com a bucha vegetal que contribui para o aumento do potássio.

Outra informação muito importante que podemos obter deste gráfico, é que o filtro de areia e brita reduzem a quantidade de potássio em 55,89% e que a biomassa de MO não contribui significativamente para a redução deste parâmetro, porém, a biomassa de bucha vegetal, quando triturada, contribui muito significativamente para o aumento de potássio na água tratada, aumentando este parâmetro em 411,93% quando comparamos com a água filtrada somente com areia e brita, mas vale salientar, que a bucha vegetal cortada não contribui tão significativamente quanto à triturada, aumentando este parâmetro somente em 37,39%, o que indica que quando a bucha vegetal é triturada, esta tem uma interação maior com a água durante

o tratamento, de forma que aumenta mais significativamente a quantidade de potássio na água.

Como na portaria GM/MS Nº 888 de 2021 não há limites para Lítio e Potássio, estes parâmetros não foram comparados com a legislação.

Coliformes Totais, *Escherichia coli* e Desinfecção da Água Tratada

Analizando-se o quadro 7, verifica-se que nenhum dos dois sistemas de tratamento propostos, foi eficaz na desinfecção da água bruta ao ponto de torná-la segura para consumo humano.

Portanto, utilizou-se a água proveniente do tratamento de FIME e fez-se a desinfecção com 20 ppm de hipoclorito de sódio e, após 30 minutos, fez-se a filtração com o filtro de barro. Desta forma, obteve-se água tratada e livre de coliformes totais e *Escherichia coli*.

Quadro 7. Resultados das Análises Microbiológicas

	B _{bruta}	FIME	FMC	FIME + Cl ₂ + FB	Limites
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	>1600	>1600	>1600	Ausente	Ausente
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	>1600	>1600	>1600	Ausente	Ausente

Legenda: NMP: Número mais provável.

Considerações Gerais e Análise de Vazão do Tratamento.

Durante a realização da pesquisa, percebeu-se que é necessária uma significativa quantidade de água para lavagem dos elementos filtrantes após a montagem do FIME e FMC.

Por este motivo, propõe-se que a água utilizada na lavagem seja armazenada para fins de irrigação. Dessa forma, propõe-se, principalmente, que o sistema FIME seja utilizado de forma familiar ou até mesmo comunitária. Sendo assim, faz-se necessário, para uma família de 4 pessoas, o uso de 3 caixas d'água, sendo uma de 1.500 litros para água bruta que será coagulada, uma caixa de 500 litros para a água proveniente da lavagem do sistema, que será utilizada para irrigação e uma caixa de 1.000 litros para uso humano.

Como a biomassa da MO tem rápido desgaste, com vida útil de aproximadamente 2 a 4 dias, recomenda-se que, após a lavagem do FIME ou FMC, o mesmo seja utilizado para o tratamento de toda a água e que a água tratada seja armazenada e outra caixa d'água própria para a água tratada.

Como proposta de utilização da biomassa degradada, sugere-se que seja realizada a

compostagem desta para que posteriormente seja utilizada na adubação do solo.

Vale salientar que o filtro FIME obteve estes resultados com uma vazão de 150 litros por hora e, portanto, pode ser facilmente utilizado para abastecimento familiar, sendo capaz de tratar uma caixa d'água de 1500 litros em apenas 10 horas de funcionamento.

Conclusões

Com este trabalho, pode-se perceber que a tecnologia social proposta de filtração em múltiplas etapas (FIME) tem melhores resultados que a filtração em múltiplas camadas (FMC), além de uma maior vazão de filtração, sendo esta mais indicada para um sistema de tratamento de água domiciliar ou até mesmo comunitária. Em contrapartida, o sistema FIME tem uma maior complexidade de construção, é mais onerosa, necessita de energia elétrica na comunidade, além de algum conhecimento prático de montagem de sistemas hidráulico domiciliar. Uma pessoa com pouco conhecimento prático de instalações hidráulicas leva em média de 2 a 3 dias para

montagem do sistema FIME, enquanto utilizaria aproximadamente 4 a 8 horas para montagem do sistema FMC, em compensação, devido à baixa vazão do sistema FMC, a lavagem dos elementos filtrantes deste dura em média 2 dias, enquanto no sistema FIME esta lavagem dura em torno de 4 horas.

Várias são as desvantagens do sistema FMC, entre elas temos: a baixa vazão, sendo necessário mais de 15 horas para completar 20 litros de água tratada; dificuldade de lavagem dos elementos filtrantes devido à baixa vazão e baixa eficiência de tratamento da água quando comparado com o sistema FIME. Desta forma, neste trabalho ficou claro que não é aconselhado a montagem do sistema domiciliar de filtração em múltiplas camadas, sendo que, para situações em que a comunidade não dispõe de energia elétrica, o mais adequado é o pequeno filtro de múltiplas camadas feito em garrafa PET, conforme pode ser verificado no trabalho de Santos *et al.* (2023).

Agradecimentos

L. O. Santos agradece à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de doutorado sanduíche processo Nº 88881.690128/2022-01. Agradece ao IFS pelo processo de afastamento Nº 23288.000359/2021-46 para o curso de doutorado.

Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7353:2014: Soluções aquosas - Determinação do pH com eletrodos de vidro. Rio de Janeiro.
- Agra, Ticiany Ayres; FERREIRA, Ângelo Thomás Pimentel; SOUZA, Victor Cantalice de; BARBOZA, Marcio Gomes; LIMA, Luciano Lopes. USO DO FILTRO LENTO NA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA. In: XIVTH IWRA WORD WATER CONGRESS, 14., 2011, Pernambuco. PAP006035 - USO DO FILTRO LENTO NA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA. Recife: Iwra, 2011. p. 1-20. Disponível em: https://iwra.org/member/congress/resource/PA_P00-6035.pdf. Acesso: 09 mai. 2022.
- Agra, C.A. (2009) Tratamento de águas residuárias domésticas em reatores de biomassa dispersa e biomassa aderida Dissertação (Mestrado) - Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. Disponível em: https://silo.tips/queue/clelia-de-almeida-agra?&queue_id=-1&v=1652102630&u=MTM4LjEyMi44Ni4xMTQ=. Acesso: 09 mai. 2022.
- APHA (1992) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Edition, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), Washington DC.
- Balbinoti, JA, Beghetto, C., Silva, LN, Coral, LA, & De Jesus Bassetti, F. (2018). Uso de sementes de *Moringa oleifera* como agente coagulante para o tratamento de água. Revista Brasileira De Geografia Física. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.5.p1748-1760>. Acesso: 22 mai. 2022
- BRASIL. Projeto de Lei nº 111, de 2011. Institui A Política Nacional de Tecnologia Social. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/99555>. Acesso: 22 mai. 2022
- BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021. Portaria Gm/MS Nº 888. BRASIL, BRASÍLIA, 07 maio 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso: 22 mai. 2022
- BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Banco de Dados Meteorológicos do INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, BRASIL, 2022. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso: 22 mai. 2022
- Camacho, FP, Teixeira, MR, & Bergamasco, R. (2017b). O uso da *Moringa oleifera* como coagulante natural no tratamento de águas superficiais. Chemical Engineering Journal , 313 , 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>. Acesso: 18 jul. 2022
- Di bernardo, L.; Brandão, C. C. S.; Heller, L. Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e->

financiamento/historico-de-programas/prosab/aguas de abastecimento.pdf. Acesso: 22 mai. 2022

Dzuvor, C. K. O., Pan, S., Amanze, C., Amuzu, P., Asakiya, C., & Kubi, F. (2021). Bioactive components from *Moringa oleifera* seeds: production, functionalities and applications – a critical review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(2), 271–293. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1931804>. Acesso: 25 abr. 2023

Freitas, Ana Maria Araújo de et al. TRATAMENTO DE ÁGUA POR ADSORÇÃO CONTAMINADA COM BACTÉRIA *Pseudomonas aeruginosa* USANDO BUCHA VEGETAL: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE pH, MASSA DE ADSORVENTE E AGITAÇÃO NO PROCESSO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE, 3., 2015, João Pessoa. Anais [...] . [S.L.] João Pessoa: Congestas, 2015. v. 3, p. 766-771. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2015/trabalhos/pdf/congestas2015-et-07-016.pdf>. Acesso: 10 jun. 2022

Huisman, L.; Wood, W. E. Slow sand filtration. Geneva, Belgium: World Health Organization, 1974. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38974/9241540370.pdf?sequence=1&isAlloved=y>. Acesso em: 16 de mai. 2022.

Lima, N. M. de, Aplicação de *Moringa oleifera* no tratamento da água com turbidez, 2015. Dissertação (mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2015. 56 páginas.

Madrona, GS, Da Silva Scapim, MR, Tonon, L. a. C., Reis, MG, Paraíso, CM, & Bergamasco, R. (2017). Uso da *Moringa oleifera* em um Processo Combinado de Coagulação-filtração para Tratamento de Água. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1195–1200. <https://doi.org/10.3303/cet1757200>. Acesso: 10 jun. 2022.

Nordmark, BA, Bechtel, TM, Riley, JG, Velegol, D., Velegol, SB, Przybycien, TM, & Tilton, RD (2018). Adsorção de Proteína de Semente de *Moringa oleifera* à Sílica: Efeitos da Dureza da

Água, Fracionamento e Extração de Ácidos Graxos. *Langmuir*.

<https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00191>. Acesso: 12 set. 2022

Oladoja, NA, & Zhao, X. (2015). Modificação do solo/areia local com extratos de *Moringa oleifera* para remoção eficaz de florescências de cianobactérias. *Química e Farmácia Sustentáveis*, 2, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2015.08.003>. Acesso: 10 jun. 2022

Oliveira, N. L., Nascimento, K. B., De Oliveira Gonçalves, B., Miranda, C. R., & Da Costa, A. P. (2018). Tratamento de água com moringa oleífera como coagulante/floculante natural. *Revista FAEMA*, 9(1), 373. <https://doi.org/10.31072/rcf.v9i1.539>. Acesso: 25 jan. 2023

Santos, Luam de Oliveira. ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS INDUSTRIAIS POR ÁGUA DE CHUVA: UMA ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA. 2016. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Cap. 5. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/9145/2/arquivototal.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2022.

Santos, L., Sousa, I. F., Barbosa, S.A., & SILVA, G.F., (2023). Análise da Eficiência de Diferentes Biomassas no Tratamento da Água "Barreiro Trincheira" para Consumo Humano. *Revista De Gestão Social E Ambiental - RGSA*, 17 (1), e03000. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n1-025>. Acesso: 25 jan. 2023

Silveira, L. Ramos; COUTINHO, M. Moreira. Utilização de Filtro de Múltiplas Camadas para remoção de Turbidez. *Revista Tecnia - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFG: MEIO AMBIENTE*, Goiânia, v. 1, n. 2, p. 65-78, 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/60475901-Utilizacao-de-filtro-de-multiplas-camadas-para-remocao-de-turbidez.html>. Acesso em: 07 nov. 2022.

Silva, Marcelo; Paterniani, José; Francisco Adriana; SILVA, Gabriela. Aplicação de sementes de *Moringa oleifera* como auxiliares de pré-filtração em sistemas de pré-filtração em

etapas. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, Brasília, DF, 8.4, 30 12 2011. Disponível em: <
<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=732>> Acesso em:
 28 08 2022.

De Souza, A. P. R., & Pozzebon, M. (2020). Práticas e mecanismos de uma tecnologia social: proposição de um modelo a partir de uma experiência no semiárido. Organizações & Sociedade, 27(93), 231–254. <https://doi.org/10.1590/1984-9270934>. Acesso: 09 dez. 2022

Valverde, KC, De Souza Paccola, EA, Pomini, AM, Yamaguchi, NU, & Bergamasco, R. (2018b). Tratamento de água combinado com extrato natural de *Moringa oleifera Lam* e coagulante sintético. Revista Ambiente & Água, 13 (3), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2135>. Acesso: 20 mai. 2022.

Veras, LRV, & Di Bernardo, L. (2008b). Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas - FIME. Engenharia Sanitária E Ambiental, 13 (1), 109–116. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522008000100014>. Acesso: 13 abr. 2022

Vieira, M.E.A.G.; de Siqueira, E.Q.; Brandão, C.C.S.; Campos, L.C. Avaliação da Filtração em Múltiplas Etapas para Remoção de Turbidez de Águas Superficiais. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG - CONPEEX, 2., 2005, Goiânia. Anais eletrônicos do XIII Seminário de Iniciação Científica [CD-ROM], Goiânia: UFG, 2005. n.p. Disponível em: https://projetos.extras.ufg.br/conpeex/2005/porta_arquivos/outras/MariaEulinaAiresGon%C3%A7alvesVieira_Filtra%C3%A7%C3%A3oemM%C3%BAltiplasEtapasparaRemo%C3%A7%C3%A3odeTurbidezde%C3%81guas_494.pdf. Acesso: 3 set. 2022.

CAPÍTULO V

RESULTADOS OBTIDOS – ARTIGO 4:

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE DIFERENTES SEMENTES E CASCAS OLEAGINOSAS PARA USO COMO COAGULANTES NATURAIS



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Análise de eficiência de diferentes sementes e cascas Oleaginosas para uso como coagulantes naturais

Luam de Oliveira Santos¹; Inajá Francisco de Sousa²; Gabriel Francisco da Silva³; Silvanito Alves Barbosa⁴; Nídia de Sá Caetano⁵

¹ Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, luam.santos@ifs.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3200-8974> (autor correspondente)

² Doutor em Recursos Naturais, Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, inajafrancisco@academico.ufs.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6732-0963>

³ Doutor em Engenharia de Alimentos, Programa de Pós Graduação em Biotecnologia - RENORBIO, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, gabriel.silva@ufs.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9622-2518>

⁴ Doutor em Biotecnologia, Departamento de Petróleo e Gás, Instituto Federal de Sergipe. Aracaju - SE, CEP: 49055-260, silvanito.barbosa@ifs.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0712-7533>

⁵ Doutora em Engenharia Química, LEPABE - Laboratory for Process Engineering, Environment, Biotechnology and Energy, Faculty of Engineering, University of Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal and ALiCE - Associate Laboratory in Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal, and School of Engineering (ISEP), Polytechnic of Porto (P.Porto), Rua Dr. António Bernardino de Almeida 431, 4249-015 Porto, Portugal, nsc@isep.ipp.pt, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2185-6401>

Artigo recebido em 23/02/2023 e aceito em 13/03/2024

RESUMO

O problema de pesquisa é reduzir o uso de coagulantes químicos buscando alternativa mais sustentáveis ao tratamento da água. O uso da *Moringa oleífera* (MO) apresenta-se como boa alternativa de agente coagulante, indicada no sistema de tratamento de água, no seu processo de clarificação, por ser biodegradável. No entanto, existe a necessidade de buscar outras sementes e frutas que também tenham potencial para ser utilizadas como coagulantes naturais. Neste contexto, justifica-se o estudo de outras sementes típicas de Portugal, onde foi realizado este estudo, para ser utilizada como alternativa de coagulante natural. A hipótese desse projeto é: encontrar-se-á, entre as sementes tipicamente europeias, selecionadas para avaliação, sementes com alto potencial de utilização como coagulante natural para uso em tratamento de água. Este projeto tem como objetivo a identificação de sementes, típicas de Portugal, com potencial semelhante ao da *Moringa oleífera* LAM para ser utilizada como coagulante natural. O projeto foi realizado em parceria da UFS, IFS e ISEP, onde foram realizados os experimentos com água sintética de turbidez que variaram de 40 a 350 NTU. As sementes utilizadas foram quatro tipos diferentes de castanhas europeias, nozes americanas e portuguesas, plátano e *Moringa oleífera*, além das cascas de castanha e de nozes. Dos resultados encontrados destaca-se a castanha espanhola, com eficiência de remoção de turbidez de até 69,8% em água de alta turbidez além da MO com eficiência de remoção de 89,8% em água de alta turbidez.

Palavras-chave: *Castanea sativa*; Coagulação; *Moringa oleífera*; Tecnologia social.

Analysis of the efficiency of different Oleaginous seeds and shells for use as natural coagulants

ABSTRACT

The research problem is to reduce the use of chemical coagulants by seeking more sustainable alternatives to water treatment. The use of *Moringa oleífera* (MO) is a good alternative coagulant agent, indicated in the water treatment system, in its clarification process, in addition to being biodegradable, but there is a need to look for other seeds that also have potential for be used as natural coagulants, in this context, it is justified to study other typical seeds from Portugal, where this study was carried out, to be used as an alternative natural coagulant. The hypothesis of this project is: among the typically European seeds selected for evaluation, seeds with high potential for use as a natural coagulant for use in water treatment will be found. This project aims to identify seeds, typical of Portugal, with similar potential to *Moringa oleífera* Lam to be used as a natural coagulant. The project was carried out in partnership with UFS, IFS and ISEP, where experiments were carried out with synthetic water with turbidity ranging from 40 to 350 NTU. The seeds used were four different types of European chestnuts, American and Portuguese nuts, plantain and *Moringa oleífera*, in addition to chestnut and walnut shells. From the results found, the Spanish chestnuts stand out with a turbidity removal efficiency of up to 69.8% in high turbidity water, in addition to the MO with a removal efficiency of 89.8% in high turbidity water.

Keywords: *Castanea sativa*; Coagulation; *Moringa oleífera*; Social Technology.

Introduction

The project its a theme social technologies and sustainable development, being the line of research alternative treatment of water for human consumption, with the motivation to reduce the use of chemical products in water treatment, in addition to allowing greater autonomy for riverside populations in water consumption of quality produced in a simple and safe way.

It is widely acknowledged the extensive use of chemical products in water treatment, primarily employing coagulating agents such as ferric chloride and aluminum sulfate. Hence, in efforts to diminish the reliance on these chemicals, an increasing number of studies are endeavoring to replace them with natural coagulants due to their sustainability and biodegradability. In this context, several well-known natural coagulants include chitosan, *Leucaena leucocephala*, *Azadirachta indica*, tannins, *Moringa oleifera*, among others. Consequently, this research, conducted in Portugal through a collaboration between ISEP, IFS, and UFS, aimed to explore seeds and husks indigenous to the northern region of Portugal for their potential efficacy as natural coagulants and flocculants in comparison to *Moringa oleifera*. (Alnawajha et al., 2022; Iber et al., 2021; Ahmad et al., 2021; Turunen, Karppinen & Ihme, 2019; Santos et al., 2023a).

For Dzuvoor et al. (2021) the use of *Moringa oleifera* LAM (MO) presents a range of potential benefits for human health with anticancer, antidiabetic, antioxidant, anti-inflammatory properties and, in addition, its seeds and cakes can be used in the treatment process of water in coagulation, flocculation and as adsorbents due to their ability to eliminate microbes and organic matter.

In this context, this cooperation project between UFS (Federal University of Sergipe), IFS (Federal Institute of Sergipe) and ISEP (Superior Institute of Engineering of Porto) aims to identify seeds, typical of Portugal, with similar potential to from *Moringa oleifera* LAM to be used as a natural coagulant.

The hypothesis of this project is that, similar to *Moringa oleifera* and other recently evaluated natural coagulants, predominantly of Indian origin, seeds typically of European, studied in this project will also exhibit high potential for utilization as natural coagulants in water treatment.

For this, we will use the MO, a tropical plant that belongs to the Moringaceae family, which, around fourteen species have already been identified and all have coagulant properties in different degrees of coagulation, as a reference for comparing the efficiency of removing turbidity from water (Oladoja & Pan, 2015).

Positive results in the water purification treatment were also presented by Owodunni et al. (2023), in the use of *Moringa oleifera* lam in a combined Coagulation/Flocculation process to reduce the amount of phosphate in water.

Other natural coagulants are already with well advanced studies that, according to Nimesha et al. (2022), are the most commonly used natural coagulants such as Chitosan, *Moringa oleifera* (MO), Nirmali, Cactus musilage and Tannins. In this case, for this research, we selected seeds that exist in abundance in the northern region of Portugal, easy to manipulate and with little research in the area, in addition to other oilseeds that were used as a comparison. The selected seeds were: European chestnut: wild, Portuguese longal and Jewish and Spanish, *Moringa oleifera*, Portuguese and American nuts and Plátano.

Theoretical Reference

In this topic we will present the theoretical framework that was the basis for our research, which is divided into the following topics: use of natural coagulants in water treatment, with special emphasis on *Moringa oleifera* LAM (MO) and *Castanea sativa* Mill (European chestnut) and chemical composition of selected oilseeds.

Use of natural coagulants in water treatment.

Coagulants are used in water treatment as chemical conditioning through the addition of chemicals in order to modify the properties of colloids thus increasing the efficiency of their removal. The most used coagulants are the inorganic ones based on aluminum and iron salts such as Aluminum Sulfate and Ferric Chloride. There is also the use of organic coagulant, the so-called cationic polymers, which can be synthetic or natural. (Pinto et al., 2020, apud., Faye; Zhang; Yang, 2017; Owodunni et al., 2023).

According to Nimesha et al. (2022) the most commonly used natural coagulants are Chitosan, *Moringa oleifera* (MO), Nirmali, Cactus musilage and Tannins, as we can see in Table 1.

Table 1. Summary of functional groups and mechanisms proposed for natural coagulants

Natural coagulant	Source of extraction	Mechanism proposed	Functional groups	Reference
<i>Moringa oleifera</i>	Leaves, flowers, roots, bark	Adsorption and charge neutralization	Starch, cationic protein, fatty acids, phenolic, compounds Amines, glucose, alcoholic compounds, and carboxylate groups	Kumar <i>et al.</i> , 2017; kurniawan <i>et al.</i> , 2020; Yin, 2010.
Nirmali (<i>Strychnos pototorum</i>)	seeds	Inter-particle bridging	Galactan and galactomannan	Vijayaraghavan <i>et al.</i> , 2011; Yin, 2010.
Cactus Musilage	Cactus pads	Adsorption and bridging coagulation method	D-xylose, galacturonic acid, l-arabinose, l-rhamnose, and d-galactose.	Vijayaraghavan <i>et al.</i> , 2011; Yin, 2010.
Chitosan	fungi, marine, invertebrates, yeasts	Charge neutralization and bridging	N-acetyl-D-glucosamine (acetylated unit), B-(1-4)-linked D-glucosamine (deacetylated unit)	Saranya <i>et al.</i> , 2014.
Tannis	castanea, acacia, or Schinopsi	Adsorption and charge neutralization	Polyphenol compounds	Vijayaraghavan <i>et al.</i> , 2011; Yin, 2010.

Source: Nimesha *et al.* (2022, p. 104).

Besides these, Pinto *et al.* (2020), cites the use of *Jatropha curcas*, *Prosopis juliflora*, Guar gum, *Calotropis procera*, *Cactus latifaria* and *Clidemia angustifolia* as natural conditioners.

Second, Šćiban *et al.* (2009), some authors state that the active coagulating agents of MO are dimeric cationic proteins (Ndabigengesere *et al.*, 1995, Fink, 1984, *apud.* Šćiban *et al.* 2009), while other authors suggest that the active coagulant agent of MO they are not proteins, polysaccharides or lipids, but some other organic polyelectrolyte (Sanghi *et al.*, 2002; Okuda *et al.*, 2001a, *apud.*, Šćiban *et al.*, 2009).

The coagulation activity, mainly in natural coagulants, is strongly related to three variables, namely initial turbidity, coagulant concentration and pH. Finding the ideal point between the coagulant concentration and the initial turbidity is

fundamental for the best interaction between the molecules and, consequently, a greater efficiency in coagulation. This interaction is so important that the same coagulant agent can increase the final turbidity when the cation is added more than the anion, increasing the turbidity of the water because there are no charged particles to interact, or have an efficiency greater than 90% when used in a dosage correct, as can be seen in studies such as Hadadi *et al.*, (2022) and Desta & Bote (2021).

With emphasis on *Moringa oleifera* (MO), it has natural polymeric properties that have been notoriously gaining prominence in water treatment for its contribution to sustainable development by reducing the use of chemical products, acting as a clarifying agent due to the presence of a cationic protein that destabilizes particles contained in a liquid medium. (Madrona *et al.*, 2017).

It has active biocoagulants that can be used in water clarification treatment, filtration, sedimentation and water flocculation, reducing the use of chemical-based coagulants (Camacho et al., 2017, Valverde et al., 2018).

Studies show that MO uses can reduce water turbidity by up to 85%, in addition to being able to remove 40% to 50% of the organic matter present in the water (Camacho et al., 2017).

According to Nordmark et al. (2018), the results of their research conclude that *Moringa oleifera* proteins adsorb irreversibly with respect to rinsing in the water model used, suggesting that sand modified with moringa proteins is stable in repeated use of water filtration, thus making it a simple, effective and sustainable water filtration device.

Positive results in the water purification treatment were also found by Madrona et al. (2017), in the use of *Moringa oleifera* LAM in a combined coagulation/flocculation process with ultrafiltration, obtaining high quality water for human consumption after the process.

European chestnut tree (*Castanea sativa* Mill) has a significant economic contribution to Portugal, being among the first places as

agricultural products most exported by the country, highlighting the North region where the largest number of chestnut groves are concentrated, with a representation of more than 83% both in terms of area and production volume. (Portugal – INRB, 2008).

According to the National Institute of Biological Resources (INRB, 2008) there is a wide variety of Portuguese chestnuts, from the European chestnut tree (*Castanea sativa*), among them we have: Avela, Mataí, Longal, Judia, Colarinho, Verdeal, Rebordão, Côta, Lada, Bária, Negral, Amarelal, Lamela, Zeve and Redonda.

Fruit varieties often differ significantly from each other in physical and nutritional characteristics. (Portugal – INRB, 2008).

Chemical composition of selected oilseeds

Several oilseeds were selected to identify their effectiveness and efficiency as natural coagulants, including *Moringa oleifera*, four varieties of European chestnut, American and Portuguese walnuts and plantain (*Platanus*). The characteristics of these seeds reported in the literature are summarized in Table 2.

Table 2. Nutritional values of seeds selected for study.

	Proteins	Lipids	Carbohydrates	Ashes	Humidity	Tannins	References
European Chestnut	6,26% to 7,55%	2,42% to 3,54%	41,5%	1,23% to 1,61%	48,87% to 50,64%		Silva et al. (2021) e Souza et al. (2017)
Nuts	7,5% to 21,56%	42,88% to 66,71%	0,55% a 3,49% (total sugars)	1,16% to 3,28%	1,47% to 9,51%	0,01% to 0,88%	Venkatachalam e Sathe (2006)
Moringa oleifera	32,16% to 32,52%	25,0% to 33,68%	23,48% to 32,43%	4,5% to 4,51%	5,53% to 6,16%		Silva et al. (2020)
Platanus	13,7%			25%		1,20% (sheets)	Faye et al. (2023)

Materials and methods

This project has a hypothetical-deductive method of approach, and can be classified as

applied, quantitative, exploratory, experimental and case study research. The means used will be field research, laboratory, bibliographical, experimental and case study.

Synthetic water preparation

The synthetic water was prepared according to the methodology of Putra, Amri and Ayu (2020), using 1 gram of white clay for 1 liter of tap water. The methodology was changed because, instead of using white clay, gray clay was

used to produce high turbidity synthetic water. The solution was stirred for 1 hour to obtain a uniform solution of clay particles. Soon after, the solution is used as a sample containing low organic content, seeking treatment for water turbidity.



Figure 1. Water agitation with gray clay to prepare synthetic water.

Seed Preparation

The seeds used were used in different ways of handling, ranging from: crushed; crushed and dried; crushed and sieved; crushed, dried and sieved, so that it could be verified how we would increase its coagulation potential. They were crushed in a blender and sieved through a domestic sieve with a mesh opening of 2.5 mm until obtaining a fine flour, as shown in figure 2. The natural coagulant based on MO was selected as a standard for comparing efficiency because it is

widely known in academic and popular circles. In addition to this, wild chestnut seeds (Figure 4C), long Portuguese chestnuts (Figure 5A), Portuguese Jewish chestnuts (Figure 5B), Spanish chestnuts (Figure 3C), Portuguese walnuts and American walnuts (Figure 5B) were also used and plantanus. Walnut shells (Figure 4B) and chestnut shells (Figure 4A) were also used, crushed in a blender and sieved through a domestic sieve with a mesh opening of 2.5 mm until obtaining a fine flour.



Figure 2. Moringa seed processing process to obtain powdered coagulant.

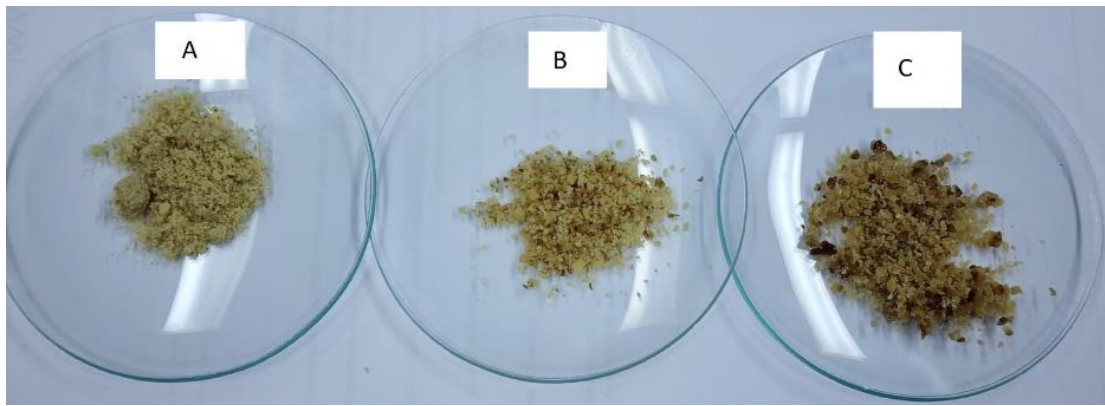


Figure 3. A: Ground and sieved MO seed; B: Crushed walnut seed; C: Crushed Spanish chestnut seed.

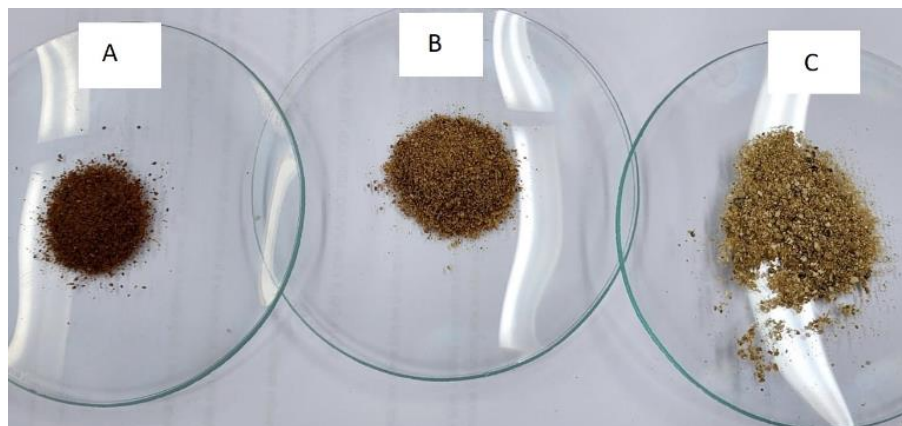


Figure 4. A: Crushed and sieved Spanish chestnut shell; B: Crushed and sieved walnut shell; C: Crushed and sieved wild chestnut seeds.

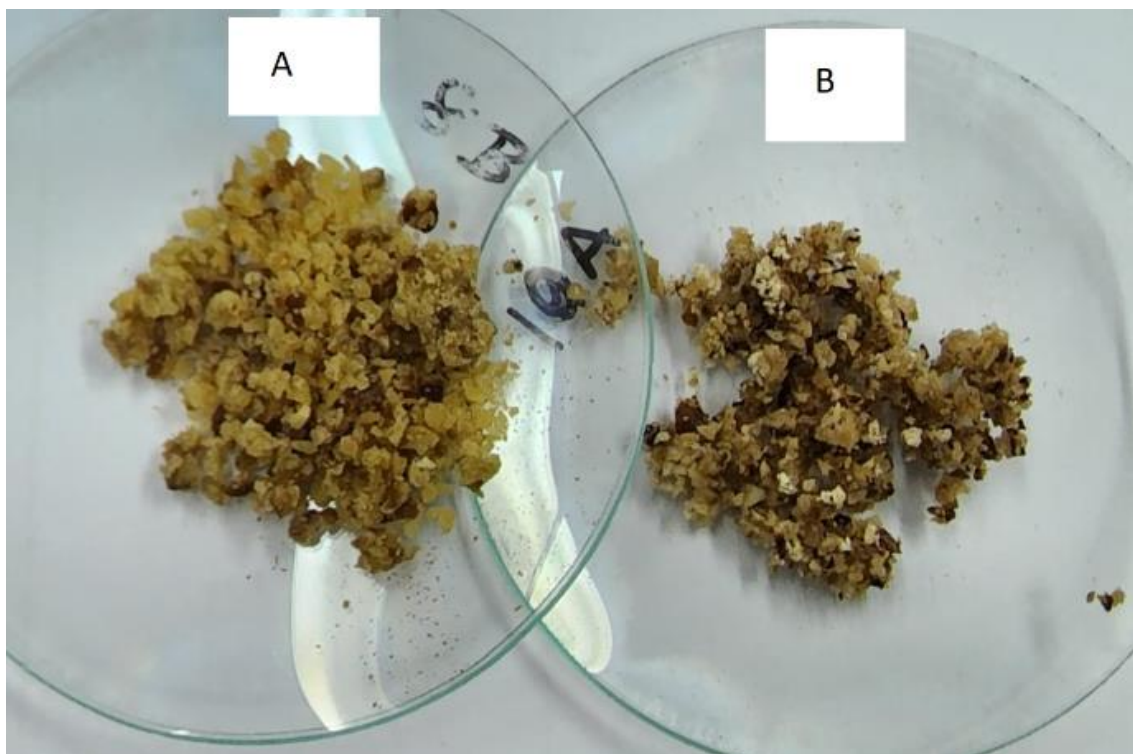


Figura 5. A: Portuguese Chestnut Longal Seed; B: Crushed Jewish Portuguese chestnut seed.

Jar Test and Turbidity Efficiency Calculation

To identify the ideal coagulant concentration, the jar test was performed, with concentrations of 0.1 g/L, 0.2 g/L and 0.3 g/L, fast stirring at 300 rpm for 2 minutes and slow stirring at 45 rpm for 10 minutes and a decantation period of 2 hours. For the same period of 2 h of decantation, it was awaited in the synthetic water without the addition of coagulant. After this procedure, the supernatant of each glass beaker was collected and the turbidity parameter was analyzed.

To calculate the turbidity efficiency, we used the equation below:

$$\% \text{ Turbidity removed} = \frac{Tf(as) - Tf}{Tf(as)} * 100 \quad (1)$$

Where; Tf(as): Final turbidity of the synthetic water after decanting for 2 hours and Tf: Final turbidity of the water with coagulant after decanting for 2 hours.

Physicochemical analysis

The physical-chemical parameters analyzed in this project were pH, color and turbidity, as described in Table 3. Note that all analyzes were performed in quintuplicate and the results treated statistically as mean and standard deviation.

Table 3. Physical-chemical and microbiological analysis methods

Parameter	Method	Unit
pH	Potentiometric method	Dimensionless
Color	Colorimetric method	UC
Turbidity	Nephelometric method	NTU

Results and discussions

First, the physicochemical characterization of pH, color and turbidity of tap water and synthetic water will be presented, according to the methods listed in Table 4. Subsequently, the maximum efficiency of turbidity reduction obtained with Portuguese chestnut, Spanish chestnut, wild chestnut, Jewish chestnut, American walnuts, Portuguese walnuts, walnut shell, chestnut shell and MO seed will be presented, and the condition

of coagulant concentration and initial turbidity of the synthetic water, which varies from 40 to 360 NTU in which that reduction efficiency was obtained.

As we saw in the previous topic, to calculate the turbidity removal efficiency, the final turbidity of the water using the natural coagulant is compared with the final turbidity of the synthetic water without the addition of coagulant, both after the decantation period. These results are shown in Table 4.

Table 4. Physical-chemical characterization of the samples.

Sample	Color	Turbidity	pH
Tap water	<2,0	4,64±0,04	7,50±0,08
Synthetic Water	>550,00	130,95±28,53	7,80±0,04

The first phase of the research was based on analyzing all the selected seeds and peels, under different conditions of initial turbidity, coagulant concentration and method of preparation of the seeds, ranging from crushed seeds to crushed, dried and sieved, verifying those seeds with greater

coagulation potential and in what condition that potential is obtained, so that further analyzes and comparisons could be carried out later, this time varying only the initial turbidity and fixing the other variables.

To facilitate the visualization of the tables and obtain a better understanding, the results will be presented in groups in the concentrations of 0.1

g/L, 0.2 g/L and 0.3 g/L for each element, as we will see in Table 5.

Table 5. Efficiency of the elements in reducing the turbidity of the synthetic water.

% Efficiency in Reducing the Turbidity of Synthetic Water			Turbidity of synthetic water without decantation (NTU)
Portuguese nuts	0,1 g/L (S)	5,6%±0,4%	200±11,46
	0,2 g/L (SD)	4,6%±0,4%	250±14,21
	0,3 g/L (SD)	15,5%±0,5%	120,00±7,84
American walnuts	0,1 g/L (S)	3,6%±0,4%	200±11,46
	0,2 g/L (SD)	12,8%±0,4%	250±14,21
	0,3 g/L (SD)	7,2%±0,0%	120±7,84
Portuguese chestnut	0,1 g/L (S)	10,7%±0,4%	200±11,46
	0,2 g/L (SD)	12,6%±0,4%	160±6,36
	0,3 g/L (SD)	15,4%±0,4%	200±9,33
Walnut shell	0,1 g/L (CDS)	8,9%±0,5%	160±6,36
	0,2 g/L (S)	-5,1%±0,6%	120±7,84
	0,3 g/L (SD)	-4,8%±0,6%	200±9,33
Chestnut shell	0,1 g/L (S)	-28,0%±0,0%	120±7,84
	0,2 g/L (CDS)	-27,7%±0,0%	160±6,36
	0,3 g/L (SD)	-19,4%±1,3%	200±9,33
Jewish Portuguese Chestnut	0,1 g/L (SD)	27,3%±0,7%	160±6,36
	0,2 g/L (SD)	47,2%±0,0%	350±17,72
	0,3 g/L (SD)	37,7%±0,6%	140±5,51
Wild chestnut	0,1 g/L (CDS)	16,3%±0,0%	200±9,33
	0,2 g/L (S)	36,3%±0,3%	300±15,12
	0,3 g/L (CDS)	9,6%±0,3%	200±9,33
Platanus	0,1 g/L (CDS)	9,4%±0,4%	200±9,33
	0,2 g/L (S)	24,5%±0,3%	300±15,12
	0,3 g/L (S)	6,6%±0,3%	300±15,12
Spanish chestnut	0,1 g/L (S)	21,3%±0,0%	120±7,84
	0,2 g/L (S)	69,8%±0,0%	350±17,04
	0,3 g/L (S)	24,9%±0,7%	120±7,84
<i>Moringa oleífera</i>	0,1 g/L (CDS)	50,7%±0,0%	120±7,84
	0,2 g/L (CS)	89,8%±0,4%	300±15,12
	0,3 g/L (CS)	88,2%±0,3%	300±15,12

Table 5. Efficiency of the elements in reducing the turbidity of the synthetic water.

% Efficiency in Reducing the Turbidity of Synthetic Water	Turbidity of synthetic water without decantation (NTU)
---	--

Caption: S: Shredded; SD: Shredded and Dried; CDS: Crushed, Dry and Sieved; CS: Crushed and Sieved.

Maple seeds, seeds and nut shells

In this topic, we will present and discuss the efficiency of plantain seeds, walnut seeds and walnut shells as natural coagulants.

For all statistical analyzes and graphs constructed in this article, Graphpad's prism 8 software was used with unidirectional ANOVA test and 5% significance for analysis of statistical

differences. The same letters are used for samples that are not statistically significantly different and different letters for samples that are significantly different.

In this article, the positive values are those that obtained a reduction in the turbidity of the synthetic water and negative values come from the increase in the turbidity of the synthetic water.

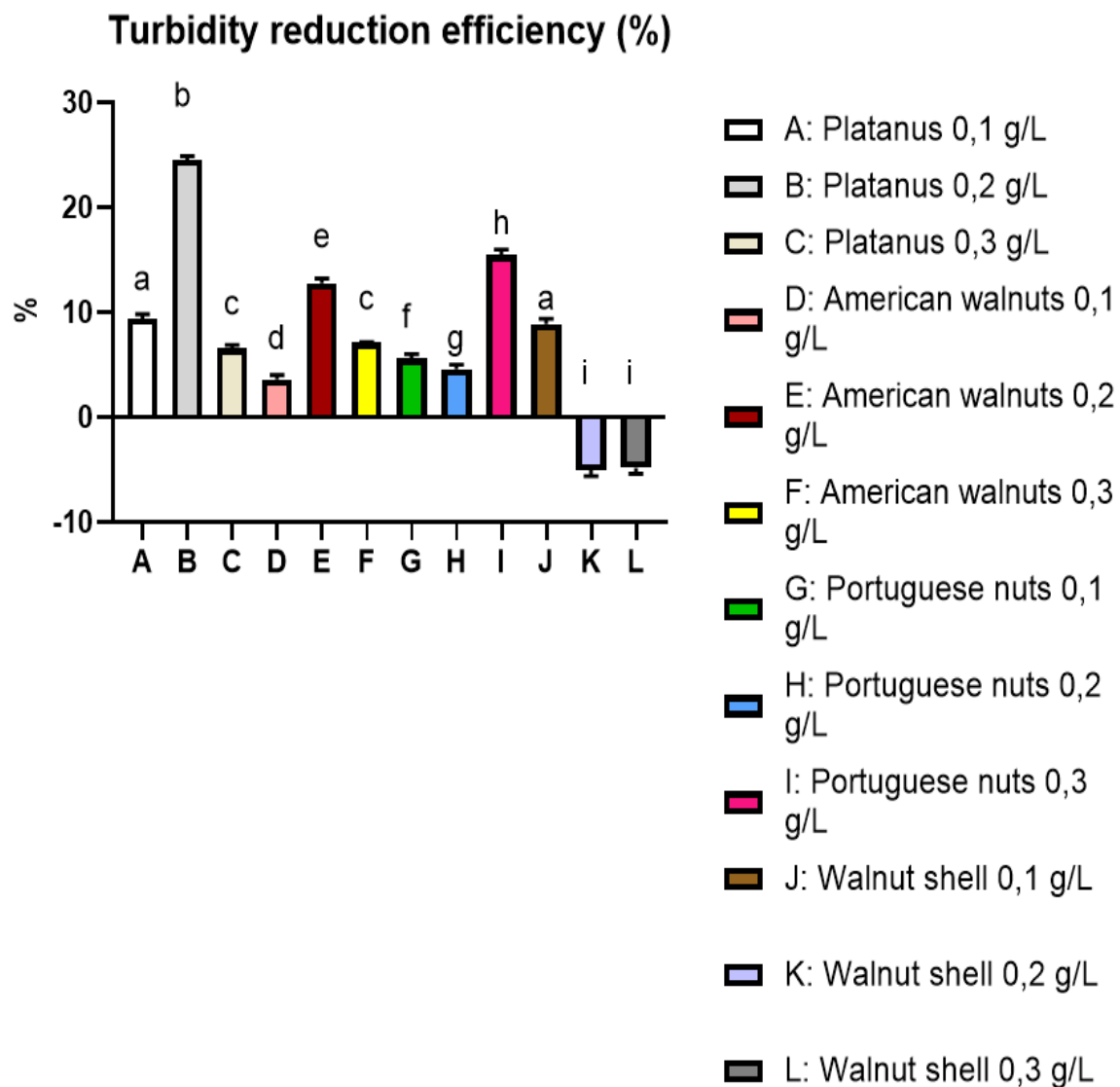


Figure 6. Graph of turbidity reduction efficiency of plantain seeds and walnuts, in addition to walnut shells.

As can be seen in figure 6, none of the walnut, plantain and walnut shell seeds were efficient in reducing turbidity, and the maximum reduction obtained was with plantain seed at a concentration of 0.2 g/L with 24.5% reduction efficiency. In research conducted by Ahmad et al. (2022), it was found that the turbidity removal results for natural coagulants were similar to those found in our study, with an average turbidity removal efficiency ranging between 10% and 30%.

The American and Portuguese walnuts had a low reduction efficiency in all analyzed situations, with the maximum efficiency of the Portuguese walnut in its crushed, dry and unsifted condition, in water with an initial turbidity of 100 to 120 NTU and at a concentration of 0.3 g/L, thus obtaining a reduction of 15.5%. American walnut also had its

best efficiency in the crushed, dry and unsifted condition, in synthetic water of 100 to 120 NTU, but at a concentration of 0.2 g/L with a maximum reduction of 12.8%.

In most of the analyzed situations, the walnut shells increased the turbidity of the synthetic water, only in the case of crushed, dried and sieved walnut shells, in synthetic water with turbidity of 80 to 100 NTU and at a concentration of 0.1 g/L which achieved efficiency in reducing turbidity of 8.9%.

Chestnut Seeds and Peels

In this topic, we will present and discuss the efficiency of the seeds and husks of different European chestnuts as natural coagulants (figure 7).

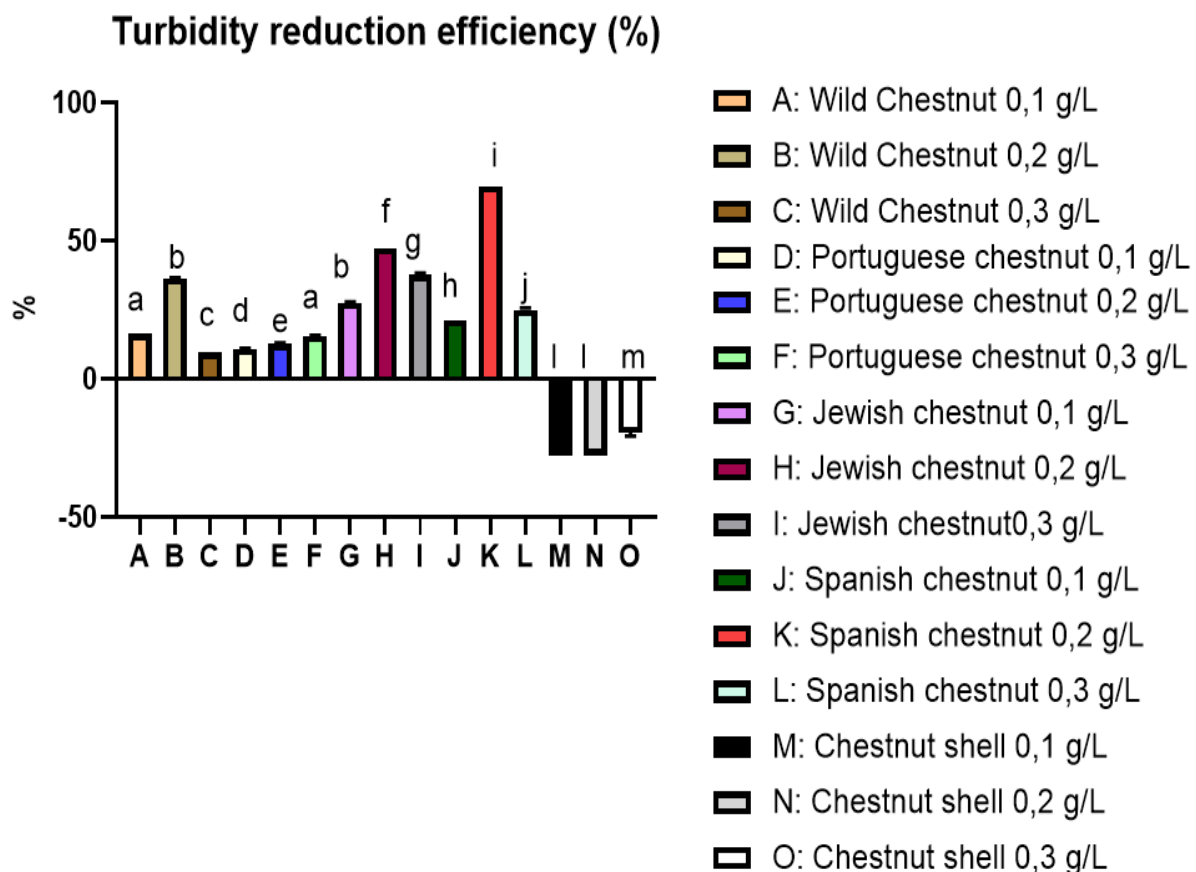


Figure 7. Graph of turbidity reduction efficiency of seeds and chestnut shells.

As can be seen in figure 7, in most of the situations analyzed, the turbidity reduction efficiency was less than 50%. However, some situations stand out, they are: wild chestnut at a concentration of 0.2 g/L, Jewish chestnut at a concentration of 0.2 g/L and Spanish chestnut at a

concentration of 0.2 g/L and for this motif will be analyzed later along with the MO seed.

It can be seen that the chestnut shell was not efficient in reducing the turbidity in any situation studied, contributing in all cases to the increase in the turbidity of the synthetic water.

As verified in the research by Šćiban et al. (2009), for synthetic water with high turbidity and a pH of 9, the efficiency of the coagulant activity of chestnut was below 40%, using the coagulant extract.

According to Šćiban et al. (2009) extracts from European chestnut trees had low efficiency in reducing turbidity in water with turbidity of 70 NTU. In this research, with some exceptions mentioned above in turbidity above 300 NTU, the chestnut seeds also obtained low efficiency with a pH of 7.80, indicating that these seeds also have low efficiency in removing turbidity under these conditions.

In Hatim, Almansoori & Al-Baldawi (2024) research's, it is also noted that the natural coagulants investigated exhibit efficiency lower than 60% in most cases, even in highly turbid water.

Next we will see how the performance of *Moringa oleifera* seeds was for later comparison with European chestnuts.

Moringa oleifera LAM.

In this topic, we will present and discuss the efficiency of MO seed as a coagulant in synthetic water, as shown in figure 8.

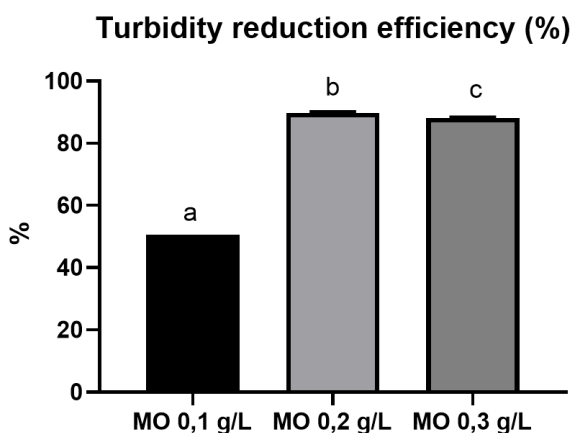


Figure 8. Graph of turbidity reduction efficiency of MO seed.

These results are compatible with Desta & Bote (2021) who obtained a reduction of 99.5% of turbidity and 97.7% of color in basic waters and 98% of turbidity and 90.76% of color in acidic waters. They were also compatible with results found by Santos et al. (2023b) and Batista et al. (2023) who also obtained a reduction of approximately 97% in turbidity after treatment using MO and Valverde et al. (2018) who obtained a reduction of 70% of turbidity and 75% of apparent color with the use of MO seed as a coagulating agent. These results vary, as there are several factors that affect the coagulant activity of MO, mainly the pH and the initial turbidity of the raw water, which determine the level of interaction between the particles.

Comparing this graph with the previous ones in figure 6 and figure 7, we can see that the MO seed was the natural coagulant with the highest turbidity removal efficiency, among those studied in this article.

Analyzing the graphics in figures 6, 7 and 8, it can be seen that the seeds with the greatest efficiency in removing turbidity were: wild chestnut 0.2 g/L, Jewish chestnut 0.2 g/L, Spanish chestnut 0.2 g/L and MO 0.2 g/L. Thus, the next phase of the studies began, where we set the concentration of these natural coagulants at 0.2 g/L in their most efficient preparation and varied the initial turbidity of the synthetic water in concentrations in the range of: Range 1: 40 to 60 NTU; Range 2: 60 to 100 NTU; Range 3: 100 to 150 NTU; Range 4: 150 to 200 NTU; Range 5: 250 to 300 NTU and Range 6: 300 to 350 NTU.

Wild Chestnut, Jewish Portuguese Chestnut, Spanish Chestnut and *Moringa oleifera*.

In this topic, the coagulation efficiency of the seeds that showed a greater coagulant potential in previous experiments will be presented, now with a coagulant concentration fixed at 0.2 g/L and varying the initial turbidity in ranges ranging from 40 to 350 NTU, as shown in figure 9.

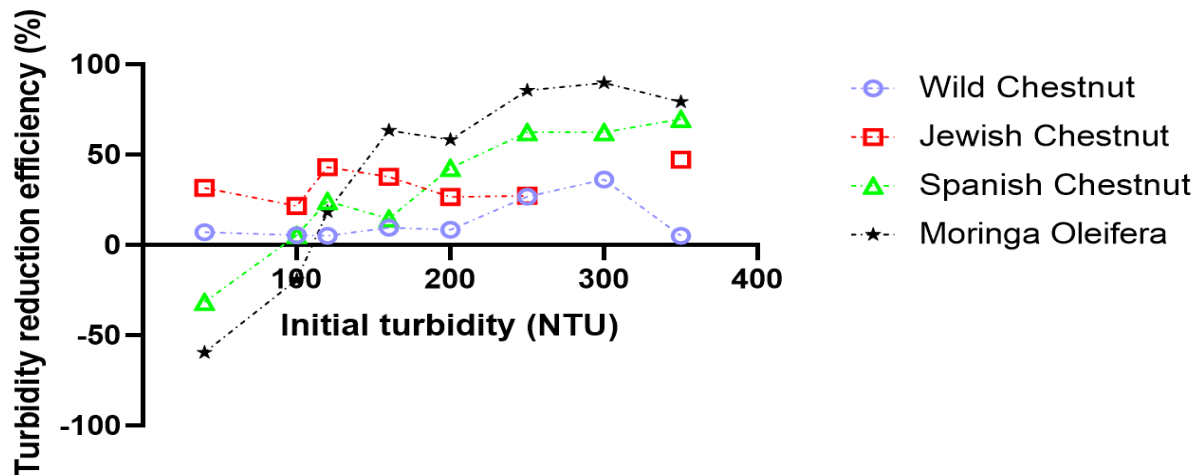


Figure 9. Graph of turbidity reduction efficiency of Castaha Brava, Judia, Española and *Moringa oleifera* seeds all at a concentration of 0.2 g/L.

In this graph, the relationship between initial turbidity and the coagulation efficiency of natural coagulants is clear. But, in general, it is also noticed that natural coagulants are more efficient when the initial turbidity is higher and less efficient when the initial turbidity is lower. Below we will present some information about each seed studied in this topic.

Wild chestnut: Wild chestnut did not show high potential as a natural coagulant in any situation, with an efficiency of less than 10%, whether without drying, after drying, crushed or crushed and sieved, with its best potential being freshly crushed, without drying or sieving, in synthetic water with turbidity between 250 and 300 NTU with a concentration of 0.2 g/L, obtaining a reduction of 36.3% in the turbidity of the synthetic water and soon after in water of 350 NTU it returned to an efficiency close to 5%

Jewish Portuguese Chestnut: The Portuguese nut of the Jewish type suffers great interference from drying in an oven at 60 °C for 1 hour, and in the same initial turbidity of 150 NTU and concentration of 0.2 g/L it increased its efficiency of removing turbidity from 1.1% to 43.1% after drying. With regard to the initial turbidity, it does not suffer major interference, with an initial turbidity of 40 NTU removal of 31.6%, initial turbidity of 100 NTU removal of 21.5%, 150 NTU removal of 43.1%, 240 NTU removal of 26.6%. 350 NTU 47.2% removal. Obtaining its greatest potential in synthetic water of greater turbidity, but showing that its removal power is not directly influenced by the initial turbidity.

Spanish Chestnut: The European chestnut harvested in Spain suffers a great negative influence from kiln drying and sifting, therefore, it is preferable only to crush it. With

synthetic water of 200 NTU and concentration of 0.2 g/L of coagulant, the Spanish chestnut seed only ground reduced the initial turbidity by 62.5%, while the ground and dry seed reduced 42.5% and the ground seed, sieved and dried reduced the turbidity of the synthetic water by only 14.6%. The initial turbidity of the synthetic water also greatly interferes with the coagulation power of the Spanish chestnut, and in water with high turbidity it obtains the best results. In water with an initial turbidity of 40 NTU, the seed increased the turbidity of the water, obtaining an efficiency of -31.6% and thus, directly proportional to the increase in the initial turbidity of the water, as we can see in figure 10, the seed of Spanish chestnut also increases its turbidity removal potential reaching its apex at the highest studied turbidity of 350 NTU with 69.8% removal.

Moringa oleifera LAM: MO, among the studied seeds, was the one with the best efficiency for removing turbidity from high turbidity water, with efficiency of up to 90% in synthetic water with initial turbidity of 300 NTU. Like other natural coagulants, the coagulation potential of MO is highly influenced by the initial turbidity, concentration and manipulation of the coagulant, with ground, sieved and oven-free seeds having the greatest coagulation potential. As with the Spanish chestnut, the MO also increased the turbidity of the water with an initial turbidity of 40 NTU, obtaining an efficiency of -59.6%, increasing its removal potential directly proportional to the increase in the initial turbidity to the efficiency maximum of 89.8% at an initial turbidity of 300 NTU and soon after it had a reduction in this efficiency to 79.2% at an initial turbidity of 350 NTU.

Conclusions

In figures 6, 7, 8 and 9, it is clear how the concentration of the natural coagulant is a factor of high interference in the coagulation activity, depending on an optimal relation between the dose of coagulant and the divalent cations present in the water.

With the results presented, it can be seen that the chestnut shells and walnut shells did not have a good potential for removing turbidity and that, although all the nuts studied were European chestnuts of the genus *Castanea sativa*, the different types of nuts had very different results in terms of turbidity removal potential.

Among the seeds studied, the one with the best potential for removing turbidity was the MO with the best result of 89.8% removal, followed by Spanish chestnut with an efficiency of 69.8% and both obtained very similar behaviors with regard to the relationship between turbidity initial and coagulation activity, both with optimal concentration of 0.2 g/L. It is also worth noting that the Spanish nut obtained this removal efficiency by being crushed only, while the MO obtained its highest reduction efficiency by being crushed and sieved.

With this work, it was also noticeable the influence of the initial turbidity, concentration and method of preparation of the coagulant in the coagulation activity of the same, being that each coagulant has a different behavior and the best interaction between coagulant and the analyzed water must be studied so that maximum clotting potential can be extracted.

Another important point verified in this work was that, as presented in the theoretical framework, some authors differ in relation to the agents that act in the coagulation of natural coagulants, whether they are dimeric cationic proteins or some other type of organic polyelectrolyte. As can also be seen in the theoretical references, Table 2, among the different varieties of Portuguese chestnuts, the amounts of proteins do not differ much from each other, being in values that vary from 3.9% to 7.8%, which in itself, does not justify a difference of more than 60% in the efficiency of turbidity reduction, thus suggesting that this difference is in the type of proteins found in each chestnut, or that the coagulant effect comes from other types of organic polyelectrolytes. In order for this to be verified, it is suggested to

identify the types of proteins found in Jewish chestnut, wild chestnut and Spanish chestnut, which will remain as a suggestion for further research.

Acknowledgments

L. O. Santos thanks CAPES (Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel) for the sandwich grant process No. 88881.690128/2022-01. Thanks to the IFS for the removal process N° 23288.000359/2021-46 for the doctoral course.

References

- Ahmad, A., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Othman, A. R., & Ismail, N. 'izzati. (2022). Potential of local plant leaves as natural coagulant for turbidity removal. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(2), 2579–2587. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15541-7>
- Ahmad, A., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Othman, A. R., & Ismail, N. 'izzati. (2021). Plant-based versus metal-based coagulants in aquaculture wastewater treatment: Effect of mass ratio and settling time. *Journal of Water Process Engineering*, 43(102269), 102269. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102269>
- Alnawajha, M. M., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Othman, A. R., & Kurniawan, S. B. (2022). Effectiveness of using water-extracted *Leucaena leucocephala* seeds as a coagulant for turbid water treatment: effects of dosage, pH, mixing speed, mixing time, and settling time. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03233-2>
- Batista, G. S., Roledo, C., Odjegba, E. E., Fiore, F. A., Moruzzi, R. B., & Reis, A. G. dos. (2023). Moringa oleifera seed addition prior to sludge thickening for supernatant quality improvement: Analyses of clarification performance and toxicity. *Sustainability*, 15(9), 7288. <https://doi.org/10.3390/su15097288>
- Camacho, Franciele Pereira; Sousa, Vânia Serrão; Bergamasco, Rosângela; TEIXEIRA, Margarida Ribau. The use of Moringa oleifera as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal*, [S.L.], v. 313, p. 226-

- 237, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>
- Desta, W. M., & Bote, M. E. (2021). Wastewater treatment using a natural coagulant (*Moringa oleifera* seeds): optimization through response surface methodology. *Heliyon*, 7(11), e08451. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451>
- do Nascimento Silva, S., Gomes, J. P., de Matos, J. D. A. P., de Moraes, S. M., de Sousa, R. S. O. W., & da Cunha Siqueira, E. (2020). Composição físico-química de sementes de moringa oriundas de dois estados do nordeste brasileiro. *Revista de Agroecologia no Semiárido*, 4(5), 63-71. <http://dx.doi.org/10.35512/ras.v4i5.4744>
- Dzuvor, C. K. O., Pan, S., Amanze, C., Amuzu, P., Asakiya, C., & Kubi, F. (2021). Bioactive components from *Moringa oleifera* seeds: production, functionalities and applications – a critical review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(2), 271–293. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1931804>. Acesso: 25 abr. 2023
- Faye MCAS, Zhang Y, Yang J. Extracellular polymeric substances and sludge solid/liquid separation under *Moringa oleifera* and chitosan conditioning: a review. *Environ. Tech. Rev.* 2017;1(6):59-73.
- Fink, W., 1984. Identifizierung, Reindarstellung und Strukturaufklärung flockungsaktiver Wirkstoffe aus höheren Pflanzen zur Wasserreinigung. Ph.D. Thesis, University of Heidelberg, Germany
- Hadadi, A., Imessaoudene, A., Bollinger, J.-C., Cheikh, S., Assadi, A. A., Amrane, A., Kebir, M., & Mouni, L. (2022). Parametrical study for the effective removal of Mordant Black 11 from synthetic solutions: *Moringa oleifera* seeds' extracts versus alum. *Water*, 14(24), 4109. <https://doi.org/10.3390/w14244109>
- Hatim, S., Almansoori, A. F., & Al-Baldawi, I. A. (2024). Efficiency of sustainable green coagulants to remove turbidity. *IOP conference series. Earth and environmental science*, 1307(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1307/1/012012>
- Iber, B. T., Okomoda, V. T., Rozaimah, S. A., & Kasan, N. A. (2021). Eco-friendly approaches to aquaculture wastewater treatment: Assessment of natural coagulants vis-a-vis chitosan. *Bioresource Technology Reports*, 15(100702), 100702. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100702>
- Instituto Nacional dos Recursos Biológicos, INRB. (2008). *Variedades de Castanha das Regiões Centro e Norte de Portugal*. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
- Kumar, V., Othman, N., & Asharuddin, S. (2017). Applications of natural coagulants to treat wastewater – A review. *MATEC web of conferences*, 103, 06016. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710306016>
- Kurniawan, S., Abdullah, S., Imron, M., Said, N., Ismail, N., Hasan, H., Othman, A., & Purwanti, I. (2020). Challenges and opportunities of biocoagulant/bioflocculant application for drinking water and wastewater treatment and its potential for sludge recovery. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 9312. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249312>
- Madrona, Grasielle; SCAPIM, Monica; Tonon, Lucineia Cestari; REIS, Miria Miranda; Paraiso, Carolina; Bergamasco, Rosângela. Use of *Moringa oleifera* in a combined coagulation-filtration process for water treatment. *Chemical Engineering Transactions*, [S.L.], v. 57, p. 1195-1200, maio 2017. AIDIC: Italian Association of Chemical Engineering. <http://dx.doi.org/10.3303/CET1757200>.
- Ndabigengesere, KS Narasiah, GB Talbot. Agentes ativos e mecanismo de coagulação de águas turvas usando *Moringa oleifera*. *Água Res.*, 29 (1995), pp . 703 – 710
- Nimesha, S., Hewawasam, C., Jayasanka, D., Murakami, Y., Araki, N., & Maharjan, N. (2022). Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 8(1), 101-116. [doi: 10.22034/GJESM.2022.01.08](https://doi.org/10.22034/GJESM.2022.01.08)
- Nordmark, Brittany A.; Bechtel, Toni M.; Riley, John K.; VelegoL, Darrell; Velegol, Stephanie B.; Przybycien, Todd M.; Tilton, Robert D.. *Moringa oleifera* Seed Protein Adsorption to Silica: effects of water hardness, fractionation, and fatty acid extraction. *Langmuir*, [S.L.], v. 34, n. 16, p. 4852-4860, 22 mar. 2018. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00191>.

- Oladoja, Nurudeen Abiola; PAN, Gang. Modification of local soil/sand with Moringa oleifera extracts for effective removal of cyanobacterial blooms. *Sustainable Chemistry And Pharmacy*, [S.L.], v. 2, p. 37-43, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scp.2015.08.003>
- Owodunni, A. A., Ismail, S., Kurniawan, S. B., Ahmad, A., Imron, M. F., & Abdullah, S. R. S. (2023). A review on revolutionary technique for phosphate removal in wastewater using green coagulant. *Journal of Water Process Engineering*, 52(103573), 103573. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103573>
- Pinto, Marcelo de Oliveira; Chirolli, Milena Julia; Roesler, Helio; Pereira, Suzana Matheus. Diferentes perspectivas da ação de membros inferiores nos quatro nados competitivos: uma revisão integrativa. *Evidência*, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 23-44, 2 set. 2020. Universidade do Oeste de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.18593/eba.24807>
- Putra, R. S., Amri, R. Y., & Ayu, M. (2020). Turbidity removal of synthetic wastewater using biocoagulants based on protein and tannin. *Proceedings of the 5th international symposium on current progress in mathematics and sciences (iscpms2019)*.
- R. Sanghi, B. Bhattacharya, V. Singh. Cassia angustifolia seed gum as an effective natural coagulant for decolourisation of dye solutions. *Green Chem.*, 4 (2002), pp. 252-254
- Santos, L. de O., Sousa, I. F. de, Silva, G. F. da, Barbosa, S. A., & Caetano, N. de S. (2023). Análise de eficiência de filtração de água por múltiplas etapas vs múltiplas camadas com biomassa de moringa oleífera e bucha vegetal. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(4), 2184–2196. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.4.p2184-2196> (A)
- Santos, L., Sousa, I. F., Barbosa, S.A., & Silva, G.F., (2023). Análise da Eficiência de Diferentes Biomassas no Tratamento da Água "Barreiro Trincheira" para Consumo Humano. *Revista De Gestão Social E Ambiental - RGSA*, 17 (1), e03000. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n1-025>. (B)
- Saranya, P., Ramesh, S. T., & Gandhimathi, R. (2014). Effectiveness of natural coagulants from non-plant-based sources for water and wastewater treatment—a review. *Desalination and Water Treatment*, 52(31–33), 6030–6039. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.812993>
- Šćiban, Marina; Klačnja, Mile; Antov, Mirjana; Ikrbić, Biljana. Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology*, [S.L.], v. 100, n. 24, p. 6639-6643, dez. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>.
- Silva, B. P. P. C., Pinheiro, V. J. F., da Costa Barbosa, I. C., Cardoso, D. F. S. R., Santos, L. P., & Santa Rosa, R. M. S. (2021). Avaliação das características físico-químicas da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) e da castanha portuguesa (*Castanea sativa* mill.). *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 5(2).
- Silva, Marcelo; Paterniani, José Francisco, Adriana; Silva, Gabriela. Aplicação de sementes de Moringa oleifera como auxiliares de pré-filtração em sistemas de pré-filtração em etapas adicionais. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, Brasília, DF, 8.4, 30 12 2011. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=732>>. Acesso em: 28 08 2022.
- Souza, A. C. A. A. de, & Pozzebon, M. (2020). Práticas e mecanismos de uma tecnologia social: proposição de um modelo a partir de uma experiência no semiárido. *Organizações & Sociedade*, 27(93), 231–254. <https://doi.org/10.1590/1984-9270934>
- Souza, A. G. de, Santos, L. S. dos, Silva, A. R. Z., & Passoni, C. R. de M. S. (2017). Propriedades nutricionais da castanha portuguesa (*Castanea sativa* Mill) e elaboração de produtos. *Cadernos Da Escola De Saúde*, 2(12). Recuperado de <https://portaldeperiodicos.unibrasil.com.br/index.php/cadernossaude/article/view/2424>
- T. Okuda, A.U. Baes, W. Nishijima, M. Okada. Coagulation mechanism of salt solution – extracted active component in Moringa oleifera seeds. *Water Res.*, 35 (2001), pp. 830-834
- Turunen, J., Karppinen, A., & Ihme, R. (2019). Effectiveness of biopolymer coagulants in agricultural wastewater treatment at two

- contrasting levels of pollution. *SN Applied Sciences*, 1(3).
<https://doi.org/10.1007/s42452-019-0225-x>
- Valverde, K. C., Paccola, E. A. de S., Pomini, A. M., Yamaguchi, N. U., & Bergamasco, R. (2018). Combined water treatment with extract of natural *Moringa oleifera* Lam and synthetic coagulant. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 13(3), 1.
<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2135>
- Venkatachalam, M., & Sathe, S. K. (2006). Chemical composition of selected edible nut seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(13), 4705–4714.
<https://doi.org/10.1021/jf0606959>
- Yin, C.-Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry* (Barking, London, England), 45(9), 1437–1444.
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>

CAPÍTULO VI

RESULTADOS OBTIDOS – ARTIGO 5:

USO DA MORINGA OLEÍFERA LAM COMO DESEMULSIFICANTE NA REDUÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS E TURBIDEZ DA ÁGUA PRODUZIDA



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>

USO DA *MORINGA OLEÍFERA* LAM COMO DESEMULSIFICANTE NA REDUÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS E TURBIDEZ DA ÁGUA PRODUZIDA

Resumo:

Água produzida é um efluente resultante da extração do petróleo, e se apresenta como uma emulsão formada por óleo e água, que contém alta salinidade, produtos químicos, metais pesados, partículas em suspensão, cor e expressivo volume. A presença de emulsificantes naturais presentes no petróleo, contribui para a estabilidade destas emulsões, o que dificulta o rompimento natural delas. Desta forma, isso não acontece em tempo previsível e por isso são necessários processos que promovam o rompimento dessa emulsão e, consequentemente, a separação óleo/água. Desemulsificantes químicos são os produtos mais usados no tratamento da água produzida na indústria do petróleo. No entanto, o uso de desemulsificantes ambientalmente corretos apresenta-se como uma alternativa viável na separação óleo/água. O presente estudo investiga o uso da semente de *Moringa oleífera* LAM como agente desemulsificante natural no tratamento da água produzida. A pesquisa foca na eficiência do processo de separação de emulsões óleo/água utilizando diferentes concentrações da *Moringa*. Foram avaliados parâmetros como a remoção de óleo, redução de turbidez, redução de cor, e os comportamentos do pH e da condutividade durante o tratamento. Os resultados demonstraram que a MO além de eficiente como coagulante/floculante é uma alternativa promissora, sustentável e de baixo custo como desemulsificante natural em detrimento aos desemulsificantes químicos, com resultados de eficiências superiores a 65% em concentrações otimizadas.

Palavras-chave: Água produzida; *Moringa oleífera*; desemulsificante natural; emulsões óleo/água; tratamento de efluentes.

USE OF *MORINGA OLEIFERA* LAM AS DEEMULSIFIER TO REDUCE THE CONTENT OF OILS AND GREASES AND TURBIDITY OF THE WATER PRODUCED

Abstract:

Produced water is an effluent resulting from petroleum extraction and is characterized as an emulsion formed by oil and water. It contains high salinity, chemical products, heavy metals, suspended particles, color, and substantial volume. The presence of natural emulsifiers in petroleum contributes to the stability of these emulsions, making their natural breakdown challenging. Consequently, the natural separation of oil and water does not occur within a predictable timeframe, necessitating processes that promote the emulsion's breakdown and the subsequent oil/water separation. Chemical demulsifiers are the most commonly used products for treating produced water in the petroleum industry. However, the use of environmentally friendly demulsifiers emerges as a viable alternative for oil/water separation. This study investigates the use of *Moringa oleifera* Lam. seeds as a natural demulsifying agent in the treatment of produced water. The research focuses on the efficiency of the oil/water emulsion separation process using different concentrations of *Moringa*. Parameters such as oil removal, turbidity reduction, color reduction, and the behavior of pH and conductivity during treatment were evaluated. The results demonstrated that *Moringa oleifera*, in addition to being efficient as a coagulant/floculant, is a promising, sustainable, and cost-effective alternative as a natural demulsifier, outperforming chemical demulsifiers with efficiencies exceeding 65% under optimized concentrations.

Keywords: Produced water; *Moringa oleifera*; Natural demulsifier; TOG and Turbidity.

Introduction

During petroleum production, water may originate from aquifers (formation water) or from water used in recovery processes, referred to as produced water, an effluent generated during oil extraction (Ramalho; Oliveira, 1999; Souza, 2023).

With the extensive exploitation of petroleum, concerns about the use and disposal of this effluent have grown, primarily due to its composition, as it contains high levels of total oil and grease (TOG), salinity, and high density. Thus, proper management of produced water, including its characterization, treatment, disposal, or reinjection, is of paramount importance (Souza, 2023).

This water, depending on chemical and/or physicochemical conditions, can form highly stable emulsions with petroleum. The water in these emulsions may contain salts, such as sodium, calcium, and magnesium chlorides, and metal oxides, which not only increase the viscosity of the emulsions but also affect pumping and transfer systems, potentially compromising various refinery operations (Oliveira; Carvalho, 1998). These salts may also cause pipeline oxidation and scaling, which obstruct the flow of oil through pipelines. Before oil can be sent to refineries, it must be "demulsified," i.e., dehydrated and desalted, ensuring a final water content of up to 1% v/v (BSW) and a salt content of no more than 570 mg/L. Therefore, prior to transport, crude oil must undergo a treatment process to remove water, salts, and, when necessary, gases. This process, known as primary processing, involves the use of chemical products (demulsifiers) and treating vessels, the most common of which are electrostatic dehydrators. In these vessels, emulsified water undergoes coalescence, separating and settling at the bottom, from where it is removed by decantation. The use of electro-coalescence in petroleum processing is widely adopted and is considered the most effective method for enhancing the efficiency of water-oil separation (Morigaki et al., 2010).

Various segments of the petroleum industry can cause environmental impacts. Within the exploration segment, one of the most significant pollutants is produced water. This effluent results from separation processes conducted at collection and treatment stations during petroleum production, and its increasing volume constitutes a potential environmental hazard (Barambu et al., 2021).

Produced water contains high salinity, oil (both emulsified and non-emulsified), chemical additives used during production processes (e.g., demulsifiers, anti-foam agents, anti-corrosion agents, and anti-scaling agents), heavy metals, and suspended materials. Due to the presence of these elements, the improper disposal of this effluent can lead to harmful environmental effects, negative repercussions, potential fines for environmental violations, and the need for corrective and mitigation actions (Liu et al., 2021; Al-Ghouti et al., 2019).

After treatment, produced water can be reused for reinjection into oil wells as part of secondary recovery strategies or disposed of in the sea, provided legal restrictions are met (Beyer et al., 2020). Currently, Petrobras already employs produced water for secondary oil recovery, but this has led to certain operational challenges, such as formation damage, which can be minimized and/or eliminated through the treatment system proposed in this project.

For reinjection purposes, produced water requires rigorous treatment to meet the specifications for secondary oil recovery processes. The current treatment processes include decantation, coagulation/flocculation, and flotation. This proposal aims to improve the quality of produced water by developing an efficient and cost-effective process for breaking oil-water emulsions. The typical composition of produced water is presented in Table 1, aligning the final product with the conditions stipulated by CONAMA Resolution No. 393/2007 regarding suspended and emulsified oily materials (CONAMA, 2007).

Table 1 – Characteristics of Produced Water

COMPONENTS		CONCENTRATION RANGE
Dissolved Solids (mg/L)	Sodium	13.009-60.348
	Potassium	245-1.149
	Calcium	1.318-17.808
	Magnesium	459-1.440
	Barium	10-868
	Strontium	25-846
	Iron (total)	0,2-46,2
	Chloride	17.240-86.614
	Sulfate	5-227
	Bicarbonate	88-684
	Carbonate	0
	Hydroxide	0
	Sulfide	10
	Total Dissolved Solids	-
Dissolved Gases(mg /L)	Oxygen	-
	Carbon dioxide	-
	Hydrogen sulfide	-
Physical Properties	Density at 15,6°	1,020-1,125
	pH	6,4-7,2
Suspended Material (mg/L)	Oil	2-565
	Sólidos	1-1000

Source: Adapted from Gomes (2009).

Various microorganisms, such as bacteria, algae, fungi, and others, are often present in produced waters, potentially generating corrosive substances through their metabolism (e.g., hydrogen sulfide, sulfuric acid, etc.). The basic treatments that produced water may undergo include: removal of residual oil; removal of suspended solids; elimination of bacteria; and removal of inorganic constituents (iron, sulfide, barium, etc.). Therefore, the complexity of industrial processes has led technicians and researchers worldwide to develop processes that allow industries to treat their effluents in compliance with the parameters defined by current legislation (AL-GHOUTI et al., 2019; AMAKIRI et al., 2022).

According to studies by Santos et al. (2011), the natural presence of high salinity in produced water is a factor that enhances the demulsifying efficiency of *Moringa oleifera* LAM. Based on this premise, the continuation of these studies and the feasibility of this plant as an alternative for breaking the oil/water emulsion in real produced water are justified.

This work will further explore the treatment of produced water, particularly regarding the removal of oils and greases

present in suspension or in the form of emulsions. Given the excellent effect of MO (*Moringa oleifera*) as a natural coagulant and clarifier in water treatment, as demonstrated by recent works by Santos et al. (2023 and 2024), we will test the hypothesis that the seed of *Moringa oleifera* LAM is also effective in breaking the oil/water emulsion in the development of a new product for the oil industry.

Based on this, the general and specific objectives of this work were:

General Objective:

To develop a sustainable product for breaking the oil/water emulsion for the treatment of produced water derived from petroleum exploration.

Specific Objectives:

- Characterize the produced water through physicochemical analyses;
- Study the influence of variables on emulsion formation;
- Verify whether the properties of the produced water after emulsion

breakdown meet the refining requirements and the standards defined by CONAMA Resolution 357/2005.

The target audience/market segment for this proposal encompasses the entire petroleum, gas, and biofuels industry, considering that the problem to be addressed is considered one of the major bottlenecks of this industry since the initiation of exploration and production activities of this mineral on the planet. It thus represents a business opportunity with the development of a new demulsifying product that could be useful in various types of produced water samples and has great potential for growth within the current and future realities of this industry, as well as the challenges it will face in the coming years.

The functionality of the proposed solution is based on previous studies in the literature regarding the use of chemical surfactants and polyelectrolytes as demulsifiers already used for this purpose, and the attempt to present a natural product that has already shown good results in demulsifying other mixtures and can, in this proposal, be used as an active ingredient in the development of a new product for oil/water emulsion demulsification.

Theoretical Framework

Conventional Treatments for Produced Water.

According to Amakiri et al. (2022) and Al-Ghouti et al. (2019), the amount of produced water associated with oil production varies significantly, depending on location, extraction technology, and the age of the well. As the well's age increases, oil and gas production declines, resulting in increased produced water. These values can vary from 2% to as much as 98% by the end of a well's economic life. Therefore, one of the objectives of produced water treatment is to recover part of the oil present in emulsion and prepare it for reinjection or disposal (AMAKIRI et al., 2022; AL-GHOUTI et al., 2019; THOMAS, 2001).

In addition, compliance with the requirements set by environmental regulatory agencies (CONAMA – National Environmental Council Resolutions) makes oily water generated in the petroleum industry and other industrial activities one of the major challenges in minimizing environmental impacts and meeting environmental legislation while reducing operational costs. According to CONAMA Resolution 357/2005, the maximum

content of oils and greases (TOG) in produced water for disposal in receiving bodies should be 20 mg/L. Specifically, for offshore platform discharges, CONAMA Resolution 393/2007 applies, setting the monthly arithmetic mean of oils and greases at up to 29 mg/L, with a daily maximum of 42 mg/L. For reinjection in oil wells, the water must contain no more than 5 mg/L of oils and greases.

Produced water treatment can be carried out through various methods, including physical methods like filtration, adsorption, separation, and hydrocyclones, chemical methods like oxidation, coagulation, and flocculation, or even biological methods such as aerated biological filters and activated sludge (AMAKIRI et al., 2022; AL-GHOUTI et al., 2019).

These treatments can also be classified as primary, secondary, and tertiary. Primary treatments are effective for removing suspended particles larger than 5 μm , but they are not suitable for the removal of dissolved compounds and are primarily applied in physical treatments (AMAKIRI et al., 2022; JAFARINEJAD, 2016).

Secondary treatments aim to achieve higher effluent purity, removing approximately 90% of the oil and dissolved organic matter that was not removed in primary treatment. Techniques for secondary treatment include flotation, adsorption, and activated sludge (AMAKIRI et al., 2022; ARTHUR, LANGHUS, and PATEL, 2005).

Tertiary treatment is used when it is necessary to further reduce turbidity and the concentration of microparticles of oil and impurities beyond the levels achieved by secondary and primary treatments. Technologies used in this stage include electrodialysis, ion-exchange electrolysis, and advanced oxidation processes (AMAKIRI et al., 2022; LI et al., 2014).

Use of MO as a Natural Coagulant

Moringa oleífera LAM (MO) is a tropical plant belonging to the Moringaceae family. Around fourteen species have been identified, all of which possess coagulating properties to varying degrees (OLADOJA and PAN, 2015).

According to Dzuvor et al. (2021), the use of *Moringa oleífera* LAM (MO) presents a range of potential health benefits, including anticancer, antidiabetic, antioxidant, and anti-inflammatory properties. Additionally, its seeds

and cakes can be utilized in the water treatment process for coagulation, flocculation, and as adsorbents due to their ability to eliminate microbes and organic matter.

MO contains active biocoagulants that can be used in water clarification, filtration, sedimentation, and flocculation, reducing the use of chemical-based coagulants (CAMACHO et al., 2017; VALVERDE et al., 2018).

In a review by Ueda et al. (2021), it was shown that MO has potential as a flocculation aid, reducing the use of chemical coagulants while achieving good removal results. It also functions as an adsorbent, with potential for removing various water contaminants. Furthermore, in a study by Santos et al. (2023), the significant potential of MO and sponge gourd as adsorbent biomass for slow filters in water treatment was verified.

Studies indicate that MO can reduce water turbidity by up to 85%, as well as remove 40% to 50% of the organic matter present in the water (CAMACHO et al., 2017). According to Nordmark et al. (2018), their research concluded that *Moringa oleifera* proteins irreversibly adsorb in water rinse models, suggesting that sand modified with *Moringa* proteins is stable for repeated water filtration,

thus providing a simple, effective, and sustainable water filtration device.

In addition to these characteristics, studies like those by Viotti et al. (2019) indicate the promising, low-cost efficiency of using *Moringa oleifera* pods for adsorbing chemical compounds like diclofenac in water treatment.

There are several forms in which *Moringa oleifera* can be utilized, including seeds, pods, flour, cake, and even as activated charcoal. Ruelas-Leyva et al. (2017) found promising results using *Moringa oleifera* flour compared to the conventional coagulant chitosan, with *Moringa* being effective in removing lead and manganese, as well as reducing turbidity in river and agricultural residual waters. In some situations, *Moringa oleifera* flour even showed better results than chitosan.

Positive results in water potabilization were also found by Baptista et al. (2017) in the use of *Moringa oleifera* Lam in a combined Coagulation/Flocculation with Ultrafiltration process, producing high-quality water suitable for human consumption.

Characterization of *Moringa oleifera* LAM.

Below is Table 2, which presents the characterization of *Moringa oleifera* seeds.

Table 2. Nutritional values of seeds selected for study.

	Proteins	Lipids	Carbohydrates	Ashes	Humidity	Tannins	References
MO	32,16% to 32,52%	25,0% to 33,68%	23,48% to 32,43%	4,5% to 4,51%	5,53% to 6,16%		Santos et al. (2024a)

Materials and Methods

This project follows a hypothetical-deductive approach and can be classified as applied research, quantitative, exploratory, experimental, and case study. The methods used will include field research, laboratory research, bibliographic research, experimental research, and case study.

Characterization of the Study Object

The produced water samples for experimentation were collected at the Petrobras Exploration Unit UNSE/AL.

Physicochemical and Microbiological Analyses

In the laboratory, parameters such as pH, turbidity, conductivity, total dissolved solids, total alkalinity, total acidity, total hardness, calcium, magnesium, chlorides, sodium, potassium, and TOG were analyzed, as shown in Table 3.

Table 3 – Physical-chemical analysis methods and units.

Parâmetro	Método	Unidade	Referência
pH	Potentiometric method	dimensionless	NBR 7353
Turbidity	Nephelometric method	NTU	SM 2120
Conductivity	Conductometric method	(μ S)/cm	SM 2130 B
Total Dissolved Solids	Conductometric method	ppm	SM 2510 B
Total Alkalinity	Neutralization volumetry	ppm CaCO ₃	SM 2540
Total acidity	Neutralization volumetry	ppm CaCO ₃	SM 2320 B
Total hardness	Complexation volumetry	ppm CaCO ₃	SM 2340 B
Calcium	Complexation volumetry	mg/L Ca ⁺⁺	SM 2340 B
Magnesium	Complexation volumetry	mg/L Mg ⁺⁺	SM 2340 B
Chlorides	Precipitation volumetry	ppm Cl ⁻	SM 4500
Sodium	Flame photometry	ppm Na ⁺	SM 3111
Potássio	flame photometry	ppm K ⁺	SM 3111
OGC	Solvent extraction	mg/L	

Source: Authors, 2023.

Preparation of the Natural Demulsifier from Moringa Oleifera Seeds.

To prepare the Moringa Oleifera (MO) seed as a natural demulsifier, dehulled moringa

seeds were used. The seeds were ground using a blender and then sieved through a household mesh sieve with a 2.5 mm opening until a fine powder was obtained, as shown in Figure 1.



Figure 1. Moringa seed processing process to obtain powdered coagulant.

Source: Santos, 2023.

In this stage, a treatment was proposed to break emulsions using the natural demulsifier (powdered moringa seed). The objective was to evaluate the direct action of the natural demulsifier as a demulsifying agent. A dosage of 100 mg/L of the natural demulsifier was used as a reference parameter. The dosages tested in the jar test were 75 mg/L, 150 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L, 600 mg/L, and 800 mg/L, as shown

in Figure 2 (from left to right). During this test, each sample was subjected to rapid agitation at 300 rpm for 2 minutes, followed by slow agitation at 45 rpm for 20 minutes, with a settling period of 30 minutes. After this procedure, the turbidity and Total Oil and Grease (TOG) parameters of the supernatants from each beaker were collected and analyzed.

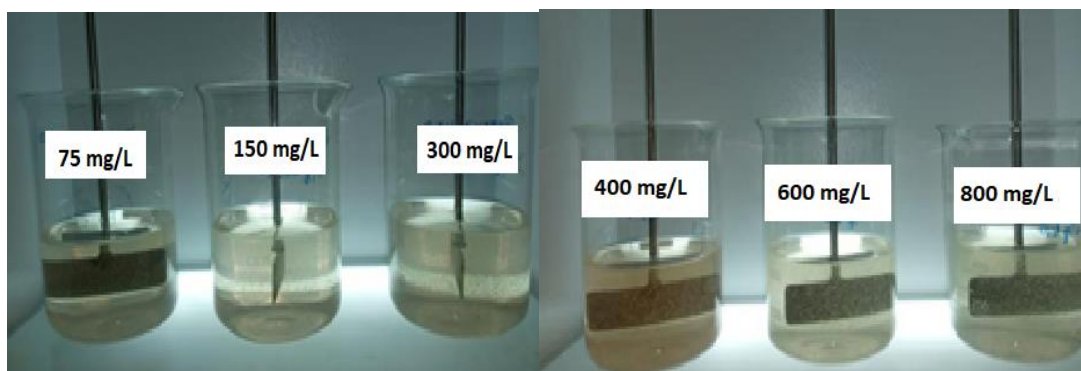


Figure 2. Agitation of the samples after adding the natural MO seed demulsifier.

Source: Authors, 2023.

Proposed Treatment

Conventional treatments include all physical-chemical processes applied to water to modify its quality, ensuring it meets the specifications required for a specific industrial application and/or for potable purposes. These treatments involve chemical clarification through pre-chlorination, sedimentation, coagulation/flocculation, and filtration. Clarification refers to the removal of finely divided and suspended matter in water. For produced water, the primary objective of treatment is to modify its quality, particularly regarding turbidity and TOG (Total Oil and Grease) parameters, as the treatment aims to either reinject the water into formations or dispose of it appropriately in compliance with regulatory requirements.

This study analyzed untreated raw produced water, comparing the analyzed parameters with results obtained after the application of a natural demulsifier. The study assessed whether the oil/water emulsion was disrupted following the use of a natural demulsifier derived from *Moringa oleifera* (MO).

Results and Discussion

The results are presented through the physicochemical characterization of raw produced water (Table 4), followed by the mean values and standard deviations of analyses conducted on the supernatant of water samples treated with varying concentrations of the natural coagulant agent.

The tested dosages were 75 mg/L, 150 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L, 600 mg/L, and 800 mg/L of MO seeds (Table 5). This is followed by the presentation and discussion of the turbidity, apparent color, and TOG parameters for each concentration of the natural coagulant used (Table 6, Figures 3, 4 and 5).

These three parameters were selected for discussion as they exhibited the most significant reductions due to the action of the natural demulsifier: turbidity showed a maximum reduction of 70.62%, color a maximum reduction of 59.82%, and TOG a maximum reduction of 67.31%. For other parameters, pH, conductivity, TDS (Total Dissolved Solids), total hardness, calcium, and magnesium showed an increase, while sodium and potassium showed maximum reductions of 8.22% and 20.01%, respectively. Alkalinity and total acidity remained within the recommended range established by CONAMA Resolution 357/2005 and, therefore, were not selected for further discussion.

For parameter analysis and graph construction, Prism 9 software by GraphPad was used, employing one-way ANOVA with a significance level of 5% to analyze statistical differences between parameters. Identical letters were used for samples that are not significantly different, and different letters were used for those that are statistically significantly different, as shown in figures 3, 4, and 5.

Table 4: Physical-chemical characteristics of raw produced water.

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS	VALUES FOUND AVERAGE $\pm$ SD
pH	8,52 $\pm$ 0,22
Turbidity (NTU)	86,52 $\pm$ 3,00
Color (uC)	60,56 $\pm$ 4,12
Conductivity (μ S/cm)	36.960 $\pm$ 350,00
Total Dissolved Solids (mg/L)	18.237 $\pm$ 160,60
Total Alkalinity	25,75 $\pm$ 2,52
Total acidity (mg/L CaCO ₃)	16,41 $\pm$ 4,56
Total hardness (mg/L CaCO ₃)	12.650 $\pm$ 220,34
Calcium (mg/L Ca ⁺⁺)	3.846 $\pm$ 86,46
Magnesium (mg/L Mg ⁺⁺)	738 $\pm$ 12,45
Chlorides (mg/L Cl ⁻)	32.356 $\pm$ 120,42
Sodium (mg/L Na ⁺)	6.875 $\pm$ 62,48

Potassium (mg/L K ⁺)	368 ± 7,56
Oil and grease content (mg/L)	120 ± 6,42

Source: Autores, 2023.

After conducting the jar test with dosages of 75 mg/L, 150 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L, 600 mg/L, and 800 mg/L of *Moringa oleifera* (MO) seeds, the supernatants were analyzed for all proposed

parameters. It was observed that, except for turbidity, apparent color, and TOG, the variations in the other parameters were considered minor. Table 5 presents the mean results for the evaluated dosages.

Table 5: Physical-chemical characteristics of the mean results of *Moringa oleifera* dosages (75 mg/L; 150 mg/L; 300 mg/L; 400 mg/L; 600 mg/L and 800 mg/L).

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	VALORES ENCONTRADOS MÉDIA ± DP
pH	8,38 ± 0,06
Turbidez (UNT)	29,86 ± 3,29
Cor (uH)	28,07 ± 2,54
Condutividade (µS/cm)	37.365 ± 254
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	19.642,44 ± 63,92
Alcalinidade Total (mg/L CaCO ₃)	18,53 ± 7,70
Acidez Total (mg/L CaCO ₃)	14,33 ± 3,88
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	13.807,77 ± 2448,41
Cálcio (mg/L Ca ⁺⁺)	2902,50 ± 440,92
Magnésio (mg/L Mg ⁺⁺)	1593,94 ± 662,46
Cloretos (mg/L Cl ⁻)	33.867 ± 2392
Sódio (mg/L Na ⁺)	7.150 ± 165
Potássio (mg/L K ⁺)	390 ± 14
TOG (mg/L)	54,72 ± 7,33

Source: Autores, 2024.

Therefore, we will present only the results of these three parameters, comparing them with the raw water results.

Table 6: Turbidity, pH, color and OGC analysis of raw water and after adding different concentrations of *Moringa oleifera* (natural demulsifier).

CONCENTRAÇÕES (mg/L)	pH	Turbidity (UNT)	Color (uC)	OGC (mg/L)
Água Bruta	8,52	86,52	60,56	120
75	8,49	27,40	28,32	56
150	8,45	25,42	24,33	40
300	8,37	28,78	26,84	48
400	8,35	30,65	27,61	58
600	8,33	32,75	29,38	62
800	8,29	34,14	31,93	66

Source: Autores, 2024.

Turbidity

In this section, we will discuss the efficiency of *Moringa oleifera* (MO) in the removal of turbidity from produced water, as shown in Figure 3 below.

The results obtained in this study are lower than those reported by Desta and Bote (2021), who achieved a 99.5% reduction in turbidity and 97.7% in color for basic waters and a 98% reduction in turbidity and 90.76% in color for acidic waters. They are also lower than the findings of Santos et al. (2023), who achieved approximately 97% turbidity reduction in surface water treatment using MO, and those of Valverde et al. (2018), who obtained reductions of 70% in turbidity and 75% in apparent color using MO seeds as a coagulant agent. These variations in results can be attributed to several factors affecting the coagulating activity of MO, including the pH and initial turbidity of the raw water, the coagulant dosage, and the method of coagulant administration, all of which influence the level of interaction between particles.

In the study conducted by Santos et al. (2011) using MO for the treatment of synthetic produced water, a turbidity removal efficiency of 85.2% was achieved. In this study, using produced water collected from Petrobras UNSE/AL's Exploration Unit with characteristics previously described in Table 4, a maximum turbidity removal of 70.62% was achieved with a dosage of 150 mg/L of the natural coagulant, as shown in Figure 3 below.

The behavior of the coagulant observed in this study aligns with that reported by Santos et al. (2024), who also investigated the use of natural coagulants as an alternative for treating synthetic water.

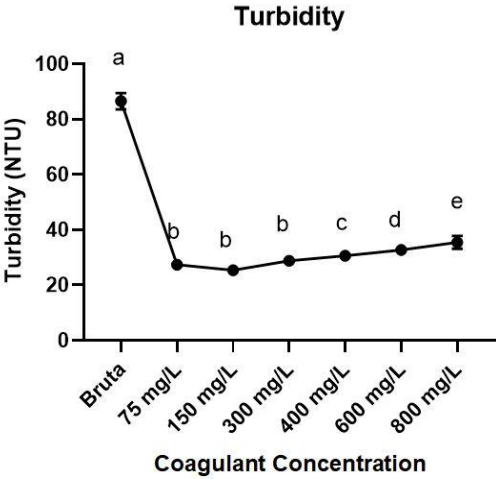


Figure 3. Turbidity results for different concentrations of MO seeds.

Source: Authors, 2024.

Apparent Color

In this section, we will discuss the efficiency of *Moringa oleifera* (MO) in the removal of apparent color from produced water, as shown in Figure 4 below.

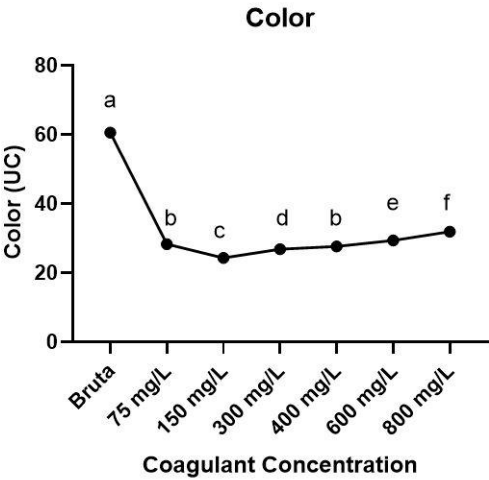


Figure 4. Apparent color results for different concentrations of MO seeds.

Source: Authors, 2024.

The results obtained regarding the reduction of apparent color are also lower than those reported by Santos et al. (2023), who achieved a 96.62% reduction in apparent color of the sample, and by Valverde et al. (2018), who obtained a 75% reduction in color. This difference is mainly due to the characteristics of the treated water, as natural clarifiers are highly affected by the initial water characteristics, as observed in studies conducted by Santos et al. (2024). Generally, water with higher initial turbidity and

apparent color shows greater removal efficiency of these parameters by the natural clarifier.

In this study, the maximum reduction of apparent color achieved was 59.82% with a concentration of 150 mg/L of MO seeds.

Oil and Grease Content - TOG

In this section, we will discuss the efficiency of *Moringa oleifera* (MO) in reducing TOG from produced water, as shown in Figure 5 below.

In the study conducted by Santos et al. (2011) using MO for synthetic produced water treatment, a TOG reduction efficiency of 82% was achieved. In this study, using produced water collected from Petrobras UNSE/AL's Exploration Unit, with characteristics previously described in Table 4, a maximum TOG removal of 66.67% was obtained with a dosage of 150 mg/L of the natural coagulant, as shown in Figure 5 below.

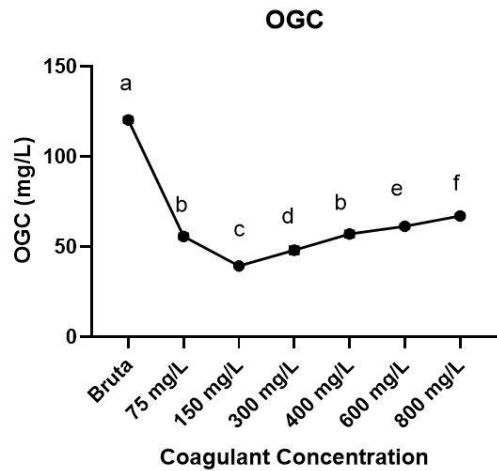


Figure 5. OGC results for different MO seed concentrations.

Source: Authors, 2024.

pH

The pH measures the acidity or alkalinity of a sample. In this experiment, it was possible to observe the variation in pH after the

addition of the demulsifier at different concentrations and assess whether pH control is necessary during treatment. According to Table 6 and Figure 6, it is observed that pH decreases as MO is added, but with minimal variations, with the maximum reduction being 0.23% in pH relative to raw water at a concentration of 800 mg/L.

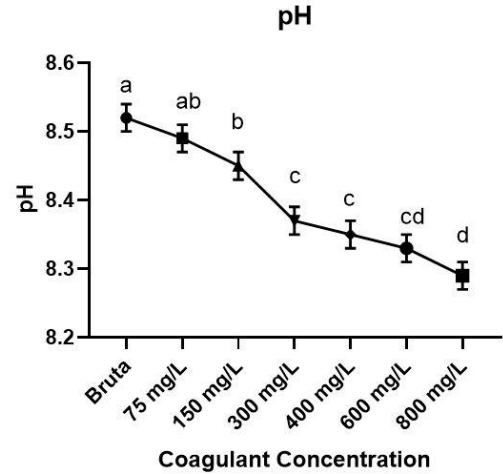


Figure 6. pH results for different MO seed concentrations.

Source: Authors, 2024.

Taynara et al. (2011) compared the pH values of samples treated with MO and found that they remained virtually constant for all concentrations used. In contrast, when using aluminum sulfate, a significant reduction in pH was observed as the concentration increased, which can be explained by the fact that aluminum sulfate is an acidic coagulant, capable of drastically lowering the pH of the solution.

Table 6 and Figure 7 present the final results of each jar with the respective concentrations of the natural demulsifier (75, 150, 300, 400, 600, and 800 mg/L, from left to right).

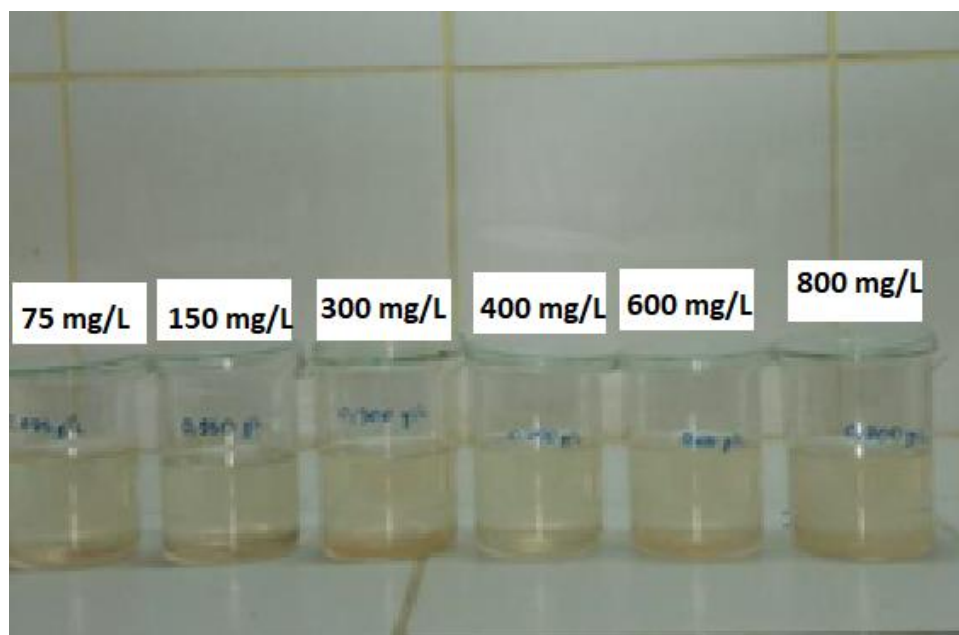


Figure 7: Result of the different dosages after the jar test with addition of the natural demulsifier (75; 150; 300; 400, 600 and 800 mg/L from left to right).

Source: Authors, 2023.

Conclusions

With all these analyses, it can be observed that after performing the jar test, varying the dosage of the natural demulsifier directly added to the raw water samples without prior treatment, the addition of 150 mg/L was considered the optimal dosage. This dosage resulted in the greatest reduction in turbidity, apparent color, and TOG compared to raw water. Turbidity was reduced by 70.62%, apparent color by 59.82%, and TOG by 66.7%. Based on these results, it can be concluded that the use of *Moringa oleifera* (natural demulsifier) added directly to the raw produced water proved to be highly effective in reducing the studied parameters. Although the values obtained exceed those stipulated by CONAMA Resolution No. 357/05, this reinforces the hypothesis that the use of the natural demulsifier from *Moringa oleifera* (MO) contributes complementarily to the treatment of produced water by breaking the oil/water emulsion and consequently reducing turbidity and TOG.

Acknowledgments

L. O. Santos thanks CAPES (Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel) for the sandwich grant process No. 88881.690128/2022-01. Thanks to

the IFS for the removal process N° 23288.000359/2021-46 for the doctoral course and also, thanks to FAPITEC for the funding of my doctoral program from edital No. 13/2013 and for funding the project through the edital No. 15/2023.

References

- Al-Ghouti, M. A., Al-Kaabi, M. A., Ashfaq, M. Y., & Da'na, D. A. (2019). Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 28, 222–239. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.001>
- Amakiri, K. T., Canon, A. R., Molinari, M., & Angelis-Dimakis, A. (2022). Review of oilfield produced water treatment technologies. *Chemosphere*, 298(134064), 134064. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134064>
- Arthur, J. D., Langhus, B. G., & Patel, C. (2005). Technical summary of oil & gas produced water treatment technologies. *All Consulting, LLC, Tulsa, OK*.
- Barambu, N. U., Bilad, M. R., Bustam, M. A., Kurnia, K. A., Othman, M. H. D., & Nordin, N. A. H. M. (2021). Development of membrane material for oily wastewater treatment: A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(2), 1361–1374. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.08.027>
- Beyer, J., Goksøyr, A., Hjermand, D. Ø., & Klungsøyr, J. (2020). Environmental effects of offshore produced water discharges: A review focused on the Norwegian continental shelf. *Marine Environmental Research*, 162(105155), 105155. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105155>
- BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf
- BRASIL. Resolução CONAMA 393, de 08 de agosto de 2007. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Disponível em: https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2018/08/CONAMA_RES_CONS_2007_393.pdf
- Camacho, F. P., Sousa, V. S., Bergamasco, R., & Ribau Teixeira, M. (2017). The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal (Lausanne, Switzerland: 1996)*, 313, 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>
- Desta, W. M., & Bote, M. E. (2021). Wastewater treatment using a natural coagulant (*Moringa oleifera* seeds): optimization through response surface methodology. *Heliyon*, 7(11), e08451. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451>
- Dzuvor, C. K. O., Pan, S., Amanze, C., Amuzu, P., Asakiya, C., & Kubi, F. (2022). Bioactive components from *Moringa oleifera* seeds: production, functionalities and applications – a critical review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(2), 271–293. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1931804>
- GOMES, E. A., Tratamento Combinado da Água Produzida de Petróleo por Eletroflotação e Processo Fenton. Dissertação, UNIT, Aracaju, 2009, 95p. Jafarinejad, S. (2016). *Petroleum waste treatment and pollution control*. Butterworth-Heinemann.
- Li, X., Cao, X., Wu, G., Temple, T., Coulon, F., & Sui, H. (2014). Ozonation of diesel–fuel contaminated sand and the implications for remediation endpoints. *Chemosphere*, 109, 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.005>
- Liu, Y., Lu, H., Li, Y., Xu, H., Pan, Z., Dai, P., Wang, H., & Yang, Q. (2021). A review of treatment technologies for produced water in offshore oil and gas fields. *The Science of the Total Environment*, 775(145485), 145485. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145485>
- Baptista, A. T. A., Coldebella, P. F., Cardines, P. H. F., Gomes, R. G., Vieira, M. F., Bergamasco, R., & Vieira, A. M. S. (2015). Coagulation–flocculation process with ultrafiltered saline extract of *Moringa oleifera* for the treatment of surface water. *Chemical Engineering Journal (Lausanne, Switzerland: 1996)*, 276, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.04.045>
- Morigaki, M. K., Chimin, R. Q. F., Sad, C. M. dos S., Filgueiras, P. R., Castro, E. V. R. de, & Dias, J. C. M. (2010). Salinidade em petróleo bruto: otimização de metodologia e proposta de um novo método para extração de sais em petróleo. *Quimica*

- Nova*, 33(3), 607–612.
<https://doi.org/10.1590/s0100-40422010000300023>
- Nordmark, B. A., Bechtel, T. M., Riley, J. K., Velegol, D., Velegol, S. B., Przybycien, T. M., & Tilton, R. D. (2018). *Moringa oleifera* seed protein adsorption to silica: Effects of water hardness, fractionation, and fatty acid extraction. *Langmuir: The ACS Journal of Surfaces and Colloids*, 34(16), 4852–4860.
<https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00191>
- Oladoja, N. A., & Pan, G. (2015). Modification of local soil/sand with *Moringa oleifera* extracts for effective removal of cyanobacterial blooms. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 2, 37–43.
<https://doi.org/10.1016/j.scp.2015.08.003>
- OLIVEIRA, R. C. G.; CARVALHO, C. H. M. **Influência do Tipo de Emulsão Sobre o Escoamento e o Processo de Deposição Orgânica de Petróleos**. Boletim Técnico Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, 41 (3/4): pp. 153-159, jul./dez. 1998.
- RAMALHO, J. B. V. S.; OLIVEIRA, M. C. K. **Metodologia para Determinação da Distribuição de Gotas em Emulsões e Petróleo do Tipo Água-Óleo por Difração a Laser**. Boletim Técnico Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, 42(1/4): pp. 72-76, jan./dez. 1999.
- Ruelas-Leyva, J. P., Contreras-Andrade, I., Sarmiento-Sánchez, J. I., Licea-Claverie, A., Jiménez-Lam, S. A., Cristerna-Madrigal, Y. G., & Picos-Corrales, L. A. (2017). The effectiveness of *Moringa oleifera* seed flour and chitosan as coagulant-flocculants for water treatment. *Clean: Soil, Air, Water*, 45(8).
<https://doi.org/10.1002/clen.201600339>
- SANTOS, Oliveira, L. de, Sousa, I. F. de, Silva, G. F. da, Barbosa, S. A., & Caetano, N. de S. (2024a). Analysis of the efficiency of different Oleaginous seeds and shells for use as natural coagulants. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 17(3), 1833–1847.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.3.p1833-1847>
- Santos, L. de O., Sousa, I. F. de, Silva, G. F. da, & Barbosa, S. A. (2023). Tecnologia social de tratamento de água utilizando FiME com biomassa de moringa oleífera e bucha vegetal. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(4), 1923–1937.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.4.p1923-1937>
- Santos, T. M., Pereira, D. F., Santana, C. R., & Silva, G. F. da. (2011). Estudo do tratamento físico químico da água produzida utilizando *Moringa oleifera* Lam em comparação ao sulfato de alumínio. *Exacta*, 9(3), 317–322.
<https://doi.org/10.5585/exacta.v9i3.3073>
- SOUZA, Jôsy Suyane de Brito. S. (2023). *Tratamento de água produzida utilizando microemulsão formulada a partir de tensoativos de origem vegetal* [UFBA].
<https://repositorio.ufba.br/handle/ri/37955>
- THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia do Petróleo. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência. RJ, 2001.
- VALVERDE, Karina Cardoso et al. Combined water treatment with extract of natural *Moringa oleifera* Lam and synthetic coagulant. *Revista Ambiente & Água* [online]. 2018, v. 13, n. 3, e 2135.
- Viotti, P. V., Moreira, W. M., Santos, O. A. A. dos, Bergamasco, R., Vieira, A. M. S., & Vieira, M. F. (2019). Diclofenac removal from water by adsorption on *Moringa oleifera* pods and activated carbon: Mechanism, kinetic and equilibrium study. *Journal of Cleaner Production*, 219, 809–817.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.129>
- Ueda Yamaguchi, N., Cusioli, L. F., Quesada, H. B., Camargo Ferreira, M. E., Fagundes-Klen, M. R., Salcedo Vieira, A. M., Gomes, R. G., Vieira, M. F., & Bergamasco, R. (2021). A review of *Moringa oleifera* seeds in water treatment: Trends and future challenges. *Process Safety and Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B*, 147, 405–420.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.044>

CAPÍTULO VII

RESULTADOS OBTIDOS – ARTIGO 6:

DISTRIBUIÇÃO DE KITS SIMPLIFICADOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA À COMUNIDADE DE SANTA RITA EM NOSSA SENHORA APARECIDA-SE

DISTRIBUIÇÃO DE KITS SIMPLIFICADOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA À COMUNIDADE DE SANTA RITA EM NOSSA SENHORA APARECIDA-SE

SANTOS, Luam de Oliveira Santos¹; BARBOSA, Silvanito Alves²; SOUSA, Inajá Francisco de³; SILVA, Gabriel Francisco da⁴; SANTOS, Carlos Eduardo dos⁵; FARIAS, Shirley Silva⁶

RESUMO

O projeto tem como tema tecnologias sociais e desenvolvimento sustentável sendo a linha de pesquisa formas alternativas de tratamento de água para consumo humano tendo como motivação a redução do uso de produtos químicos no tratamento da água além de possibilitar maior autonomia de populações ribeirinhas no consumo de água de qualidade, de forma simples e segura, contribuindo assim com o desenvolvimento sustentável nas três esferas: ambiental, econômica e social. A hipótese desse projeto é: Um sistema simplificado de tratamento de água utilizando coagulação e floculação com semente de MO e desinfecção com hipoclorito de sódio é eficaz no tratamento da água de barreiro trincheira para uso prioritariamente de hidratação animal, mas também podendo ser utilizada de forma segura para consumo humano, estritamente quando necessário. O projeto foi realizado na comunidade de Santa Rita, no município de Nossa Senhora Aparecida-SE, desenvolvido em parceria do IFS e UFS. Com a coagulação/floculação feita com a semente de MO obteve-se uma redução de 92,62% de turbidez e 96,62% na cor aparente da água. Foi elaborada uma cartilha, juntamente com a comunidade e distribuído os kits de tratamento que é composto pela cartilha, coagulante natural a base de semente de MO e hipoclorito de sódio, além de ter sido feito a capacitação da comunidade e distribuído mudas de MO para que fossem plantadas e a própria comunidade produzir o coagulante natural e podendo servir a MO como ração animal a alimentação humana.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável; *Moringa oleífera*; Tecnologia social.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Lagarto. E-mail: luam.santos@ifs.edu.br.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. E-mail: silvanito.barbosa@ifs.edu.br

³ Universidade Federal de Sergipe – Campus São Cristóvão. E-mail: inaja.sousa@academico.ufs.br

⁴ Universidade Federal de Sergipe – Campus São Cristóvão. E-mail: gabriel.silva@academico.ufs.br

⁵ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. E-mail: carloseduardosdosantos255@gmail.com

⁶ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. E-mail: shirley.farias049@academico.ifs.edu.br

INTRODUÇÃO

O estudo tem como tema tecnologias sociais e desenvolvimento sustentável, sendo a linha de pesquisa tratamento alternativo da água para consumo humano, tendo como motivação a redução do uso de produtos químicos no tratamento da água, e a sua substituição por produtos naturais de baixo custo, visando possibilitar maior autonomia de populações ribeirinhas no consumo de água segura e de qualidade de forma simples e sustentável.

É recorrente o sofrimento da região agreste sergipana com a escassez de água, sendo que nos últimos dez anos a região tem uma média de apenas 282 mm de chuva por ano. (Brasil, 2022). Várias comunidades dessa região fazem uso de tecnologias sociais como cisternas de placa, cisternas calçadão e barreiro trincheira para suprir suas necessidades hídricas. Dentro deste contexto, esta pesquisa busca melhorar a qualidade da água do barreiro trincheira utilizado pela comunidade do povoado de Santa Rita no município de Nossa Senhora Aparecida, em Sergipe, tornando-a segura para uso e consumo humano. Para Dzuvoor *et al.* (2021) a utilização *Moringa oleífera* LAM (MO) apresenta-se como uma gama de potenciais benefícios para saúde humana com propriedades anticancerígenas, antidiabéticas, antioxidantes, anti-inflamatórias além disso, suas sementes e tortas podem ser utilizadas no processo de tratamento de água na coagulação, floculação e como adsorventes por sua capacidade de eliminação de micróbios e matéria orgânica. Dessa forma, justifica-se o estudo da viabilidade do uso da *Moringa oleífera* (MO) como alternativa para tratamento da água para consumo humano. A hipótese desse estudo é: Um sistema simplificado de tratamento de água utilizando coagulação e floculação com semente de MO e desinfecção com hipoclorito de sódio é eficaz no tratamento da água de barreiro trincheira para uso prioritariamente de hidratação animal, mas também podendo ser utilizada de forma segura para consumo humano, estritamente quando necessário. Este estudo tem como objetivo a construção e distribuição de um kit simplificado para tratamento da água do barreiro trincheira da comunidade, composto por uma cartilha, coagulante natural a base de semente de MO e hipoclorito de sódio. Para isto, utilizaremos a MO uma planta tropical que pertence à família Moringaceae. Em torno de catorze espécies já foram identificadas e todas possuem propriedades coagulantes em diferentes graus de coagulação (Oladoja e Pan, 2015). Resultados positivos no tratamento da potabilização da água também foram encontrados por Madrona *et al.*, (2017), no uso da *Moringa oleífera* LAM num processo combinado de Coagulação/Floculação com

ultrafiltração obtendo água de alto nível de qualidade para consumo humano após o processo.

Para construção da cartilha, foi utilizada a metodologia Pesquisa-ação participativa (PAR) de Fals Borda, onde a comunidade foi diretamente envolvida no processo, sendo as pessoas participantes ativos na sua elaboração, baseadas em seus conhecimentos e experiências. (FALS BORDA, 2013 [2006]).

OBJETIVOS

Construção e distribuição de um kit simplificado para tratamento da água do barreiro trincheira da comunidade de Santa Rita no município de Nossa Senhora Aparecida/SE, composto por uma cartilha de orientação, coagulante natural a base de semente de MO e hipoclorito de sódio.

MATERIAL E MÉTODOS

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

Quadro 1: Métodos de análises físico-químicas e microbiológicas:

Parâmetro	Método	Unidade	Referência
pH	Método potenciométrico	adimensional	NBR 7353
Cor	Método colorimétrico	UC	SM 2120
Turbidez	Método nefelométrico	uT	SM 2130 B

CONSTRUÇÃO DA CARTILHA

Com os resultados das análises, pode-se dar início a construção colaborativa da cartilha com a participação dos membros do sindicato dos produtores rurais do município de Nossa Senhora Aparecida/SE.

A cartilha tem como objetivo orientar a comunidade sobre o tratamento simplificado da água para melhorar a sua qualidade, devendo ser utilizada prioritariamente para hidratação dos animais, mas podendo ser ampliada, quando necessário, para consumo humano.

A cartilha foi elaborada através da metodologia Pesquisa-ação participativa (PAR) de Fals Borda, onde a comunidade foi diretamente envolvida no processo, sendo as

peessoas participantes ativos na sua elaboração, baseadas em seus conhecimentos e experiências. (FALS BORDA, 2013 [2006]).

Dessa forma, optou-se por uma cartilha de linguagem coloquial, lúdica, com figuras, explicação simplificada, mas sobretudo com o contato da pessoa que elaborou o estudo, para que fosse contactada sempre que necessário, além de uma rotina de visitas à comunidade para análises periódicas e melhoria contínua, conforme sugerida pela metodologia utilizada.

Jar Test e Preparo do coagulante natural de semente de (MO)

Antes do tratamento da água, foi efetuado previamente o *jar test* para encontrar-se a proporção de coagulante ideal para o processo de coagulação da água bruta. Foi utilizado semente de moringa descascada, triturada em liquidificador e peneirada em peneira doméstica de malha com abertura de 2,5 mm até a obtenção de uma farinha fina, conforme Figura 1.

Para identificar a concentração ideal de coagulante foi efetuado o teste de jarro, com concentrações de 0,6, 0,8 e 1,0 g/L, agitação rápida em 300 rpm por 2 minutos e agitação lenta em 45 rpm por 10 minutos e período de decantação de 2 horas. Após esse procedimento, foi coletado o sobrenadante de cada becker de vidro e analisados os parâmetros de cor aparente e turbidez. Como podemos verificar no quadro 2 a seguir, encontrando-se que a concentração ideal de coagulante é de 0,8 g/L. Sendo esta concentração utilizada posteriormente para coagulação da água bruta.

Figura 1. Processo de beneficiamento da semente de moringa para obtenção do coagulante em pó.



Quadro 2. Métodos de análises físico-químicas e microbiológicas

0,6 g/L		0,8 g/L		1,0 g/L	
Turbidez (NTU)	Cor (UC)	Turbidez (NTU)	Cor (UC)	Turbidez (NTU)	Cor (UC)
31,77±0,06	72,17±0,11	28,3±0,00	63,03±0,29	30,9±0,00	68,7±0,10

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados serão divididos em três categorias, sendo elas: Resultados das análises físico-químicas da água bruta e após o tratamento proposto; A cartilha desenvolvida para orientação da comunidade e Capacitação da comunidade.

Análises Físico-Químicas

Apresentar-se-á a caracterização físico-química de pH, cor aparente e turbidez da água bruta e da água coagulada.

Quadro 5. Caracterização físico-química das amostras e vazão.

Amostra	Cor (UC)	Turbidez (NTU)	pH
Água bruta	1864±2,53	383,67±0,04	8,49±0,08
Água Coagulada	63,10±0,21	28,30±0,06	7,33±0,02
Limites GM/MS N° 888 de 2021	15 UC	5 NTU	6,0 – 9,5

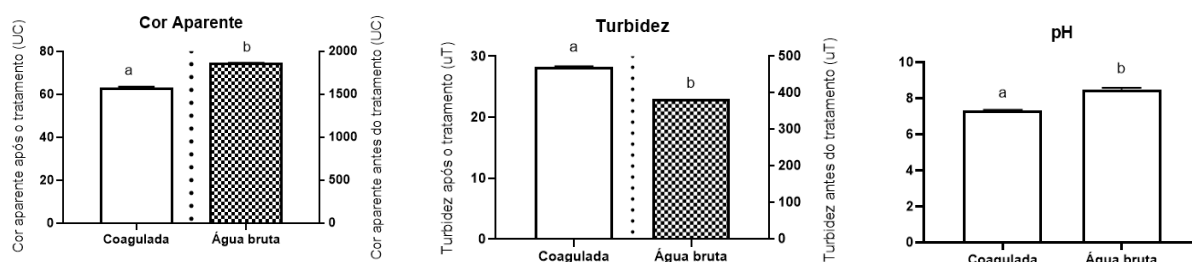
Fonte: Santos, 2023

Cor, Turbidez e pH

Com esta caracterização inicial pode-se perceber que a coagulação com a farinha de semente de MO na concentração de 0,8 g/L na água bruta proveniente do barreiro trincheira foi responsável pela redução de 92,62% na turbidez e de 96,62% na cor. Estes resultados estão compatíveis com Lima (2015) que obteve redução de aproximadamente 100% na turbidez, Madrona *et al.* (2017) que também obteve redução de aproximadamente 99% nos parâmetros analisados após o tratamento utilizando a MO e Valverde *et al.* (2018) que obteve redução de 70% de turbidez e 75% de cor aparente com a utilização da semente de MO como agente coagulante.

Foi utilizado o software Prism 9 da Graphpad com teste unidirecional ANOVA e significância de 5% para análises das diferenças estatísticas na construção dos gráficos apresentados na Figura 2.

Figura 2. Gráficos de cor aparente, turbidez e pH das amostras.



Fonte: Santos, 2023.

Primeiramente deve-se considerar que estes gráficos de Cor Aparente e Turbidez, utilizam-se de eixo auxiliar a direita com escala diferente. Isto faz-se necessário devido os valores encontrados de cor e turbidez da água bruta serem muito mais elevados que após a coagulação.

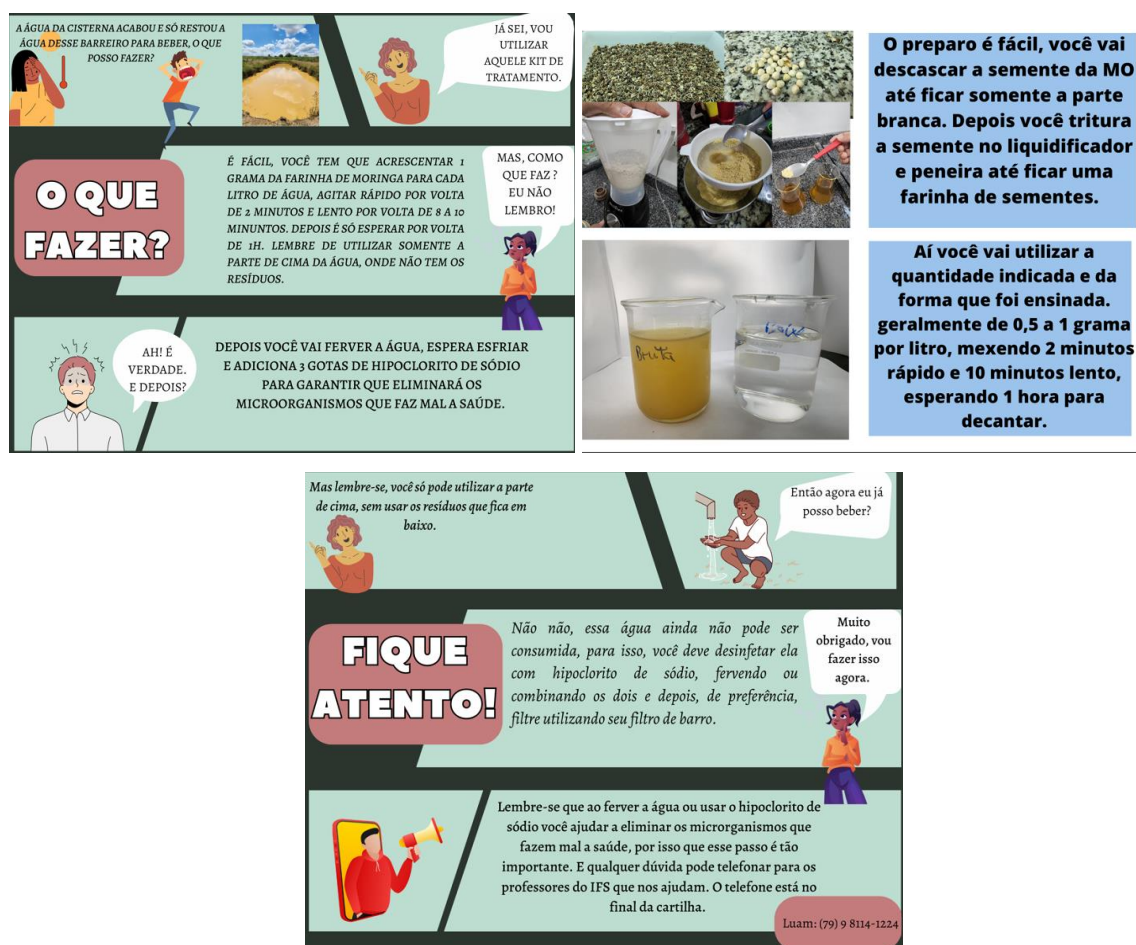
Dito isto, para análise de todos os gráficos, utilizamos letras iguais para amostras que não são significativamente diferentes do ponto de vista estatístico e letras diferentes para amostras que são significativamente diferentes estatisticamente.

Conforme dito anteriormente, é perceptível a significativa redução da cor aparente e turbidez da água após a coagulação com a semente de MO.

Em relação ao pH, percebe-se que a coagulação com a semente de MO reduziu significativamente o pH da água, porém, percebe-se que os pH se mantem dentro dos parâmetros aceitáveis pela legislação brasileira para águas de consumo humano.

Cartilha desenvolvida para orientação da comunidade.

Figura 3. Cartilha desenvolvida para orientação da comunidade.



Capacitação da comunidade.

Com os resultados das análises físico-químicas e com a cartilha confeccionada, foi feita uma capacitação in loco com a comunidade para a entrega dos kits, composto pela cartilha, coagulante natural a base de semente de MO e hipoclorito de sódio além de serem distribuídas mudas de *Moringa oleífera* LAM para que pudessem ser plantadas pela comunidade para que eles mesmos possam produzir o coagulante natural a base da semente de MO.

Figura 4. Capacitação da comunidade, entrega dos kits e das mudas de MO.



CONCLUSÃO

Este trabalho teve seu objetivo alcançado pois, percebe-se que a tecnologia social proposta de tratamento simplificado da água do barreiro trincheira através da coagulação/floculação com semente de MO, é capaz de tornar a água de barreiro trincheira própria para uso humano e com posterior desinfecção com hipoclorito de sódio é possível também tornar a água mais segura para seu consumo, quando necessário, em casos de situações onde ocorra falta de água potável ou das cisternas. Ao final de todo processo, obteve-se uma redução de 96,62% da cor aparente, 92,62% da turbidez. A cartilha desenvolvida também atingiu seu objetivo, sendo construída conjuntamente com a

comunidade, para que possa ser compreendida com total clareza. Ao fim dos trabalhos, com os resultados obtidos e com a cartilha confeccionada, foi efetuada a capacitação da comunidade quanto ao uso do kit simplificado de tratamento da água, distribuído os kits e também houve a distribuição das mudas de MO para que a comunidade possa produzir o coagulante natural, conforme orientados na capacitação e além disso, a MO é considerada pela ONU, UNICEF e OMS como uma “*superfood*” e pode ser utilizada como ração animal e alimentação humana, sendo uma ótima fonte de nutrientes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à PROPEX/IFS pelo financiamento da pesquisa através de edital de extensão Nº15/2023. Agradecemos também a FAPITEC pelo financiamento da pesquisa através do edital de extensão Nº15/2023.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Banco de Dados Meteorológicos do INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, BRASIL, 2022. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso: 22 mai. 2022.

DZUVOR, C. K. O., Pan, S., Amanze, C., Amuzu, P., Asakiya, C., & Kubi, F. (2021). Bioactive components from *Moringa oleifera* seeds: production, functionalities and applications – a critical review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(2), 271–293. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1931804>. Acesso: 25 abr. 2023.

FALS BORDA, Orlando. Situación contemporánea de la IAP y vertientes afines. In: Orlando Fals Borda – Socialismo raizal y el ordenamiento territorial. Bogotá: Ed. Desde Abajo, 2013 [2006]. p. 108-114.

LIMA, N. M. Aplicação de *Moringa oleifera* no tratamento da água com turbidez, 2015. Dissertação (mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2015. 56 páginas.

MADRONA, GS, Da Silva Scapim, MR, Tonon, L. a. C., Reis, MG, Paraíso, CM, & Bergamasco, R. (2017). Uso da *Moringa oleifera* em um Processo Combinado de Coagulação-filtração para Tratamento de Água. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1195–1200. <https://doi.org/10.3303/cet1757200>. Acesso: 10 jun. 2022.

OLADOJA, Nurudeen Abiola; PAN, Gang. Modification of local soil/sand with *Moringa oleifera* extracts for effective removal of cyanobacterial blooms. *Sustainable Chemistry And Pharmacy*, [S.L.], v. 2, p. 37-43, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scp.2015.08.003>. Disponível Acesso em: 06 set. 2021.

SANTOS, L., SOUSA, I. F., BARBOSA, S.A., & SILVA, G.F., (2023). Análise da Eficiência de Diferentes Biomassas no Tratamento da Água "Barreiro Trincheira" para Consumo Humano. Revista De Gestão Social E Ambiental - RGSA, 17 (1), e03000. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n1-025>. Acesso: 25 abr. 2023.

VALVERDE, KC, De Souza Paccola, EA, Pomini, AM, Yamaguchi, NU, & Bergamasco, R. (2018b). Tratamento de água combinado com extrato natural de *Moringa oleifera* Lam e coagulante sintético. Revista Ambiente & Água, 13 (3), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2135>. Acesso: 20 mai. 2022.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho, pode-se ser evidenciado que é possível tratar a água de barreiro trincheira utilizando tecnologias sociais, totalmente replicáveis pela comunidade após algumas análises iniciais efetuadas em laboratório.

Após análises efetuadas no artigo 1, concluímos que a melhor biomassa entre as analisadas é a bucha vegetal juntamente com a *Moringa oleífera* pois, combina bons resultados de eliminação de microrganismos, devido principalmente a MO, com o aumento da vazão do filtro devido à bucha, além de que a bucha vegetal evita que o filtro venha a sofrer com a colmatação, ou seja o entupimento dos poros. Com este tratamento de coagulação com semente de MO e o filtro PET de bucha e MO reduziu-se em 96,81% da cor aparente, 96,07% da turbidez, 98,43% de coliformes totais e 92,86% de *Escherichia coli*, quando comparada esta amostra da água tratada com a água bruta. Por esses motivos esta foi a biomassa selecionada para introduzir no FIME e no FMC, sendo que, como a MO teve um maior poder de adsorção, aumentou-se a proporção de MO, de 50% para 70% e reduziu a proporção de bucha de 50% para 30%.

Com o artigo 2 percebe-se que é totalmente viável a utilização da tecnologia proposta de coagulação com semente de MO, filtração em múltiplas etapas com biomassa de bucha vegetal e MO e posterior desinfecção com hipoclorito de sódio e filtração em filtro de barro com elemento filtrante contendo carvão ativado e prata coloidal para uso no tratamento da água do barreiro trincheira, tornando-a segura para consumo humano, obtendo-se bons resultados dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água após o tratamento.

Com o artigo 3 percebe-se que a tecnologia de filtração em Múltiplas Camadas (FMC) domiciliar ou comunitária não se torna viável principalmente pela sua baixa vazão, que influencia também nos parâmetros físico-químicos da água tratada, sendo que, para a situação onde a comunidade não disponha de recursos para montagem do FIME, é aconselhável o uso do filtro de garrafa PET. Também fica claro neste artigo que o sistema FIME pode ser utilizado como uma tecnologia de filtração comunitária possuindo uma vazão de até 150 litros por hora.

Com o artigo 4, vimos que a MO tem os melhores resultados na utilização como coagulante natural, entre as sementes estudadas, seguida pela castanha espanhola, mas, é perceptível a importância de um processo de acompanhamento das comunidades que utilizem deste recurso, através de análises periódicas de turbidez inicial e *jar test*, pois, os coagulantes naturais são altamente influenciados pela turbidez inicial da água e a forma como as moléculas interagem, de forma que a

eficiência de coagulação pode cair muito de acordo com a turbidez inicial da água bruta. Percebemos também neste artigo que os coagulantes naturais possuem melhor atuação quando em contato com água de alta turbidez, sendo que em água de baixa turbidez, muitas das vezes eles aumentam a turbidez final da água.

Com o artigo 5 foi apresentado uma outra forma de utilização da MO, não só como tecnologia social, mas também como boa alternativa na redução da utilização de produtos químicos no tratamento da água produzida dentro da cadeia petrolífera, através da sua ação como desemulsificante natural.

No artigo 6 apresentou-se os resultados da atividade de extensão do trabalho através da distribuição dos kits simplificados de tratamento da água utilizando a MO, além da distribuição das mudas para que possam serem plantadas pelos agricultores locais e apresentação e distribuição da cartilha que foi elaborada em conjunto com a comunidade através da metodologia PAR, conforme apresentou-se no tópico de metodologia e no próprio artigo.

REFERENCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7353:2014: Soluções aquosas - Determinação do pH com eletrodos de vidro. Rio de Janeiro.
- AGRA, C.A. (2009) Tratamento de águas residuárias domésticas em reatores de biomassa dispersa e biomassa aderida Dissertação (Mestrado) - Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. Disponível em: https://silo.tips/queue/clelia-de-almeida-agra?&queue_id=-1&v=1652102630&u=MTM4LjEyMi44Ni4xMTQ=. Acesso: 09 mai. 2022.
- AGRA, Ticiane Ayres; FERREIRA, Ângelo Thomás Pimentel; SOUZA, Victor Cantalice de; BARBOZA, Marcio Gomes; LIMA, Luciano Lopes. USO DO FILTRO LENTO NA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA. In: XIVTH IWRA WORD WATER CONGRESS, 14., 2011, Pernambuco. PAP006035 - USO DO FILTRO LENTO NA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA. Recife: Iwra, 2011. p. 1-20. Disponível em: <https://iwra.org/member/congress/resource/PAP00-6035.pdf>. Acesso: 09 mai. 2022.
- Ahmad, A., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Othman, A. R., & Ismail, N. 'izzati. (2021). Plant-based versus metal-based coagulants in aquaculture wastewater treatment: Effect of mass ratio and settling time. *Journal of Water Process Engineering*, 43(102269), 102269. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102269>
- Al-Ghouti, M. A., Al-Kaabi, M. A., Ashfaq, M. Y., & Da'na, D. A. (2019). Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 28, 222–239. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.001>
- Alnawajha, M. M., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Othman, A. R., & Kurniawan, S. B. (2022). Effectiveness of using water-extracted *Leucaena leucocephala* seeds as a coagulant for turbid water treatment: effects of dosage, pH, mixing speed, mixing time, and settling time. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03233-2>
- Amakiri, K. T., Canon, A. R., Molinari, M., & Angelis-Dimakis, A. (2022). Review of oilfield produced water treatment technologies. *Chemosphere*, 298(134064), 134064. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134064>
- APHA (1992) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Edition, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), Washington DC.
- Arthur, J. D., Langhus, B. G., & Patel, C. (2005). Technical summary of oil & gas produced water treatment technologies. *All Consulting, LLC, Tulsa, OK*.
- Aziz, N. F. A., Jayasuriya, N., Fan, L., & Al-Gheethi, A. (2021). A low-cost treatment system for underground water using *Moringa oleifera* seeds and *Musa cavendish* peels for remote communities.

- Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 96(3), 680–696. <https://doi.org/10.1002/jctb.6581>. Acesso: 25 abr. 2023
- Balbinoti, JA, Beghetto, C., Silva, LN, Coral, LA, & De Jesus Bassetti, F. (2018). Uso de sementes de *Moringa oleifera* como agente coagulante para o tratamento de água. *Revista Brasileira De Geografia Física*. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.5.p1748-1760>. Acesso 25 de abril de 2023
 - Baptista, A. T. A., Coldebella, P. F., Cardines, P. H. F., Gomes, R. G., Vieira, M. F., Bergamasco, R., & Vieira, A. M. S. (2015). Coagulation–flocculation process with ultrafiltered saline extract of *Moringa oleifera* for the treatment of surface water. *Chemical Engineering Journal (Lausanne, Switzerland: 1996)*, 276, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.04.045>
 - Barambu, N. U., Bilad, M. R., Bustam, M. A., Kurnia, K. A., Othman, M. H. D., & Nordin, N. A. H. M. (2021). Development of membrane material for oily wastewater treatment: A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(2), 1361–1374. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.08.027>
 - BARRETT, J. M.; BRYCK, J.; JANONIS, B. A. Manual of Design for Slow Sand Filtration. AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 1991. Disponível em: <https://www.joinforwater.ngo/en/manual-design-slow-sand-filtration> Acesso em: 17 de maio de 2022.
 - Batista, G. S., Roledo, C., Odjegba, E. E., Fiore, F. A., Moruzzi, R. B., & Reis, A. G. dos. (2023). *Moringa oleifera* seed addition prior to sludge thickening for supernatant quality improvement: Analyses of clarification performance and toxicity. *Sustainability*, 15(9), 7288. <https://doi.org/10.3390/su15097288>
 - Beyer, J., Goksøyr, A., Hjermann, D. Ø., & Klungsøyr, J. (2020). Environmental effects of offshore produced water discharges: A review focused on the Norwegian continental shelf. *Marine Environmental Research*, 162(105155), 105155. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105155>
 - Bisognin, Dilson Antônio Origin and evolution of cultivated cucurbits. *Ciência Rural* [online]. 2002, v. 32, n. 4 [Accessed 9 May 2022] , pp. 715-723. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000400028>>. Epub 03 Nov 2003. ISSN 1678-4596. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000400028>. Acesso em 09 de maio de 2022.
 - BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Banco de Dados Meteorológicos do INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, BRASIL, 2022. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso: 22 mai. 2022
 - BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Portaria 518/2004: SÉRIE E. LEGISLAÇÃO E SAÚDE. BRASÍLIA: Ms, Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf. Acesso em: 30 maio 2022.
 - BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021. Portaria Gm/MS Nº 888. BRASIL, BRASÍLIA, 07 maio 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso: 22 mai. 2022

- BRASIL, ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. A/RES/70/1: TRANSFORMANDO NOSSO MUNDO: A AGENDA 2030 PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Brasil: N.I, 2016. 54 p. Disponível em: https://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf. Acesso em: 26 maio 2022.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 2ª ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_analise_agua_2ed.pdf Acesso em: 30 de maio de 2022
- BRASIL. IBGE. Cidades: Nossa Senhora Aparecida. Nossa Senhora Aparecida. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/nossa-senhora-aparecida/panorama>. Acesso em: 02 fev. 2025.
- BRASIL. Ministério da Economia, Tecnologia e Inovações. Tecnologia Social. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/politica_nacional/_social/Tecnologia_Social.html. Acesso em: 25 abr. 2022.
- BRASIL. OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. . Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2022b. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/home/agenda>. Acesso em: 26 maio 2022.
- BRASIL. Projeto de Lei nº 111, de 2011. Institui A Política Nacional de Tecnologia Social. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/99555>. Acesso em: 25 abr. 2022.
- BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf
- BRASIL. Resolução CONAMA 393, de 08 de agosto de 2007. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2018/08/CONAMA_RES_CONS_2007_393.pdf
- BRASIL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO. PANORAMA DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL 2021. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021. 206 p. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/panorama/PANORAMA_DO_SANEAMENTO_BASICO_NO_BRASIL_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 26 maio 2022.

- BRUNDTLAND, Gro Harlem et al. Nosso Futuro Comum: Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente E Desenvolvimento. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991. 70 p. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4245128/mod_resource/content/3/Nosso%20Futuro%20Comum.pdf. Acesso em: 04 jun. 2022.
- CAMACHO, Franciele Pereira; SOUSA, Vânia Serrão; BERGAMASCO, Rosângela; TEIXEIRA, Margarida Ribau. The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. **Chemical Engineering Journal**, [S.L.], v. 313, p. 226-237, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>.
- CAVALCANTI, Ingrid Lélis Ricarte; FIGUEIREDO, Nyara Aschoff Cavalcanti. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CONDENSADO PARA REUSO NA ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS E GERAÇÃO DE ENERGIA EM DESTILARIA DE ETANOL. 10º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, João Pessoa, v. 1, n. 1, p. 1-8, 14 jun. 2019. Disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/1407>. Acesso em: 28
- Cruz, B. de P. A., Melo, W. dos S., Malafaia, F. C. B., & Tenório, F. G. (2012). EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA E RESPONSABILIDADE SOCIAL: 20 ANOS DE EXPERIÊNCIA DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR. *Environmental and Social Management Journal*, 5(3), 03–16. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v5i3.450>. Acesso em: 11 setembro 2022.
- Dagnino, R. P. (org.). (2010). **Tecnologia social: ferramenta para construir outra sociedade**. 2 ed. Campinas, SP: Komedi. Disponível em: <http://bit.ly/326Bz9I>
- De Souza, A. P. R., & Pozzebon, M. (2020). Práticas e mecanismos de uma tecnologia social: proposição de um modelo a partir de uma experiência no semiárido. *Organizações & Sociedade*, 27(93), 231–254. <https://doi.org/10.1590/1984-9270934>. Acesso: 09 dez. 2022
- DESTA, Wendesen Mekonin; BOTE, Million Ebba. Wastewater treatment using a natural coagulant (*Moringa oleifera* seeds): optimization through response surface methodology. **Heliyon**, [S.L.], v. 7, n. 11, p. 08451, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451>.
- DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/aguas_de_abastecimento.pdf. Acesso: 22 mai. 2022
- do Nascimento Silva, S., Gomes, J. P., de Matos, J. D. A. P., de Moraes, S. M., de Sousa, R. S. O. W., & da Cunha Siqueira, E. (2020). Composição físico-química de sementes de moringa oriundas de dois estados do nordeste brasileiro. *Revista de Agroecologia no Semiárido*, 4(5), 63-71. <http://dx.doi.org/10.35512/ras.v4i5.4744>

- Dzuovor, C. K. O., Pan, S., Amanze, C., Amuzu, P., Asakiya, C., & Kubi, F. (2021). Bioactive components from *Moringa oleifera* seeds: production, functionalities and applications – a critical review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(2), 271–293. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1931804>. Acesso: 25 abr. 2023
- FALS BORDA, Orlando. Situación contemporánea de la IAP y vertientes afines. In: Orlando Fals Borda – Socialismo raizal y el ordenamiento territorial. Bogotá: Ed. Desde Abajo, 2013. p. 108-114.
- Faye MCAS, Zhang Y, Yang J. Extracellular polymeric substances and sludge solid/liquid separation under *Moringa oleifera* and chitosan conditioning: a review. *Environ. Tech. Rev.* 2017;1(6):59-73.
- Feenberg, A. (2002). *Transforming technology: A critical theory revisited*. Oxford: Oxford University Press. Disponível em: https://monoskop.org/images/d/d8/Feenberg_Andrew_Transforming_Technology_A_Critical_Theory_Revisited.pdf Acesso em: 26 de abril de 2022
- Fink, W., 1984. **Identifizierung, Reindarstellung und Strukturaufklärung flockungsaktiver Wirkstoffe aus höheren Pflanzen zur Wasserreinigung**. Ph.D. Thesis, University of Heidelberg, Germany
- FREITAS, Ana Maria Araújo de et al. TRATAMENTO DE ÁGUA POR ADSORÇÃO CONTAMINADA COM BACTÉRIA *Pseudomonas aeruginosa* USANDO BUCHA VEGETAL: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE pH, MASSA DE ADSORVENTE E AGITAÇÃO NO PROCESSO. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE**, 3., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. [S.L.]João Pessoa: Congestas, 2015. v. 3, p. 766-771. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2015/trabalhos/pdf/congestas2015-et-07-016.pdf>. Acesso em: 09 maio 2022.
- GOMES, E. A., Tratamento Combinado da Água Produzida de Petróleo por Eletroflotação e Processo Fenton. Dissertação, UNIT, Aracaju, 2009, 95p. Jafarinejad, S. (2016). *Petroleum waste treatment and pollution control*. Butterworth-Heinemann.
- Hadadi, A., Imessaoudene, A., Bollinger, J.-C., Cheikh, S., Assadi, A. A., Amrane, A., Kebir, M., & Mouni, L. (2022). Parametrical study for the effective removal of Mordant Black 11 from synthetic solutions: *Moringa oleifera* seeds' extracts versus alum. *Water*, 14(24), 4109. <https://doi.org/10.3390/w14244109>
- Hadadi, A.; Imessaoudene, A.; Bollinger, J.-C.; Cheikh, S.; Assadi, AA; Amrane, A.; Kebir, M.; Mouni, L. Estudo Paramétrico para a Remoção Eficaz de Mordant Black 11 de Soluções Sintéticas: Extratos de Sementes de *Moringa oleifera* Versus Alum. *Água* 2022 , 14 , 4109. <https://doi.org/10.3390/w14244109>

- Hatim, S., Almansoori, A. F., & Al-Baldawi, I. A. (2024). Efficiency of sustainable green coagulants to remove turbidity. IOP conference series. Earth and environmental science, 1307(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1307/1/012012>
- HEISER, C.B., SCHILLING, E.E. The genus Luffa: a problem in phytogeography. In: BATES, D.M., ROBINSON, R.W., JEFFREY, C. Biology and utilization of the Cucurbitaceae Ithaca and London : Cornell University, 1990. 120-133. 485p.
- HERRERA, A. Transferencia de tecnología y tecnologías apropiadas. Contribución a una visión prospectiva a largo plazo. Campinas, Unicamp, mimeo, 1983.
- HUISMAN, L.; WOOD, W. E. Slow sand filtration. Geneva, Belgium: World Health Organization, 1974. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38974/9241540370.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso: 10 jun. 2022
- Iber, B. T., Okomoda, V. T., Rozaimah, S. A., & Kasan, N. A. (2021). Eco-friendly approaches to aquaculture wastewater treatment: Assessment of natural coagulants vis-a-vis chitosan. *Bioresource Technology Reports*, 15(100702), 100702. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100702>
- Instituto Nacional dos Recursos Biológicos, INRB. (2008). *Variedades de Castanha das Regiões Centro e Norte de Portugal*. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
- Justen, GS, Morais-da-Silva, RL, Takahashi, ARW, & Segatto, AP (2020). INOVAÇÃO SOCIAL E DESENVOLVIMENTO LOCAL: UMA ANÁLISE DE META-SÍNTESE. *Jornal de Gestão Ambiental e Social*, 14 (1), 56–73. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v14i1.1902>
- Kumar, V., Othman, N., & Asharuddin, S. (2017). Applications of natural coagulants to treat wastewater – A review. *MATEC web of conferences*, 103, 06016. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710306016>
- Kurniawan, S., Abdullah, S., Imron, M., Said, N., Ismail, N., Hasan, H., Othman, A., & Purwanti, I. (2020). Challenges and opportunities of biocoagulant/bioflocculant application for drinking water and wastewater treatment and its potential for sludge recovery. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 9312. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249312>
- KIBAN, Marina; KLAENJA, Mile; ANTOV, Mirjana; KRBIĆ, Biljana. Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology*, [S.L.], v. 100, n. 24, p. 6639-6643, dez. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>.
- Li, X., Cao, X., Wu, G., Temple, T., Coulon, F., & Sui, H. (2014). Ozonation of diesel–fuel contaminated sand and the implications for remediation end-points. *Chemosphere*, 109, 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.005>
- LIMA, Caetano José de. Potencial Da Bucha Vegetal (Luffa Cylindrica Roemer) Na Produção E Características Do Néctar No Município De Sousa - PB. 2014. Disponível em:

https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFCG_0149961b40372ebc7b047243966d402d Acesso em: 09 de maio de 2022.

- LIMA, N. M. Aplicação de *Moringa oleífera* no tratamento da água com turbidez, 2015. Dissertação (mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2015. 56 páginas.
- Liu, Y., Lu, H., Li, Y., Xu, H., Pan, Z., Dai, P., Wang, H., & Yang, Q. (2021). A review of treatment technologies for produced water in offshore oil and gas fields. *The Science of the Total Environment*, 775(145485), 145485. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145485>
- LOGSDON, G S; KOHNE, R; ABEL, S; LABONDE, S. Slow sand filtration for small water systems. *Journal Of Environmental Engineering And Science*, [S.L.], v. 1, n. 5, p. 339-348, 1 set. 2002. Thomas Telford Ltd.. <http://dx.doi.org/10.1139/s02-025>. Acesso em: 16 de maio de 2022.
- MACIEL, Paulo Marcos Faria. Filtração lenta domiciliar como alternativa de tratamento de água em comunidades isoladas: eficiências com e sem controle de nível da água e aceleração do amadurecimento. 2018. 273 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-18032019-163138/publico/MACIEL_2018_TESE.pdf. Acesso em: 16 maio 2022.
- Madrona, GS, Da Silva Scapim, MR, Tonon, L. a. C., Reis, MG, Paraíso, CM, & Bergamasco, R. (2017). Uso da *Moringa oleífera* em um Processo Combinado de Coagulação-filtração para Tratamento de Água. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1195–1200. <https://doi.org/10.3303/cet1757200>. Acesso: 10 jun. 2022
- Morigaki, M. K., Chimin, R. Q. F., Sad, C. M. dos S., Filgueiras, P. R., Castro, E. V. R. de, & Dias, J. C. M. (2010). Salinidade em petróleo bruto: otimização de metodologia e proposta de um novo método para extração de sais em petróleo. *Química Nova*, 33(3), 607–612. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422010000300023>
- MUNIZ, Gustavo Lopes; DUARTE, Francinete Veloso; OLIVEIRA, Suelaine Barbosa de. Uso de sementes de *Moringa oleífera* na remoção da turbidez de água para abastecimento. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 454-463, 30 abr. 2015. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1439>. Acesso em: 08 jun. 2022.
- NAKAMOTO, Nobutada; GRAHAM, Nigel; COLLINS, M. Robin; GIMBEL, Rolf. Progress in Slow Sand and Alternative Biofiltration Processes. *Water Intelligence Online*, [S.L.], v. 13, p. 3-16, 77-84 abr. 2014. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/9781780406381>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

- Ndabigengesere, KS Narasiah , GB Talbot. **Agentes ativos e mecanismo de coagulação de águas turvas usando *Moringa oleífera***. *Água Res.* , 29 (1995) , pp . 703 – 710
- Nimesha, S., Hewawasam, C., Jayasanka, D., Murakami, Y., Araki, N., & Maharjan, N. (2022). Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 8(1), 101-116. [doi: 10.22034/GJESM.2022.01.08](https://doi.org/10.22034/GJESM.2022.01.08)
- NORDMARK, Brittany A.; BECHTEL, Toni M.; RILEY, John K.; VELEGOL, Darrell; VELEGOL, Stephanie B.; PRZYBYCIEN, Todd M.; TILTON, Robert D.. Moringa oleifera Seed Protein Adsorption to Silica: effects of water hardness, fractionation, and fatty acid extraction. *Langmuir*, [S.L.], v. 34, n. 16, p. 4852-4860, 22 mar. 2018. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00191>. Acessado em: 20 de abril de 2022.
- NOVAES, Henrique T.; DIAS, Rafael. Contribuições ao Marco Analítico-Conceitual da Tecnologia Social em Dagnino, R. (Org). (2009). Tecnologia social: Ferramenta para construir outra sociedade. Recuperado de <http://bit.ly/326Bz9I> (p. 17 a 53)
- OLADOJA, Nurudeen Abiola; PAN, Gang. Modification of local soil/sand with *Moringa oleífera* extracts for effective removal of cyanobacterial blooms. *Sustainable Chemistry And Pharmacy*, [S.L.], v. 2, p. 37-43, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scp.2015.08.003>. Disponível Acesso em: 06 set. 2021.
- Oliveira, N. L., Nascimento, K. B., De Oliveira Gonçalves, B., Miranda, C. R., & Da Costa, A. P. (2018). Tratamento de água com moringa oleífera como coagulante/floculante natural. *Revista FAEMA*, 9(1), 373. <https://doi.org/10.31072/rcf.v9i1.539>. Acesso: 25 jan. 2023
- OLIVEIRA, R. C. G.; CARVALHO, C. H. M. **Influência do Tipo de Emulsão Sobre o Escoamento e o Processo de Deposição Orgânica de Petróleos**. Boletim Técnico Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, 41 (3/4): pp. 153-159, jul./dez. 1998.
- OLIVEIRA, R. C. G.; CARVALHO, C. H. M. **Influência do Tipo de Emulsão Sobre o Escoamento e o Processo de Deposição Orgânica de Petróleos**. Boletim Técnico Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, 41 (3/4): pp. 153-159, jul./dez. 1998.
- OPS / CEPIS. Guia para diseño de sistemas de tratamiento de filtración em múltiples etapas. Lima, Peru, 2005. Disponível em: <http://www.elaguapotable.com/Guia%20dise%C3%B1o%20filtraci%C3%B3n%20en%20múltiples%20etapas.pdf> Acesso em 24 de maio de 2022
- Owodunni, A. A., Ismail, S., Kurniawan, S. B., Ahmad, A., Imron, M. F., & Abdullah, S. R. S. (2023). A review on revolutionary technique for phosphate removal in wastewater using green coagulant. *Journal of Water Process Engineering*, 52(103573), 103573. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103573>
- Paixão, RM, Reck, IM, Da Silva, L. a. F., Takaoka, A. a. B., Bergamasco, R., & Vieira, MLC (2020b). Descoloração de água contaminada com corante têxtil através de um processo combinado de

- coagulação/floculação e separação por membrana com diferentes coagulantes naturais extraídos de *Moringa oleifera* Lam. sementes. *Jornal Canadense de Engenharia Química*. <https://doi.org/10.1002/cjce.23932>. Acesso: 25 abr. 2023
- PARRON, L. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água** [recurso eletrônico] / Lucila Maria Parron; Daphne Heloisa de Freitas Muniz; Claudia Mara Pereira. – Dados eletrônicos. – Colombo: Embrapa Florestas, 2011. (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958; 219).
 - PARSONS, D. S.; JEFFERSON, B. Introduction to potable water treatment processes. Blackwell Pub., 2006. Disponível em: <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/fakbal/137453/introduction%20to%20potable%20water%20treatment%20processes.pdf> Acesso em: 17 de maio de 2022.
 - PINTO, Marcelo de Oliveira; CHIROLLI, Milena Julia; ROESLER, Helio; PEREIRA, Suzana Matheus. Diferentes perspectivas da ação de membros inferiores nos quatro nados competitivos: uma revisão integrativa. **Evidência**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 23-44, 2 set. 2020. Universidade do Oeste de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.18593/eba.24807>
 - PINTO, Nayara de Oliveira; HERMES, Luiz Carlos. Sistema Simplificado para Melhoria da Qualidade da Água Consumida nas Comunidades Rurais do Semi-Árido do Brasil. Sistema Simplificado Para Melhoria da Qualidade da Água Consumida nas Comunidades Rurais do Semi-Árido do Brasil: Embrapa, 2006. 47 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos; 53). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/16002/sistema-simplificado-para-melhoria-da-qualidade-da-agua-consumida-nas-comunidades-rurais-do-semi-arido-do-brasil>. Acesso em: 09 jun. 2022.
 - PIVELI, R. P. Curso Qualidade das águas e poluição: **ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS. AULA 6 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS: pH, ACIDEZ, ALCALINIDADE E DUREZA**. USP, 2010. Disponível em: www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=732 Acesso em: 18 mar. 2016.
 - Putra, R. S., Amri, R. Y., & Ayu, M. (2020). Turbidity removal of synthetic wastewater using biocoagulants based on protein and tannin. *Proceedings of the 5th international symposium on current progress in mathematics and sciences (iscpms2019)*.
 - PWTB., PUBLIC WORKS TECHNICAL BULLETIN 420-49-05 **INDUSTRIAL WATER TREATMENT PROCEDURES**. DEPARTMENT OF THE ARMY U.S. Army Center for Public Works, FEBRUARY 1998, USA, Alexandria, VA. Disponível em: https://www.wbdg.org/ccb/ARMYCOE/PWTB/pwtb_420_49_5.pdf Acesso em: 18 mar. 2016.

- R. Sanghi, B. Bhattacharya, V. Singh. **Cassia angustifolia seed gum as an effective natural coagulant for decolourisation of dye solutions**. Green Chem., 4 (2002), pp. 252-254
- RAMALHO, J. B. V. S.; OLIVEIRA, M. C. K. **Metodologia para Determinação da Distribuição de Gotas em Emulsões e Petróleo do Tipo Água-Óleo por Difração a Laser**. Boletim Técnico Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, 42(1/4): pp. 72-76, jan./dez. 1999.
- Rede De Tecnologia Social (2006) Fórum Nacional da RTS, 1, Brasília: Abipti.
- RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. de A. Tratamento de água- Tecnologia atualizada. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1991.
- RUELAS-LEYVA, Jose P.; CONTRERAS-ANDRADE, Ignacio; SARMIENTO-SÁNCHEZ, Juan I.; LICEA-CLAVERÍE, Angel; JIMÉNEZ-LAM, Sergio A.; CRISTERNA-MADRIGAL, Yereli G.; PICOS-CORRALES, Lorenzo A.. The Effectiveness of *Moringa oleífera* Seed Flour and Chitosan as Coagulant-Flocculants for Water Treatment. **Clean - Soil, Air, Water**, [S.L.], v. 45, n. 8, p. 1600339, 18 jul. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/clen.201600339>. Acesso 02 de maio de 2022.
- Santos, L. de O., Sousa, I. F. de, Silva, G. F. da, & Barbosa, S. A. (2023). Tecnologia social de tratamento de água utilizando FiME com biomassa de moringa oleífera e bucha vegetal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 16(4), 1923–1937. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.4.p1923-1937>
- Santos, L. de O., Sousa, I. F. de, Silva, G. F. da, Barbosa, S. A., & Caetano, N. de S. (2023). Análise de eficiência de filtração de água por múltiplas etapas vs múltiplas camadas com biomassa de moringa oleífera e bucha vegetal. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(4), 2184–2196. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.4.p2184-2196> (A)
- Santos, L., Sousa, I. F., Barbosa, S.A., & Silva, G.F., (2023). Análise da Eficiência de Diferentes Biomassas no Tratamento da Água "Barreiro Trincheira" para Consumo Humano. *Revista De Gestão Social E Ambiental - RGSA*, 17 (1), e03000. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n1-025>. (B)
- SANTOS, Luam de Oliveira. ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS INDUSTRIAIS POR ÁGUA DE CHUVA: UMA ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA. 2016. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Cap. 5. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/9145/2/arquivototal.pdf>. Acesso: 25 out. 2023
- SANTOS, Oliveira, L. de, Sousa, I. F. de, Silva, G. F. da, Barbosa, S. A., & Caetano, N. de S. (2024a). Analysis of the efficiency of different Oleaginous seeds and shells for use as natural coagulants. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 17(3), 1833–1847. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.3.p1833-1847>.
- Santos, T. M., Pereira, D. F., Santana, C. R., & Silva, G. F. da. (2011). Estudo do tratamento físico químico da água produzida utilizando Moringa oleifera Lam em comparação ao sulfato de alumínio. **Exacta**, 9(3), 317–322. <https://doi.org/10.5585/exacta.v9i3.3073>

- SANTOS, Tayanara Menezes; PEREIRA, Daiane Farias; SANTANA, Claudia Ramos; SILVA, Gabriel Francisco da. Estudo do tratamento físico químico da água produzida utilizando *Moringa oleifera* Lam em comparação ao sulfato de alumínio. **Exacta**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 317-322, 28 dez. 2011. University Nove de Julho. <http://dx.doi.org/10.5585/exacta.v9i3.3073>.
- Saranya, P., Ramesh, S. T., & Gandhimathi, R. (2014). Effectiveness of natural coagulants from non-plant-based sources for water and wastewater treatment—a review. *Desalination and Water Treatment*, 52(31–33), 6030–6039. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.812993>
- Šćiban, Marina; Klačnja, Mile; Antov, Mirjana; Ikrbić, Biljana. Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology*, [S.L.], v. 100, n. 24, p. 6639–6643, dez. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>.
- SILVA, Bruna Paula Pantoja Caxias da; PINHEIRO, Valdeci Junior Fonseca; BARBOSA, Ivan Carlos da Costa; CARDOSO, Diego Fabrício Santa Rosa; SANTOS, Luciana Pinheiro; ROSA, Rosa Maria Souza Santa. Avaliação das características físico-químicas da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) e da castanha portuguesa (*Castanea sativa* mill.). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 3700-3723, 29 dez. 2021. Universidade Tecnológica Federal do Parana (UTFPR). <http://dx.doi.org/10.3895/rbta.v15n2.14506>.
- SILVA, Marcelo; PATERNIANI, José FRANCISCO, Adriana; SILVA, Gabriela. Aplicação de sementes de *Moringa oleifera* como auxiliares de pré-filtração em sistemas de pré-filtração em etapas adicionais. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, Brasília, DF, 8.4, 30 12 2011. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=732>>. Acesso em: 28 08 2022.
- SILVA, Semirames do Nascimento; GOMES, Josivanda Palmeira; MATOS, Joana D'arc Paz de; MORAES, Suiane Maria de; SOUSA, Roberta Sousa Oliveira Wanderley de; SIQUEIRA, Eliezer da Cunha. COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SEMENTES DE MORINGA ORIUNDAS DE DOIS ESTADOS DO NORDESTE BRASILEIRO. **Revista de Agroecologia no Semiárido**, [S.L.], v. 4, n. 5, p. 63, 11 out. 2020. *Revista de Agroecologia no Semiarido*. <http://dx.doi.org/10.35512/ras.v4i5.4744>
- Silveira, L. Ramos; COUTINHO, M. Moreira. Utilização de Filtro de Múltiplas Camadas para remoção de Turbidez. *Revista Tecnia - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFG: MEIO AMBIENTE*, Goiânia, v. 1, n. 2, p. 65-78, 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/60475901-Utilizacao-de-filtro-de-multiplas-camadas-para-remocao-de-turbidez.html>. Acesso em: 07 nov. 2022.
- SKOOG, WEST, HOLLER, CROUCH, **FUNDAMENTOS DE QUÍMICA ANALÍTICA**, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo/SP, 2006. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/1779075/fundamentos-de-quimica-analitica-8-ed---portugues---skoog>> Acesso em: 18 mar. 2016.

- Souza, A. G. de, Santos, L. S. dos, Silva, A. R. Z., & Passoni, C. R. de M. S. (2017). Propriedades nutricionais da castanha portuguesa (*Castanea sativa* Mill) e elaboração de produtos. *Cadernos Da Escola De Saúde*, 2(12). Recuperado de <https://portaldeperiodicos.unibrasil.com.br/index.php/cadernossaude/article/view/2424>
- Souza, Ana Clara Aparecida Alves de e Pozzebon, Marlei Práticas e mecanismos de uma tecnologia social: proposição de um modelo a partir de uma experiência no semiárido. **Organizações & Sociedade** [online]. 2020, v. 27, n. 93 [Acessado 25 Abril 2022] , pp. 231-254. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1984-9270934>>. Epub 29 Jun 2020. ISSN 1984-9230. <https://doi.org/10.1590/1984-9270934>.
- SOUZA, Fernando Hymnô de. Estudo da biomassa e comunidade bacteriana em filtros lentos retrolaváveis. 2020. 324 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/216503>. Acesso em: 16 maio 2022.
- SOUZA, Jôsy Suyane de Brito. S. (2023). *Tratamento de água produzida utilizando microemulsão formulada a partir de tensoativos de origem vegetal* [UFBA]. <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/37955>
- T. Okuda, A.U. Baes, W. Nishijima, M. Okada. **Coagulation mechanism of salt solution – extracted active component in Moringa oleifera seeds**. *Water Res.*, 35 (2001), pp. 830-834
- TANGERINO, E. P. Remoção de substâncias húmicas por meio da oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio e filtração lenta. 2003. 265p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-18112016-161622/pt-br.php> Acesso em: 24 de maio de 2022
- Thomas, Hernán. (2009). Tecnologias para inclusão social e políticas públicas na América Latina. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327023290_Tecnologias_para_inclusao_social_e_politicas_publicas_na_America_Latina Acesso em: 25/04/2022
- THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia do Petróleo. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência. RJ, 2001.
- Turunen, J., Karppinen, A., & Ihme, R. (2019). Effectiveness of biopolymer coagulants in agricultural wastewater treatment at two contrasting levels of pollution. *SN Applied Sciences*, 1(3). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0225-x>
- Ueda Yamaguchi, N., Cusioli, L. F., Quesada, H. B., Camargo Ferreira, M. E., Fagundes-Klen, M. R., Salcedo Vieira, A. M., Gomes, R. G., Vieira, M. F., & Bergamasco, R. (2021). A review of Moringa oleifera seeds in water treatment: Trends and future challenges. *Process Safety and Environmental*

Protection: *Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B*, 147, 405–420. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.044>.

- Valverde, KC, De Souza Paccola, EA, Pomini, AM, Yamaguchi, NU, & Bergamasco, R. (2018b). Tratamento de água combinado com extrato natural de *Moringa oleifera* Lam e coagulante sintético. *Revista Ambiente & Água*, 13 (3), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2135>. Acesso: 20 mai. 2022
- VENKATACHALAM, Mahesh; SATHE, Shridhar K.. Chemical Composition of Selected Edible Nut Seeds. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, [S.L.], v. 54, n. 13, p. 4705-4714, 28 maio 2006. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf0606959>.
- Veras, LRV, & Di Bernardo, L. (2008b). Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas - FIME. *Engenharia Sanitária E Ambiental*, 13 (1), 109–116. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522008000100014>. Acesso: 13 abr. 2022
- VIANNA, Marcos Rocha; MELO, Gilberto Caldeira Bandeira de. Utilização do fruto seco descascado da *Luffa cylindrica* como meio suporte em filtros biológicos percoladores: análise do desempenho quanto à redução da carga orgânica e considerações microbiológicas. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 13-20, fev. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019110427>. Acesso em: 02 de maio de 2022.
- VIEIRA, M.E.A.G.; DE SIQUEIRA, E.Q.; BRANDÃO, C.C.S.; CAMPOS, L.C. Avaliação da Filtração em Múltiplas Etapas para Remoção de Turbidez de Águas Superficiais. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG - CONPEEX, 2., 2005, Goiânia. Anais eletrônicos do XIII Seminário de Iniciação Científica [CD-ROM], Goiânia: UFG, 2005. n.p. Disponível em: https://projetos.extras.ufg.br/conpeex/2005/porta_arquivos/outras/MariaEulinaAiresGon%C3%A7alvesVieira_Filtra%C3%A7%C3%A3oemM%C3%BAltiplasEtapasparaRemo%C3%A7%C3%A3odeTurbidezde%C3%81guas_494.pdf. Acesso: 3 set. 2022
- VIOTTI, Paula Valéria; MOREIRA, Wardleison Martins; SANTOS, Onélia Aparecida Andreo dos; BERGAMASCO, Rosangela; VIEIRA, Angélica Marquetotti Salcedo; VIEIRA, Marcelo Fernandes. Diclofenac removal from water by adsorption on *Moringa oleifera* pods and activated carbon: mechanism, kinetic and equilibrium study. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 219, p. 809-817, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.129>. Acesso em: 02 de maio de 2022.
- VOGEL, A.I. *Análise Química Quantitativa*. 5ª.edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1992.
- VOGEL, *ANÁLISE QUÍMICA QUANTITATIVA*, 6ª Edição, LTC Editora, Rio de Janeiro-RJ, 2002. Versão Espanhol disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfscKAA/quimica-analitica-quantitativa-vogel#>> Acesso em: 18 mar. 2016.

- WIKIPIDEA. **FICHEIRO: Município de Nossa Senhora Aparecida**. Município de Nossa Senhora Aparecida. 2020. Disponível em: https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Sergipe_Municip_NossaSenhoraAparecida.png. Acesso em: 11 set. 2022.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: five years into the SDGs. Geneva: Unicef, 2021. 164 p. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345081/9789240030848-eng.pdf?sequence=1> Acesso em: 26 maio 2022.
- Yamaguchi, NU, Cusioli, LF, Quesada, HB, Ferreira, MEC, Fagundes-Klen, MR, Vieira, AT, Gomes, RG, & Bergamasco, R. (2021b). Uma revisão das sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de água: tendências e desafios futuros. Chemical Engineering Research & Design, 147, 405–420. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.044>. Acesso: 25 abr. 2023
- Yin, C.-Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. Process Biochemistry (Barking, London, England), 45(9), 1437–1444. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>

ANEXOS

Anexo 1: Artigo 4 traduzido para o português.



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Análise de eficiência de diferentes sementes e cascas Oleaginosas para uso como coagulantes naturais

Luam de Oliveira Santos¹; Inajá Francisco de Sousa²; Gabriel Francisco da Silva³; Silvanito Alves Barbosa⁴; Nídia de Sá Caetano⁵

¹ Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, luam.santos@ifs.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3200-8974> (autor correspondente)

² Doutor em Recursos Naturais, Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, inajafrancisco@academico.ufs.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6732-0963>

³ Doutor em Engenharia de Alimentos, Programa de Pós Graduação em Biotecnologia - RENORBIO, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, gabriel.silva@ufs.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9622-2518>

⁴ Doutor em Biotecnologia, Departamento de Petróleo e Gás, Instituto Federal de Sergipe. Aracaju - SE, CEP: 49055-260, silvanito.barbosa@ifs.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0712-7533>

⁵ Doutora em Engenharia Química, LEPABE - Laboratory for Process Engineering, Environment, Biotechnology and Energy, Faculty of Engineering, University of Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal and ALiCE - Associate Laboratory in Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal, and School of Engineering (ISEP), Polytechnic of Porto (P.Porto), Rua Dr. António Bernardino de Almeida 431, 4249-015 Porto, Portugal, nsc@isep.ipp.pt, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2185-6401>

Artigo recebido em 23/02/2023 e aceito em 13/03/2024

RESUMO

O problema de pesquisa é reduzir o uso de coagulantes químicos buscando alternativa mais sustentáveis ao tratamento da água. O uso da Moringa oleífera (MO) apresenta-se como boa alternativa de agente coagulante, indicada no sistema de tratamento de água, no seu processo de clarificação, por ser biodegradável. No entanto, existe a necessidade de buscar outras sementes e frutas que também tenham potencial para ser utilizadas como coagulantes naturais. Neste contexto, justifica-se o estudo de outras sementes típicas de Portugal, onde foi realizado este estudo, para ser utilizada como alternativa de coagulante natural. A hipótese desse projeto é: encontrar-se-á, entre as sementes tipicamente europeias, selecionadas para avaliação, sementes com alto potencial de utilização como coagulante natural para uso em tratamento de água. Este projeto tem como objetivo a identificação de sementes, típicas de Portugal, com potencial semelhante ao da Moringa oleífera LAM para ser utilizada como coagulante natural. O projeto foi realizado em parceria da UFS, IFS e ISEP, onde foram realizados os experimentos com água sintética de turbidez que variaram de 40 a 350 NTU. As sementes utilizadas foram quatro tipos diferentes de castanhas europeias, nozes americanas e portuguesas, plátano e Moringa oleífera, além das cascas de castanha e de nozes. Dos resultados encontrados destaca-se a castanha espanhola, com eficiência de remoção de turbidez de até 69,8% em água de alta turbidez além da MO com eficiência de remoção de 89,8% em água de alta turbidez.

Palavras-chave: Castanea sativa; Coagulação; *Moringa oleífera*; Tecnologia social.

Analysis of the efficiency of different Oleaginous seeds and shells for use as natural coagulants

ABSTRACT

The research problem is to reduce the use of chemical coagulants by seeking more sustainable alternatives to water treatment. The use of *Moringa oleifera* (MO) is a good alternative coagulant agent, indicated in the water treatment system, in its clarification process, in addition to being biodegradable, but there is a need to look for other seeds that also have potential for be used as natural coagulants, in this context, it is justified to study other typical seeds from Portugal, where this study was carried out, to be used as an alternative natural coagulant. The hypothesis of this project is: among the typically European seeds selected for evaluation, seeds with high potential for use as a natural coagulant for use in water treatment will be found. This project aims to identify seeds, typical of Portugal, with similar potential to *Moringa oleifera* Lam to be used as a natural coagulant. The project was carried out in partnership with UFS, IFS and ISEP, where experiments were carried out with synthetic water with turbidity ranging from 40 to 350 NTU. The seeds used were four

different types of European chestnuts, American and Portuguese nuts, plantain and *Moringa oleifera*, in addition to chestnut and walnut shells. From the results found, the Spanish chestnuts stand out with a turbidity removal efficiency of up to 69.8% in high turbidity water, in addition to the MO with a removal efficiency of 89.8% in high turbidity water.

Keywords: *Castanea sativa*; Coagulation; *Moringa oleifera*; Social Technology.

Introdução

O projeto tem como tema tecnologias sociais e desenvolvimento sustentável sendo a linha de pesquisa tratamento alternativo da água para consumo humano, tendo como motivação a redução do uso de produtos químicos no tratamento da água, além de possibilitar maior autonomia de populações ribeirinhas no consumo de água segura e de qualidade, de forma simples e segura.

É amplamente reconhecido o uso extensivo de produtos químicos no tratamento de água, principalmente por meio de agentes coagulantes como o cloreto férrico e o sulfato de alumínio. Assim, em esforços para reduzir a dependência desses produtos químicos, um número crescente de estudos vem buscando substituí-los por coagulantes naturais, devido à sua sustentabilidade e biodegradabilidade. Nesse contexto, alguns coagulantes naturais bem conhecidos incluem a quitosana, *Leucaena leucocephala*, *Azadirachta indica*, taninos, *Moringa oleifera*, entre outros. Consequentemente, esta pesquisa, realizada em Portugal através de uma colaboração entre o ISEP, o IFS e a UFS, teve como objetivo explorar sementes e cascas nativas da região norte de Portugal quanto ao seu potencial de eficácia como coagulantes e floculantes naturais em comparação com a *Moringa oleifera* (Alnawajha et al., 2022; Iber et al., 2021; Ahmad et al., 2021; Turunen, Karppinen & Ihme, 2019; Santos et al., 2023a).

Para Dzuvoor et al. (2021), o uso de *Moringa oleifera* LAM (MO) apresenta uma variedade de potenciais benefícios para a saúde humana, com propriedades anticancerígenas, antidiabéticas, antioxidantes e anti-inflamatórias. Além disso, suas sementes e tortas podem ser utilizadas no processo de tratamento de água em coagulação, floculação e como adsorventes, devido à sua capacidade de eliminar microrganismos e matéria orgânica.

Nesse contexto, este projeto de cooperação entre a UFS (Universidade Federal de Sergipe), o IFS (Instituto Federal de Sergipe) e o ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto) tem como objetivo identificar sementes típicas de Portugal com potencial semelhante ao da *Moringa oleifera* LAM para serem utilizadas como coagulantes naturais.

A hipótese desse projeto é: Encontrar-se-á, entre as sementes tipicamente europeias,

selecionadas para avaliação, sementes com alto potencial de utilização como coagulante natural, assim como a *Moringa oleifera*, para uso em tratamento de água. Para isso, utilizaremos a *Moringa oleifera*, uma planta tropical pertencente à família Moringaceae, que possui cerca de catorze espécies já identificadas, todas com propriedades coagulantes em diferentes graus de coagulação, como referência para comparar a eficiência na remoção de turbidez da água (Oladoja & Pan, 2015).

Resultados positivos no tratamento de purificação de água também foram apresentados por Owodunni et al. (2023) no uso de *Moringa oleifera* em um processo combinado de Coagulação/Floculação para reduzir a quantidade de fosfato na água.

Outros coagulantes naturais já contam com estudos bem avançados. Segundo Nimesha et al. (2022), os coagulantes naturais mais comumente utilizados incluem quitosana, *Moringa oleifera* (MO), Nirmali, mucilagem de cacto e taninos. Neste caso, para esta pesquisa, selecionamos sementes que existem em abundância na região norte de Portugal, de fácil manipulação e com pouca pesquisa na área, além de outras oleaginosas usadas como comparação. As sementes selecionadas foram: castanha europeia (variedades: brava, longal, portuguesa, judia e espanhola), *Moringa oleifera*, nozes portuguesas e americanas, e Plátano.

Referencial Teórico

Neste tópico apresentaremos o referencial teórico que seguiu de base para nossa pesquisa, sendo este dividido nos seguintes tópicos: uso de coagulantes naturais no tratamento da água, com destaque especial à *Moringa oleifera* Lam (MO) e a *Castanea sativa* Mill (castanheiro europeu) e composição química das sementes oleaginosas selecionadas.

Uso dos coagulantes naturais no tratamento de água.

Os coagulantes são utilizados no tratamento da água como condicionamento químico através da adição de produtos químicos com o intuito de modificar as propriedades das coloides aumentando assim a eficiência de sua remoção. Os coagulantes mais empregados são os inorgânicos a

base de sais de alumínio e ferro como o Sulfato de Alumínio e o Cloreto Férrico. Também há a utilização de coagulantes orgânicos, os chamados polímeros catiônicos, podendo ser sintéticos ou naturais. (Pinto et al., 2020, apud., Faye; Zhang; Yang, 2017).

Segundo Nimesha et al. (2022) os coagulantes naturais mais usualmente utilizados são a Quitosana, Moringa oleífera (MO), Nirmali, Cactus musilage e Taninos, como podemos verificar na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo dos grupos funcionais e mecanismos propostos para coagulantes naturais

Coagulante natural	Fonte de extração	Mecanismo Proposto	Grupos funcionais	Referências
<i>Moringa oleifera</i>	Leaves, flowers, roots, bark	Adsorption and charge neutralization	Starch, cationic protein, fatty acids, phenolic, compounds Amines, glucose, alcoholic compounds, and carboxylate groups	Kumar et al, 2017; kurniawan et al., 2020; Yin, 2010.
Nirmali (<i>Strychnos potatorum</i>)	seeds	Inter-particle bridging	Galactan and galactomannan	Vijayaraghavan et al., 2011; Yin, 2010.
Cactus Musilage	Cactus pads	Adsorption and bridging coagulation method	D-xylose, galacturonic acid, l-arabinose, l-rhamnose, and d-galactose.	Vijayaraghavan et al., 2011; Yin, 2010.
Chitosan	fungi, marine, invertebrates, yeasts	Charge neutralization and bridging	N-acetyl-D-glucosamine (acetylated unit), B-(1-4)-linked D-glucosamine (deacetylated unit)	Saranya et al., 2014.
Tannis	castanea, acacia, or Schinopsi	Adsorption and charge neutralization	Polyphenol compounds	Vijayaraghavan et al., 2011; Yin, 2010.

Source: Nimesha et al. (2022, p. 104).

Além destes, Pinto et al. (2020), cita o uso de *Jatropha curcas*, *Prosopis juliflora*, Goma guar, *Calotropis procera*, *Cactus latifaria* e *Clidemia angustifolia* como condicionadores naturais.

Segundo, Šćiban et al. (2009), alguns autores afirmam que os agentes coagulantes ativos da MO são proteínas catiônicas diméricas (Ndabigengesere et al., 1995, Fink, 1984, apud. Šćiban et al. 2009), enquanto outros autores sugerem que o agente coagulante ativo da MO não são proteínas, polissacarídeos ou lipídeos, mas sim algum outro polieletrólito orgânico (Sanghi et al.,

2002, Okuda et al., 2001^a, apud., Šćiban et al., 2009).

A atividade de coagulação, principalmente nos coagulantes naturais, está fortemente relacionada a três variáveis, são elas a turbidez inicial, a concentração de coagulante e o pH. Encontrar o ponto ideal entre a concentração de coagulante e a turbidez inicial é fundamental para a melhor interação entre as moléculas e consequentemente uma maior eficiência na coagulação. Esta interação é tão importante que o mesmo agente coagulante pode aumentar a turbidez final quando o cátion é adicionado mais

que o ânion, aumentando a turbidez da água pois não há partículas carregadas para interagir, ou ter uma eficiência maior que 90% quando utilizado numa dosagem correta, conforme pode-se verificar em pesquisas como a de Hadadi et al., (2022) e Desta e Bote (2021).

Com destaque a Moringa oleífera (MO), ela possui propriedades poliméricas naturais que vem notoriamente ganhando destaque no tratamento da água pela sua contribuição ao desenvolvimento sustentável através da redução do uso de produtos químicos, atuando como agente clarificador devido a presença de uma proteína catiônica que desestabiliza as partículas contidas em um meio líquido. (Madrona et al., 2017).

Ela possui biocoagulantes ativos que podem ser utilizados no tratamento de clarificação da água, filtração, sedimentação e floculação da água, reduzindo o uso de coagulantes de base química (Camacho et al., 2017, Valverde et al., 2018).

Estudos mostram que os usos da MO podem reduzir em até 85% a turbidez da água, além de ser capaz de remover de 40% a 50% também da matéria orgânica presente na água (Camacho et al., 2017).

Segundo Nordmark et al. (2018), os resultados de suas pesquisas concluem que proteínas de Moringa oleífera adsorvem irreversivelmente com relação ao enxágue no modelo de água utilizado, sugerindo que a areia modificada com as proteínas da moringa é estável em uso repetido de filtração da água, tornando assim um dispositivo de filtração de água simples, eficaz e sustentável.

Resultados positivos no tratamento da potabilização da água também foram encontrados

por Madrona et al. (2017), no uso da Moringa oleífera Lam num processo combinado de coagulação/floculação com ultrafiltração obtendo água de alto nível de qualidade para consumo humano após o processo.

O castanheiro europeu (*Castanea sativa* Mill) tem uma significativa contribuição econômica para Portugal, estando entre os primeiros lugares como produtos agrícolas mais exportados pelo país, destacando-se a região Norte onde se concentra a maior quantidade de sotos de castanheiros, com representatividade superior a 83% tanto em relação a área quanto ao volume de produção. (Portugal – INRB, 2008).

Segundo o Instituto Nacional dos Recursos Biológicos (INRB, 2008) existe uma grande variedade de castanhas portuguesas, proveniente do castanheiro europeu (*Castanea sativa*), entre elas temos: Aveleira, Mataíinha, Longal, Judia, Colarinha, Verdeal, Rebordã, Côta, Lada, Bária, Negral, Amarelal, Lamela, Zeive e Redonda. As variedades de frutos muitas vezes diferem significativamente entre si nas características físicas e nutricionais. (Portugal – INRB, 2008).

Composição química das sementes oleaginosas selecionadas

Foram selecionadas diversas sementes oleaginosas para identificação da sua eficácia e eficiência como coagulantes naturais, entre elas temos a Moringa oleífera, quatro variedades de castanha europeia, nozes americanas e portuguesas e plátano (*Platanus*). As características destas sementes reportadas na literatura encontram-se resumidas na Tablea 2.

Table 2. Valores nutricionais das sementes selecionadas para estudo.

	Proteins	Lipids	Carbohydrates	Ashes	Humidity	Tannins	References
European Chest nut	6,26% to 7,55%	2,42% to 3,54%	41,5%	1,23% to 1,61%	48,87% to 50,64%		Silva et al. (2021) e Souza et al. (2017)
Nuts	7,5% to 21,56%	42,88% to 66,71%	0,55% a 3,49% (total sugars)	1,16% to 3,28%	1,47% to 9,51%	0,01% to 0,88%	Venkatachalam e Sathe (2006)

<i>Moringa oleífera</i>	32,16% to 32,52%	25,0% to 33,68%	23,48% to 32,43%	4,5% to 4,51%	5,53% to 6,16%	Silva <i>et al.</i> (2020)
<i>Platanus</i>	13,7%			25%	1,20% (sheets)	Faye <i>et al.</i> (2023)

Material e Métodos

Este projeto tem método de abordagem hipotético-dedutivo, podendo ser classificada como pesquisa aplicada, quantitativa, exploratória, experimental e estudo de caso. Os meios utilizados serão, pesquisa de campo, laboratório, bibliográfico, experimental e estudo de caso.

Synthetic water preparation

A água sintética foi preparada segundo a metodologia de Putra, Amri e Ayu (2020),

utilizando 1 grama de argila branca para 1 litro de água da torneira. A metodologia foi alterada pois, ao invés de utilizarmos a argila branca, foi utilizada a argila cinza para a produção da água sintética de alta turbidez. A solução foi agitada por 1 hora para obtenção de uma solução uniforme de partículas de argila. Logo em seguida a solução é utilizada de amostra como contendo baixo teor orgânico, buscando o tratamento para a turbidez da água.



Figura 1. Agitação de água com argila cinza para preparo da água sintética.

Preparo das sementes.

As sementes utilizadas foram utilizadas de diferentes formas de manipulação, variando entre: trituradas; trituradas e secas; trituradas e peneiradas; trituradas, secas e peneiradas, para que fosse verificado de qual forma aumentaríamos seu potencial de coagulação. Elas foram trituradas em liquidificador e peneiradas em peneira doméstica de malha com abertura de 2,5 mm até a obtenção de uma farinha fina, conforme Figura 2. O coagulante natural à base de MO foi selecionado como padrão de comparação de eficiência por ser

amplamente conhecido no meio acadêmico e popular. Além desta, foi utilizado também a semente de castanha brava (Figura 4 C), castanha portuguesa longal (Figura 5 A), castanha portuguesa judia (Figura 5 B), castanha espanhola (Figura 3C), nozes portuguesas e nozes americanas (Figura 5B) e plátano. Foi utilizado também cascas de nozes (Figura 4B) e casca de castanhas (Figura 4A) trituradas em liquidificador e peneirada em peneira doméstica de malha com abertura de 2,5 mm até a obtenção de uma farinha fina.



Figure 2. Processo de beneficiamento da semente de moringa para obtenção do coagulante em pó.

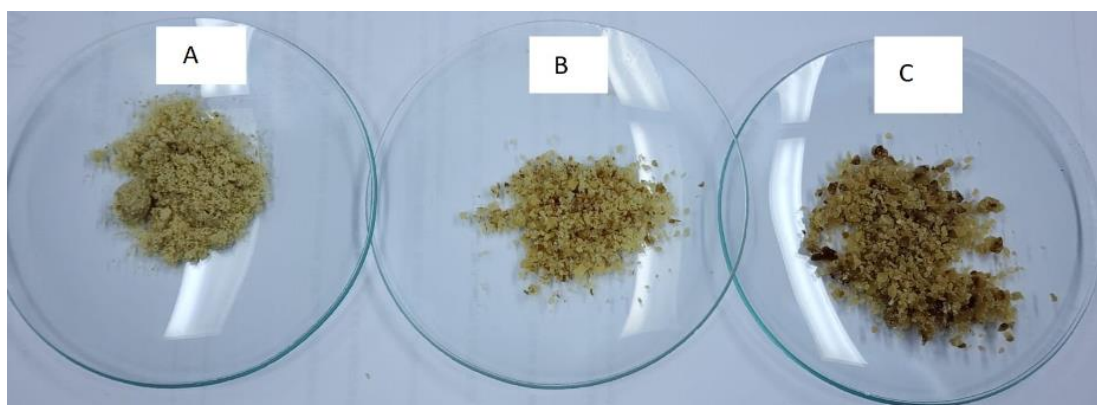


Figure 3. A: Semente de MO triturada e peneirada; B: Semente de nozes triturada; C: Semente de castanha espanhola triturada.

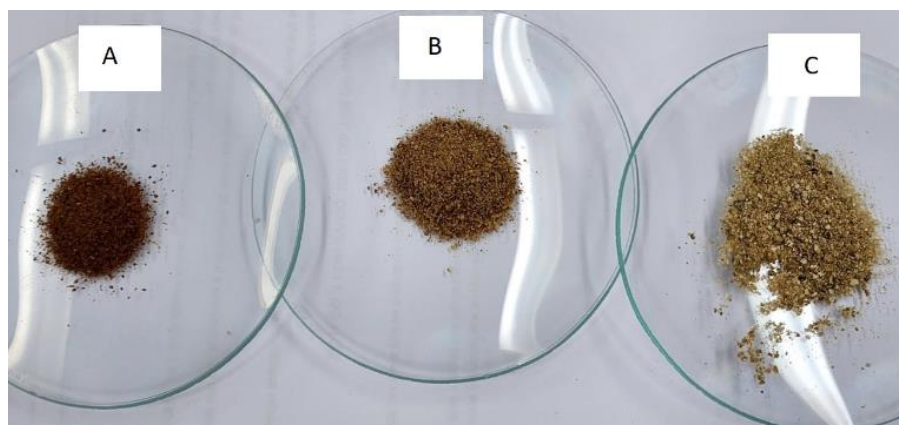


Figure 4. A: Casca de castanha espanhola triturada e peneirada; B: Casca nozes triturada e peneirada; C: Semente de castanha brava triturada e peneirada.

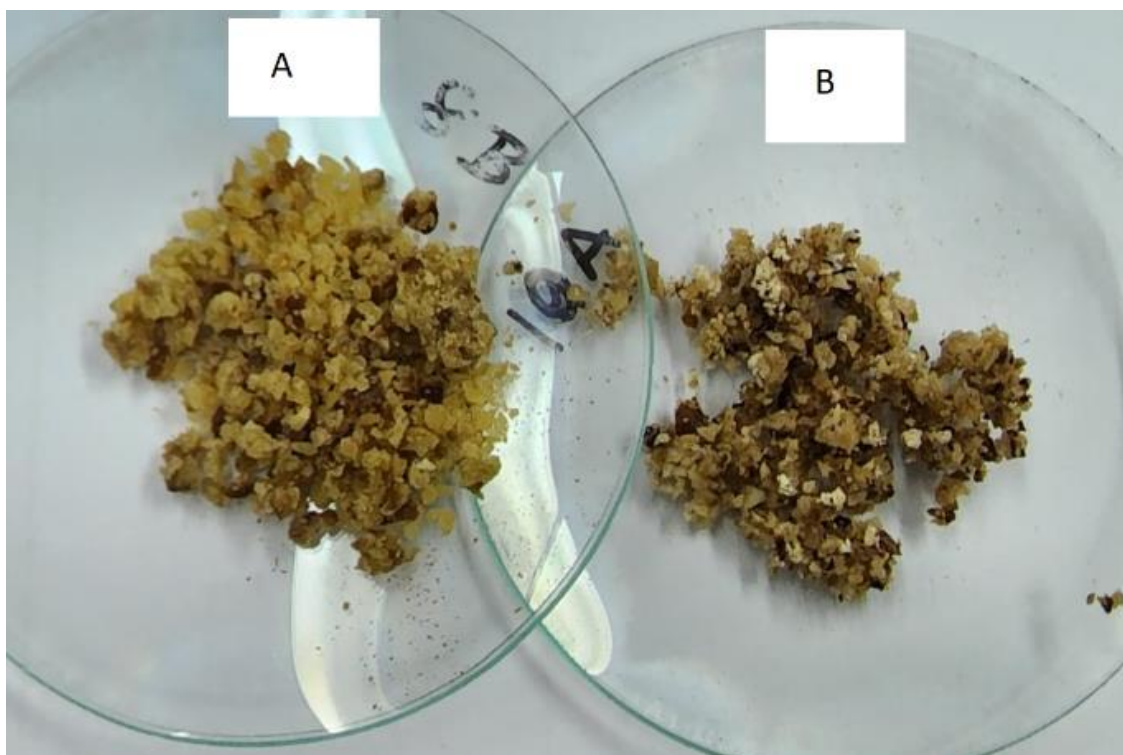


Figura 5. A: Semente de Castanha portuguesa longal; B: Semente de castanha portuguesa judia triturada.

Jar Test e Cálculo da eficiência de remoção de turbidez.

Para identificar a concentração ideal de coagulante foi efetuado o jar test, com concentrações de 0,1 g/L, 0,2 g/L e 0,3 g/L, agitação rápida em 300 rpm por 2 minutos e agitação lenta em 45 rpm por 10 minutos e período de decantação de 2 horas. Pelo mesmo período de 2 h de decantação foi aguardado na água sintética sem adição de coagulante. Após esse procedimento, foi coletado o sobrenadante de cada becker de vidro e analisado o parâmetro turbidez.

Para o cálculo da eficiência de turbidez utilizamos a equação a seguir:

$$\% \text{ de Remoção de turbidez} = \frac{Tf(as) - Tf}{Tf(as)} * 100 \quad (1)$$

Where; Onde; Tf(as): Turbidez final da água sintética após decantação de 2 h e Tf: Turbidez final da água com coagulante após decantação de 2 h.

Análises físico-químicas.

Os parâmetros físico-químicos analisados neste projeto foram de pH, cor e turbidez, conforme descritos na Tabela 3. Vale salientar que todas as análises foram efetuadas em quintuplicatas e os resultados tratados estatisticamente em média e desvio padrão.

Table 3. Métodos de análises físico-química.

Parameter	Method	Unit
pH	Potentiometric method	Dimensionless
Color	Colorimetric method	UC
Turbidity	Nephelometric method	NTU

Resultados e discussões

Primeiramente apresentar-se-á a caracterização físico-química de pH, cor e turbidez da água da torneira e água sintética, conforme

métodos listados na Tabela 4. Posteriormente, apresentar-se-á a eficiência máxima de redução de turbidez obtida com castanha portuguesa, castanha espanhola, castanha brava, castanha judia, nozes americanas, nozes portuguesas, casca de nozes, casca de castanha e semente de MO e a condição de concentração de coagulante e turbidez inicial da água sintética, que varia de 40 a 360 NTU em que foi obtida aquela eficiência de redução.

Conforme vimos no tópico anterior, para o cálculo da eficiência de remoção de turbidez, compara-se a turbidez final da água utilizando-se o coagulante natural, com a turbidez final da água sintética sem adição de coagulante, ambas após o período de decantação. Estes resultados são apresentados na Tabela 4.

Table 4. Physical-chemical characterization of the samples.

Sample	Color	Turbidity	pH
Tap water	<2,0	4,64±0,04	7,50±0,08
Synthetic Water	>550,00	130,95±28,53	7,80±0,04

A primeira fase da pesquisa baseou-se em analisar todas as sementes e cascas selecionadas, em diferentes condições de turbidez inicial, concentração de coagulante e modo de preparo das sementes, variando de sementes trituradas até trituradas, secas e peneiradas, verificando aquelas sementes com maior potencial de coagulação e em qual condição em que é obtida aquele potencial, para que posteriormente fossem efetuadas mais

análises e comparações, desta vez variando somente a turbidez inicial e fixando as outras variáveis.

Para facilitar a visualização das tabelas e obtermos uma melhor compreensão, os resultados serão apresentados em grupos nas concentrações de 0,1 g/L, 0,2 g/L e 0,3 g/L para cada elemento, conforme veremos na Tabela 5.

Table 5. Efficiency of the elements in reducing the turbidity of the synthetic water.

% Efficiency in Reducing the Turbidity of Synthetic Water			Turbidity of synthetic water without decantation (NTU)
Nozes Portuguesas	0,1 g/L (T)	5,6%±0,4%	200±11,46
	0,2 g/L (TS)	4,6%±0,4%	250±14,21
	0,3 g/L (TS)	15,5%±0,5%	120,00±7,84
Nozes Americanas	0,1 g/L (T)	3,6%±0,4%	200±11,46
	0,2 g/L (TS)	12,8%±0,4%	250±14,21
	0,3 g/L (TS)	7,2%±0,0%	120±7,84
Castanha Portuguesa	0,1 g/L (T)	10,7%±0,4%	200±11,46
	0,2 g/L (TS)	12,6%±0,4%	160±6,36
	0,3 g/L (TS)	15,4%±0,4%	200±9,33
Casca de Nozes	0,1 g/L (TSP)	8,9%±0,5%	160±6,36
	0,2 g/L (T)	-5,1%±0,6%	120±7,84

Table 5. Efficiency of the elements in reducing the turbidity of the synthetic water.

% Efficiency in Reducing the Turbidity of Synthetic Water			Turbidity of synthetic water without decantation (NTU)
Casca de Castanha	0,3 g/L (TS)	-4,8%±0,6%	200±9,33
	0,1 g/L (T)	-28,0%±0,0%	120±7,84
	0,2 g/L (TSP)	-27,7%±0,0%	160±6,36
	0,3 g/L (TD)	-19,4%±1,3%	200±9,33
Castanha Portuguesa	0,1 g/L (TS)	27,3%±0,7%	160±6,36
Judia	0,2 g/L (TS)	47,2%±0,0%	350±17,72
	0,3 g/L (TS)	37,7%±0,6%	140±5,51
Castanha Brava	0,1 g/L (TSP)	16,3%±0,0%	200±9,33
	0,2 g/L (T)	36,3%±0,3%	300±15,12
	0,3 g/L (TSP)	9,6%±0,3%	200±9,33
Plátano	0,1 g/L (TSP)	9,4%±0,4%	200±9,33
	0,2 g/L (T)	24,5%±0,3%	300±15,12
	0,3 g/L (T)	6,6%±0,3%	300±15,12
Castanha Espanhola	0,1 g/L (T)	21,3%±0,0%	120±7,84
	0,2 g/L (T)	69,8%±0,0%	350±17,04
	0,3 g/L (T)	24,9%±0,7%	120±7,84
<i>Moringa oleífera</i>	0,1 g/L (TSP)	50,7%±0,0%	120±7,84
	0,2 g/L (TP)	89,8%±0,4%	300±15,12
	0,3 g/L (TP)	88,2%±0,3%	300±15,12

Legenda: T: Triturada; TS: Triturada e Seca; TSP: Triturada, Seca e Peneirada; TP: Triturada e Peneirada..

Sementes de plátano, sementes e casca de nozes

Neste tópico, iremos apresentar e discutir a eficiência das sementes de plátano, sementes de nozes e cascas de nozes como coagulantes naturais.

Para todas as análises estatísticas e gráficos construídos neste artigo, foi utilizado o software prism 8 da Graphpad com teste unidirecional ANOVA e significância de 5% para análises das diferenças estatísticas. As letras iguais são

utilizadas para amostras que não são significativamente diferentes do ponto de vista estatístico e letras diferentes para amostras que são significativamente diferentes.

Neste artigo os valores positivos são aqueles que se obteve redução da turbidez da água sintética e valores negativos são provenientes de aumento da turbidez da água sintética.

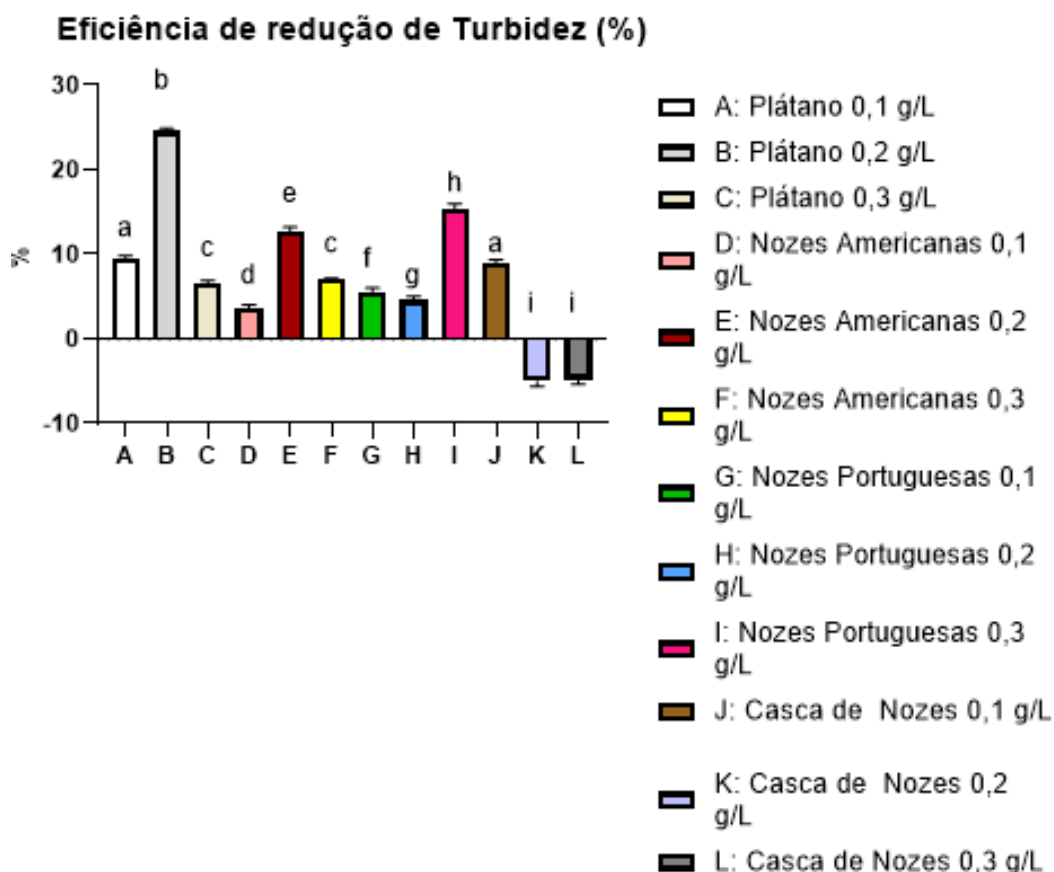


Figure 6. Gráfico de eficiência de redução da turbidez das sementes plátanos e nozes, além da casca de nozes.

Como pode ser observado na Figura 6, nenhuma das sementes de noz, plátano e casca de noz foi eficaz na redução da turbidez. A máxima redução obtida foi com a semente de plátano em uma concentração de 0,2 g/L, alcançando uma eficiência de redução de 24,5%. Em pesquisa realizada por Ahmad et al. (2022), verificou-se que os resultados de remoção de turbidez para coagulantes naturais foram semelhantes aos encontrados em nosso estudo, com uma eficiência média de remoção de turbidez variando entre 10% e 30%.

As nozes americanas e portuguesas apresentaram baixa eficiência de redução em todas as situações analisadas, com a máxima eficiência para a noz portuguesa em sua condição triturada, seca e não peneirada, em água com turbidez inicial de 100 a 120 NTU e na concentração de 0,3 g/L, obtendo uma redução de 15,5%. A noz americana

também obteve sua melhor eficiência na condição triturada, seca e não peneirada, em água sintética de 100 a 120 NTU, mas na concentração de 0,2 g/L, com uma redução máxima de 12,8%.

Na maioria das situações analisadas, as cascas de noz aumentaram a turbidez da água sintética, exceto no caso das cascas de noz trituradas, secas e peneiradas, em água sintética com turbidez de 80 a 100 NTU e na concentração de 0,1 g/L, que alcançou uma eficiência de redução de turbidez de 8,9%.

Sementes e Cascas de Castanha

Neste tópico, iremos apresentar e discutir a eficiência das sementes e cascas de diferentes castanhas europeias como coagulantes naturais (Figura 7).

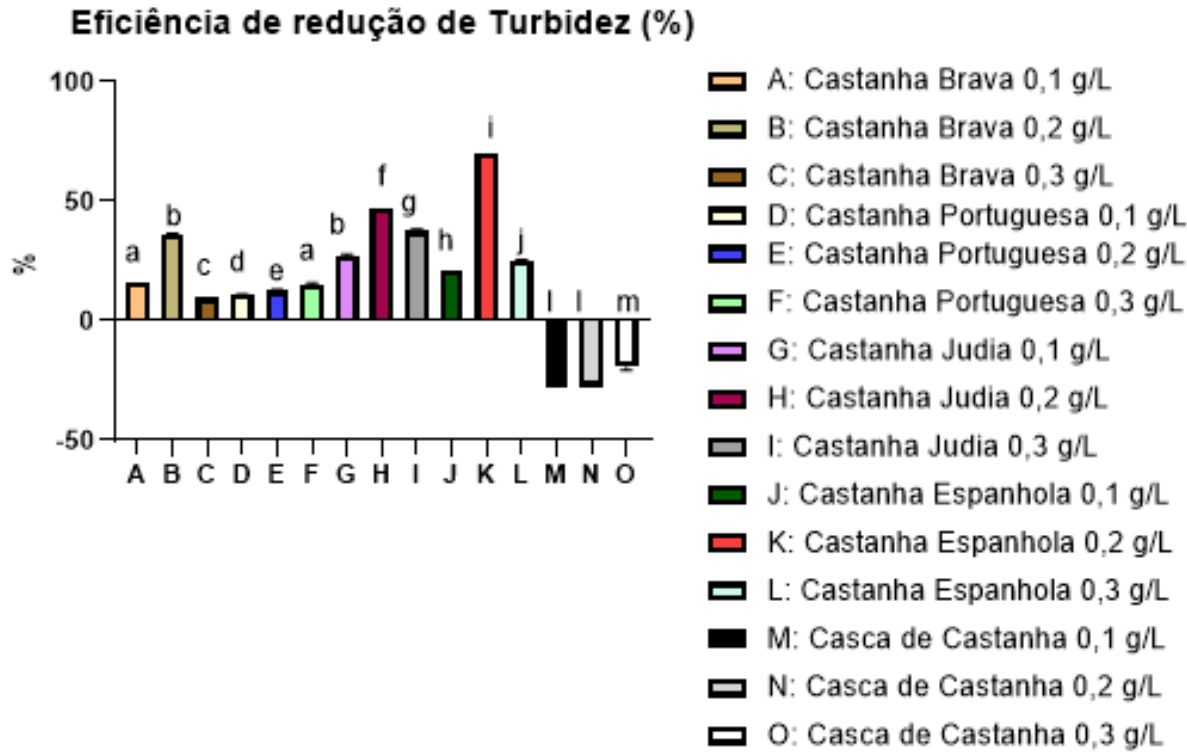


Figure 7. Gráfico de eficiência de redução da turbidez das sementes e cascas de castanhas.

Como pode ser verificado na Figura 8, na maioria das situações analisadas a eficiência de redução da turbidez foi inferior a 50%. Porém, algumas situações se destacam, são elas: a castanha brava na concentração de 0,2 g/L, a castanha judia na concentração de 0,2 g/L e a castanha espanhola na concentração de 0,2 g/L e por este motivo serão analisadas posteriormente juntamente com a semente de MO.

Pode-se perceber que a casca de castanha não foi eficiente na redução da turbidez em nenhuma situação estudada, contribuindo em todos os casos para o aumento da turbidez da água sintética.

Como verificado na pesquisa de Šćiban et al. (2009), para água sintética de alta turbidez e pH de 9, a eficiência da atividade coagulante da castanha ficou abaixo dos 40%, utilizando o extrato de coagulante.

Segundo Šćiban et al. (2009) os extratos de castanhas do castanheiro europeu teve baixa eficiência na redução de turbidez em água com turbidez de 70 NTU. Nesta pesquisa, com algumas exceções citadas acima em turbidez maior que 300 NTU, as sementes de castanha também obtiveram baixa eficiência com pH de 7,80, indicando que estas sementes também tem baixa eficiência na remoção de turbidez nestas condições.

Na pesquisa de Hatim, Almansoori e Al-Baldawi (2024), também foi observado que os coagulantes naturais investigados apresentam eficiência inferior a 60% na maioria dos casos, mesmo em águas com alta turbidez.

A seguir, analisaremos o desempenho das sementes de *Moringa oleífera* para posterior comparação com as castanhas europeias.

Moringa oleífera LAM.

Neste tópico, iremos apresentar e discutir a eficiência da semente de MO como coagulante na água sintética, conforme podemos verificar na Figura 8.

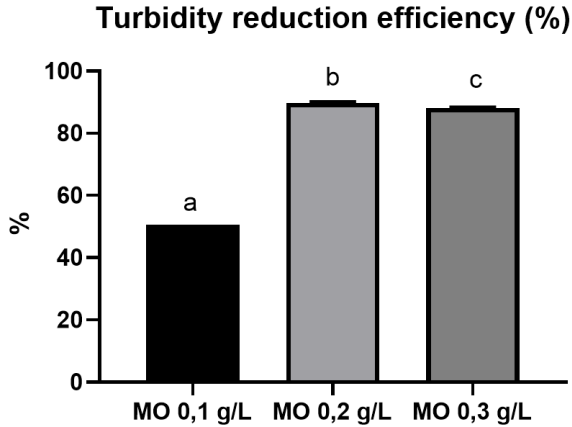


Figure 8. Gráfico de eficiência de redução da turbidez da semente de MO.

Esses resultados são compatíveis com os de Desta e Bote (2021), que obtiveram uma redução de 99,5% da turbidez e 97,7% da cor em águas básicas e 98% da turbidez e 90,76% da cor em águas ácidas. Também foram compatíveis com os resultados encontrados por Santos et al. (2023b) e Batista et al. (2023), que obtiveram aproximadamente 97% de redução na turbidez após o tratamento com MO e com Valverde et al. (2018), que alcançaram uma redução de 70% na turbidez e 75% na cor aparente com o uso da semente de MO como agente coagulante. Esses resultados variam, pois diversos fatores influenciam a atividade coagulante da MO, principalmente o pH e a turbidez inicial da água bruta, que determinam o nível de interação entre as partículas.

Comparando este gráfico com os anteriores na figura 6 e figura 7, podemos verificar que a semente de MO foi o coagulante natural com maior eficiência de remoção de turbidez, entre os estudados neste artigo.

Analizando os gráficos das Figuras 6, 7 e 8, percebe-se que as sementes com maior eficiência na remoção de turbidez foram: castanha brava 0,2 g/L, castanha judia 0,2 g/L, castanha espanhola 0,2 g/L e MO 0,2 g/L. Desta forma, deu-se início a próxima fase dos estudos, onde fixamos a concentração destes coagulantes naturais em 0,2 g/L no seu preparo de maior eficiência e variamos a turbidez inicial da água sintética em concentrações na faixa de: Faixa 1: 40 a 60 NTU; Faixa 2: 60 a 100 NTU; Faixa 3: 100 a 150 NTU; Faixa 4: 150 a 200 NTU; Faixa 5: 250 a 300 NTU e Faixa 6: 300 a 350 NTU.

Castanha Brava, Castanha Portuguesa Judia, Castanha Espanhola e *Moringa oleífera*.

Neste tópico, apresentar-se-á a eficiência de coagulação das sementes que apresentaram um maior potencial coagulante nos experimentos anteriores, agora com concentração de coagulante fixa em 0,2 g/L e variando a turbidez inicial em faixas que variam de 40 a 350 NTU, conforme verifica-se na figura 9.

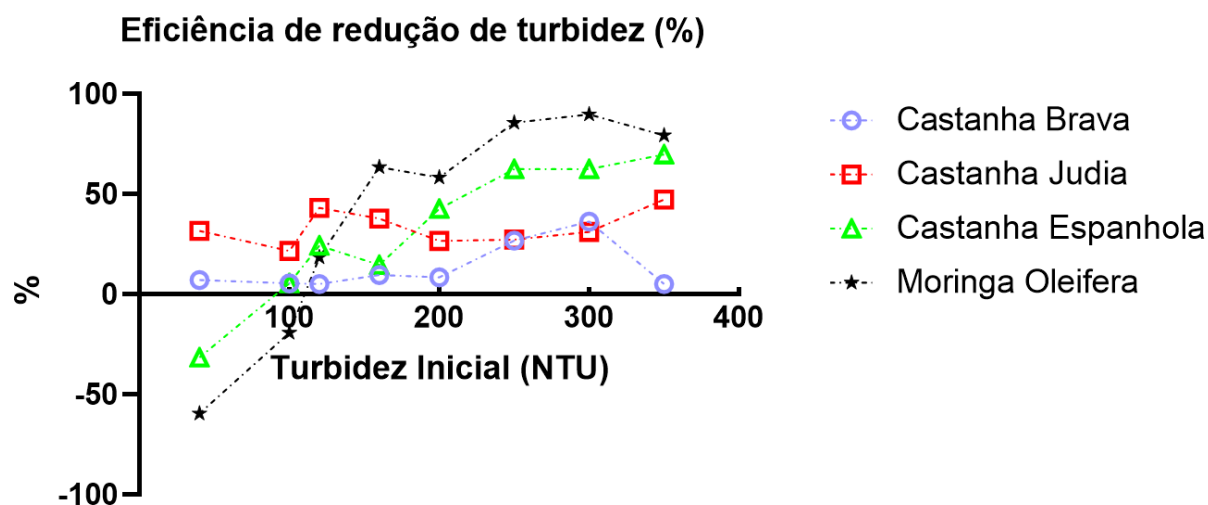


Figure 9. Gráfico de eficiência de redução da turbidez das sementes de Castanha Brava, Judia, Espanhola e *Moringa oleífera* todas em concentração de 0,2 g/L.

Neste gráfico, fica claro a relação entre a turbidez inicial na eficiência de coagulação dos coagulantes naturais. Mas, de forma geral, também percebe-se que os coagulantes naturais apresentam maior eficiência quando a turbidez inicial é mais alta e menor eficiência quando a turbidez inicial é mais baixa. Abaixo apresentaremos algumas informações sobre cada semente estudada neste tópico.

Castanha Brava: A castanha brava não apresentou alto potencial como coagulante natural em nenhuma situação ficando com uma eficiência menor que 10%, seja ela sem secagem, após secagem, triturada ou triturada e peneirada, sendo seu melhor potencial ela recém triturada, sem secagem nem peneiramento, em água sintética de turbidez entre 250 e 300 NTU com concentração de 0,2 g/L, obtendo redução de 36,3% da turbidez da água sintética e logo depois em água de 350 NTU voltou a uma eficiência próximo a 5%.

Castanha Portuguesa Judia: A castanha portuguesa do tipo judia sofre grande interferência da secagem em estufa a 60 °C por 1 hora, sendo que na mesma turbidez inicial de 150 NTU e concentração de 0,2 g/L ela elevou sua eficiência de remoção da turbidez de 1,1% para 43,1% após a secagem. No que diz respeito à turbidez inicial, ela não sofre grandes interferências, tendo com turbidez inicial de 40 NTU remoção de 31,6%, turbidez inicial de 100 NTU remoção de 21,5%, 150 NTU remoção de 43,1%, 240 NTU remoção de 26,6%. 350 NTU remoção de 47,2%. Obtendo seu maior potencial em água sintética de maior turbidez, mas, mostrando que o seu poder de remoção não é diretamente influenciado pela turbidez inicial.

Castanha Espanhola: A castanha europeia colhida na Espanha sofre grande influência negativa da secagem em estufa e do peneiramento, sendo, portanto, preferível somente a trituração da mesma. Com água sintética de 200 NTU e concentração de 0,2 g/L de coagulante a semente de castanha espanhola somente triturada reduziu em 62,5% a turbidez inicial, enquanto a semente triturada e seca reduziu 42,5% e a semente triturada, peneirada e seca reduziu em apenas 14,6% a turbidez da água sintética. A turbidez inicial da água sintética também interfere bastante no poder de coagulação da castanha espanhola, sendo na água de alta turbidez onde ela obtém os melhores resultados. Em água de turbidez inicial de 40 NTU a semente aumentou a turbidez da água, obtendo uma eficiência de -

31,6% e assim, de forma diretamente proporcional ao aumento da turbidez inicial da água, conforme podemos verificar na Figura 9, a semente de castanha espanhola aumenta também seu potencial de remoção de turbidez atingindo seu ápice na maior turbidez estudada de 350 NTU com remoção de 69,8%.

Moringa oleífera Lam: A MO, entre as sementes estudadas, foi aquela com melhor eficiência para remoção de turbidez de água de alta turbidez, com eficiência de até 90% em água sintética de turbidez inicial 300 NTU. Assim como outros coagulantes naturais, o potencial de coagulação da MO é altamente influenciado pela turbidez inicial, concentração e manipulação do coagulante, sendo a semente triturada, peneirada e sem secagem em estufa com seu maior potencial de coagulação. Assim como ocorreu com a castanha espanhola, a MO também elevou a turbidez da água com turbidez inicial de 40 NTU, obtendo uma eficiência de - 59,6%, elevando seu potencial de remoção de forma diretamente proporcional à elevação da turbidez inicial até a eficiência máxima de 89,8% em turbidez inicial de 300 NTU e logo após teve uma redução dessa eficiência para 79,2% numa turbidez inicial de 350 NTU.

Conclusão

Nas figuras 6, 7, 8 and 9, fica claro como a concentração do coagulante natural é um fator de alta interferência na atividade de coagulação, dependendo de uma relação ótima entre a dose de coagulante e os cátions bivalentes presentes na água.

Com os resultados apresentados, percebe-se que as cascas de castanha e cascas de nozes não apresentaram bom potencial de remoção de turbidez e que, apesar de todas as castanhas estudadas serem castanhas europeias do gênero *Castanea sativa*, os diferentes tipos de castanha obtiveram resultados muito diferentes no que diz respeito ao potencial de remoção de turbidez.

Entre as sementes estudadas aquela com melhor potencial de remoção de turbidez foi a MO com melhor resultado de 89,8% de remoção seguida pela castanha espanhola com eficiência de 69,8% e ambas obtiveram comportamentos muito próximos no que diz respeito à relação entre turbidez inicial e atividade de coagulação, ambas com concentração ótima de 0,2 g/L. Vale salientar também que a castanha espanhola obteve esta

eficiência de remoção sendo apenas triturada, enquanto a MO obteve sua maior eficiência de redução sendo triturada e peneirada.

Com este trabalho também ficou perceptível a influência da turbidez inicial, concentração e modo de preparo do coagulante na atividade de coagulação do mesmo, sendo que cada coagulante tem um comportamento diferente e deve ser estudado qual a melhor interação entre coagulante e a água analisada para que se possa extrair o máximo potencial de coagulação.

Outro ponto importante verificado neste trabalho foi que, conforme apresentado no referencial teórico, alguns autores divergem em relação aos agentes que atuam na coagulação dos coagulantes naturais, se são as proteínas catiônicas diméricas ou algum outro tipo de polieletrólito orgânico. Como também se verifica nos referenciais teóricos, Tabela 2, entre as diversas variedades de castanhas portuguesas, as quantidades de proteínas não diferem muito entre si, estando em valores que variam de 3,9% a 7,8%, o que por si só, não justifica uma diferença de mais de 60% na eficiência da redução da turbidez, sugerindo assim que esta diferença esteja no tipo das proteínas que se encontram em cada castanha, ou que o efeito coagulante seja proveniente outros tipos de polieletrólitos orgânicos. Para que isto seja verificado, sugere-se a identificação dos tipos de proteínas que se encontram na castanha judia, castanha brava e na castanha espanhola, que ficará como sugestão para pesquisas posteriores.

Agradecimentos

L. O. Santos agradece à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de doutorado sanduíche, processo de número 88881.690128/2022-01. Agradecimentos também ao IFS pelo processo de afastamento nº 23288.000359/2021-46 para o curso de doutorado.

Referências bibliográficas

Ahmad, A., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Othman, A. R., & Ismail, N. 'izzati. (2022). Potential of local plant leaves as natural coagulant for turbidity removal. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(2), 2579–2587.

- <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15541-7>
- Ahmad, A., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Othman, A. R., & Ismail, N. 'izzati. (2021). Plant-based versus metal-based coagulants in aquaculture wastewater treatment: Effect of mass ratio and settling time. *Journal of Water Process Engineering*, 43(102269), 102269.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102269>
- Alnawajha, M. M., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Othman, A. R., & Kurniawan, S. B. (2022). Effectiveness of using water-extracted *Leucaena leucocephala* seeds as a coagulant for turbid water treatment: effects of dosage, pH, mixing speed, mixing time, and settling time. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
<https://doi.org/10.1007/s13399-022-03233-2>
- Batista, G. S., Roledo, C., Odjegba, E. E., Fiore, F. A., Moruzzi, R. B., & Reis, A. G. dos. (2023). Moringa oleifera seed addition prior to sludge thickening for supernatant quality improvement: Analyses of clarification performance and toxicity. *Sustainability*, 15(9), 7288.
<https://doi.org/10.3390/su15097288>
- Camacho, Franciele Pereira; SousA, Vânia Serrão; Bergamasco, Rosângela; TEIXEIRA, Margarida Ribau. The use of Moringa oleifera as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal*, [S.L.], v. 313, p. 226-237, abr. 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>
- Desta, W. M., & Bote, M. E. (2021). Wastewater treatment using a natural coagulant (Moringa oleifera seeds): optimization through response surface methodology. *Heliyon*, 7(11), e08451.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451>
- do Nascimento Silva, S., Gomes, J. P., de Matos, J. D. A. P., de Moraes, S. M., de Sousa, R. S. O. W., & da Cunha Siqueira, E. (2020). Composição físico-química de sementes de moringa oriundas de dois estados do nordeste brasileiro. *Revista de Agroecologia no Semiárido*, 4(5), 63-71.
<http://dx.doi.org/10.35512/ras.v4i5.4744>
- Dzuvor, C. K. O., Pan, S., Amanze, C., Amuzu, P., Asakiya, C., & Kubi, F. (2021). Bioactive components from *Moringa oleifera* seeds: production, functionalities and applications

- a critical review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(2), 271–293. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1931804>. Acesso: 25 abr. 2023
- Faye MCAS, Zhang Y, Yang J. Extracellular polymeric substances and sludge solid/liquid separation under *Moringa oleifera* and chitosan conditioning: a review. *Environ. Tech. Rev.* 2017;1(6):59-73.
- Fink, W., 1984. Identifizierung, Reindarstellung und Strukturaufklärung flockungsaktiver Wirkstoffe aus höheren Pflanzen zur Wasserreinigung. Ph.D. Thesis, University of Heidelberg, Germany
- Hadadi, A., Imessaoudene, A., Bollinger, J.-C., Cheikh, S., Assadi, A. A., Amrane, A., Kebir, M., & Mouni, L. (2022). Parametrical study for the effective removal of Mordant Black 11 from synthetic solutions: *Moringa oleifera* seeds' extracts versus alum. *Water*, 14(24), 4109. <https://doi.org/10.3390/w14244109>
- Hatim, S., Almansoori, A. F., & Al-Baldawi, I. A. (2024). Efficiency of sustainable green coagulants to remove turbidity. *IOP conference series. Earth and environmental science*, 1307(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1307/1/012012>
- Iber, B. T., Okomoda, V. T., Rozaimah, S. A., & Kasan, N. A. (2021). Eco-friendly approaches to aquaculture wastewater treatment: Assessment of natural coagulants vis-a-vis chitosan. *Bioresource Technology Reports*, 15(100702), 100702. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100702>
- Instituto Nacional dos Recursos Biológicos, INRB. (2008). *Variedades de Castanha das Regiões Centro e Norte de Portugal*. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
- Kumar, V., Othman, N., & Asharuddin, S. (2017). Applications of natural coagulants to treat wastewater – A review. *MATEC web of conferences*, 103, 06016. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710306016>
- Kurniawan, S., Abdullah, S., Imron, M., Said, N., Ismail, N., Hasan, H., Othman, A., & Purwanti, I. (2020). Challenges and opportunities of biocoagulant/bioflocculant application for drinking water and wastewater treatment and its potential for sludge recovery. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 9312. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249312>
- Madrona, Grasiela; SCAPIM, Monica; Tonon, Lucineia Cestari; REIS, Miria Miranda; Paraiso, Carolina; Bergamasco, Rosângela. Use of *Moringa oleifera* in a combined coagulation-filtration process for water treatment. *Chemical Engineering Transactions*, [S.L.], v. 57, p. 1195-1200, maio 2017. AIDIC: Italian Association of Chemical Engineering. <http://dx.doi.org/10.3303/CET1757200>.
- Ndabigengesere, KS Narasiah, GB Talbot. Agentes ativos e mecanismo de coagulação de águas turvas usando *Moringa oleifera*. *Água Res.*, 29 (1995), pp . 703 – 710
- Nimesha, S., Hewawasam, C., Jayasanka, D., Murakami, Y., Araki, N., & Maharjan, N. (2022). Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 8(1), 101-116. doi: 10.22034/GJESM.2022.01.08
- Nordmark, Brittany A.; Bechtel, Toni M.; Riley, John K.; VelegoL, Darrell; Velegol, Stephanie B.; Przybycien, Todd M.; Tilton, Robert D.. *Moringa oleifera* Seed Protein Adsorption to Silica: effects of water hardness, fractionation, and fatty acid extraction. *Langmuir*, [S.L.], v. 34, n. 16, p. 4852-4860, 22 mar. 2018. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00191>.
- Oladoja, Nurudeen Abiola; PAN, Gang. Modification of local soil/sand with *Moringa oleifera* extracts for effective removal of cyanobacterial blooms. *Sustainable Chemistry And Pharmacy*, [S.L.], v. 2, p. 37-43, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scp.2015.08.003>
- Owodunni, A. A., Ismail, S., Kurniawan, S. B., Ahmad, A., Imron, M. F., & Abdullah, S. R. S. (2023). A review on revolutionary technique for phosphate removal in wastewater using green coagulant. *Journal of Water Process Engineering*, 52(103573), 103573. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103573>
- Pinto, Marcelo de Oliveira; Chirolli, Milena Julia; Roesler, Helio; Pereira, Suzana Matheus. Diferentes perspectivas da ação de membros inferiores nos quatro nados competitivos: uma revisão integrativa. *Evidência*, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 23-44, 2 set.

2020. Universidade do Oeste de Santa Catarina.
<http://dx.doi.org/10.18593/eba.24807>
- Putra, R. S., Amri, R. Y., & Ayu, M. (2020). Turbidity removal of synthetic wastewater using biocoagulants based on protein and tannin. *Proceedings of the 5th international symposium on current progress in mathematics and sciences (iscpms2019)*.
- R. Sanghi, B. Bhattacharya, V. Singh. Cassia angustifolia seed gum as an effective natural coagulant for decolourisation of dye solutions. *Green Chem.*, 4 (2002), pp. 252-254
- Santos, L. de O., Sousa, I. F. de, Silva, G. F. da, Barbosa, S. A., & Caetano, N. de S. (2023). Análise de eficiência de filtração de água por múltiplas etapas vs múltiplas camadas com biomassa de moringa oleífera e bucha vegetal. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(4), 2184–2196. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.4.p2184-2196> (A)
- Santos, L., Sousa, I. F., Barbosa, S.A., & Silva, G.F., (2023). Análise da Eficiência de Diferentes Biomassas no Tratamento da Água "Barreiro Trincheira" para Consumo Humano. *Revista De Gestão Social E Ambiental - RGSA*, 17 (1), e03000. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n1-025>. (B)
- Saranya, P., Ramesh, S. T., & Gandhimathi, R. (2014). Effectiveness of natural coagulants from non-plant-based sources for water and wastewater treatment—a review. *Desalination and Water Treatment*, 52(31–33), 6030–6039. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.812993>
- Šćiban, Marina; Klačnja, Mile; Antov, Mirjana; Hkrbić, Biljana. Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology*, [S.L.], v. 100, n. 24, p. 6639-6643, dez. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>.
- Silva, B. P. P. C., Pinheiro, V. J. F., da Costa Barbosa, I. C., Cardoso, D. F. S. R., Santos, L. P., & Santa Rosa, R. M. S. (2021). Avaliação das características físico-químicas da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) e da castanha portuguesa (*Castanea sativa* mill.). *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 5(2).
- Silva, Marcelo; Paterniani, José Francisco, Adriana; Silva, Gabriela. Aplicação de sementes de Moringa oleífera como auxiliares de pré-filtração em sistemas de pré-filtração em etapas adicionais. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, Brasília, DF, 8.4, 30 12 2011. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=732>>. Acesso em: 28 08 2022.
- Souza, A. C. A. A. de, & Pozzebon, M. (2020). Práticas e mecanismos de uma tecnologia social: proposição de um modelo a partir de uma experiência no semiárido. *Organizações & Sociedade*, 27(93), 231–254. <https://doi.org/10.1590/1984-9270934>
- Souza, A. G. de, Santos, L. S. dos, Silva, A. R. Z., & Passoni, C. R. de M. S. (2017). Propriedades nutricionais da castanha portuguesa (*Castanea sativa* Mill) e elaboração de produtos. *Cadernos Da Escola De Saúde*, 2(12). Recuperado de <https://portaldeperiodicos.unibrasil.com.br/index.php/cadernossaude/article/view/2424>
- T. Okuda, A.U. Baes, W. Nishijima, M. Okada. Coagulation mechanism of salt solution – extracted active component in Moringa oleífera seeds. *Water Res.*, 35 (2001), pp. 830-834
- Turunen, J., Karppinen, A., & Ihme, R. (2019). Effectiveness of biopolymer coagulants in agricultural wastewater treatment at two contrasting levels of pollution. *SN Applied Sciences*, 1(3). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0225-x>
- Valverde, K. C., Paccola, E. A. de S., Pomini, A. M., Yamaguchi, N. U., & Bergamasco, R. (2018). Combined water treatment with extract of natural Moringa oleífera Lam and synthetic coagulant. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 13(3), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2135>
- Venkatachalam, M., & Sathe, S. K. (2006). Chemical composition of selected edible nut seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(13), 4705–4714. <https://doi.org/10.1021/jf0606959>
- Yin, C.-Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry* (Barking, London, England), 45(9), 1437–1444.

<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>

Anexo 2: Artigo 6 traduzido para o português.



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



USO DA *MORINGA OLEÍFERA* LAM COMO DESEMULSIFICANTE NA REDUÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS E TURBIDEZ DA ÁGUA PRODUZIDA

Resumo:

Água produzida é um efluente resultante da extração do petróleo, e se apresenta como uma emulsão formada por óleo e água, que contém alta salinidade, produtos químicos, metais pesados, partículas em suspensão, cor e expressivo volume. A presença de emulsificantes naturais presentes no petróleo, contribui para a estabilidade destas emulsões, o que dificulta o rompimento natural delas. Desta forma, isso não acontece em tempo previsível e por isso são necessários processos que promovam o rompimento dessa emulsão e, conseqüentemente, a separação óleo/água. Desemulsificantes químicos são os produtos mais usados no tratamento da água produzida na indústria do petróleo. No entanto, o uso de desemulsificantes ambientalmente corretos apresenta-se como uma alternativa viável na separação óleo/água. O presente estudo investiga o uso da semente de *Moringa oleífera* LAM como agente desemulsificante natural no tratamento da água produzida. A pesquisa foca na eficiência do processo de separação de emulsões óleo/água utilizando diferentes concentrações da *Moringa*. Foram avaliados parâmetros como a remoção de óleo, redução de turbidez, redução de cor, e os comportamentos do pH e da condutividade durante o tratamento. Os resultados demonstraram que a MO além de eficiente como coagulante/floculante é uma alternativa promissora, sustentável e de baixo custo como desemulsificante natural em detrimento aos desemulsificantes químicos, com resultados de eficiências superiores a 65% em concentrações otimizadas. Palavras-chave: Água produzida; *Moringa oleífera*; desemulsificante natural; emulsões óleo/água; tratamento de efluentes.

USE OF *MORINGA OLEIFERA* LAM AS DEEMULSIFIER TO REDUCE THE CONTENT OF OILS AND GREASES AND TURBIDITY OF THE WATER PRODUCED

Abstract:

Produced water is an effluent resulting from petroleum extraction and is characterized as an emulsion formed by oil and water. It contains high salinity, chemical products, heavy metals, suspended particles, color, and substantial volume. The presence of natural emulsifiers in petroleum contributes to the stability of these emulsions, making their natural breakdown challenging. Consequently, the natural separation of oil and water does not occur within a predictable timeframe, necessitating processes that promote the emulsion's breakdown and the subsequent oil/water separation. Chemical demulsifiers are the most commonly used products for treating produced water in the petroleum industry. However, the use of environmentally friendly demulsifiers emerges as a viable alternative for oil/water separation. This study investigates the use of *Moringa oleífera* Lam. seeds as a natural demulsifying agent in the treatment of produced water. The research focuses on the efficiency of the oil/water emulsion separation process using different concentrations of *Moringa*. Parameters such as oil removal, turbidity reduction, color reduction, and the behavior of pH and conductivity during treatment were evaluated. The results demonstrated that *Moringa oleífera*, in addition to being efficient as a coagulant/flocculant, is a promising, sustainable, and cost-effective alternative as a natural demulsifier, outperforming chemical demulsifiers with efficiencies exceeding 65% under optimized concentrations.

Keywords: Produced water; *Moringa oleífera*; Natural demulsifier; TOG and Turbidity.

Introdução

Durante a produção de petróleo, ocorre o aparecimento de água proveniente do aquífero (água de formação) ou também de água utilizada no processo de recuperação, sendo chamada de água produzida, um efluente que é proveniente da extração do petróleo. (RAMALHO; OLIVEIRA, 1999; SOUZA, 2023).

Com a grande exploração de petróleo, a preocupação com o uso e descarte deste efluente é cada vez maior, devido principalmente a sua composição, pois ela possui um alto teor de óleos e graxas (TOG), salinidade e alta densidade. Sendo assim, é de grande importância o gerenciamento adequado da AP, como caracterização, tratamento, descarte ou reinjeção. (SOUZA, 2023).

Esta água, dependendo das condições químicas e ou físico-químicas, pode formar emulsões bastante estáveis com o petróleo. As águas que formam as emulsões podem conter sais como, cloretos de sódio, cálcio e magnésio e óxidos metálicos que, além de aumentar a viscosidade das emulsões, afetam o sistema de bombeio e transferência, e podendo comprometer diversas operações nas refinarias (OLIVEIRA; CARVALHO, 1998). Estes sais podem também provocar oxidação nos dutos, além de provocarem incrustações que obstruem a passagem do petróleo no duto. O petróleo para ser enviado para a refinaria deverá ser “desemulsificado”, ou seja, desidratado e dessalgado, devendo apresentar no final um teor de água de até 1% V/V (BSW) e teor de sal de até 570 mg sal/L. Assim, antes de ser transportado é necessário que os petróleos passem por um tratamento para remoção de água, sais e gases quando for o caso. Esse processo é conhecido como processamento primário e consiste na utilização de produtos químicos (desemulsificantes) e vasos tratadores, sendo que os mais utilizados são os desidratadores eletrostáticos, nos quais a água que está emulsionada sofre coalescência, indo para o fundo do vaso, arrastando-os, de onde são retirados por decantação. O processamento do petróleo pela eletro-coalescência é empregado largamente, sendo considerado o melhor método para aumentar a eficiência de separação da água do petróleo. (MORIGAKI *et al.*, 2010).

Na indústria petrolífera vários segmentos podem produzir impactos ao meio ambiente. No segmento representado pela exploração do petróleo, um dos poluentes mais relevantes é a água produzida. Este efluente é resultante dos processos de separação realizados nas estações coletoras e de tratamento na produção de petróleo, cujo crescente volume constitui-se em um perigo potencial para o meio ambiente. (BARAMBU *et al.*, 2021).

A água produzida apresenta alta salinidade, óleo (emulsionado ou não), produtos químicos adicionados nos diversos processos de produção (desemulsificantes, anti-espumantes, anti-corrosivos, anti-incrustantes, etc.), metais pesados e materiais suspensos. Pela presença destes elementos, o descarte inadequado deste efluente pode resultar em efeitos nocivos ao meio ambiente, na repercussão negativa indesejada, com a possibilidade de multas por infrações ambientais, além da necessidade de ações corretivas e mitigadoras. (LIU *et al.*, 2021; AL-GHOUTI *et al.*, 2019).

Após tratamento, a água produzida pode ser reutilizada para fins de reinjeção em poços petrolíferos, como estratégia para recuperação secundária ou para fins de descarte no mar, atendendo as restrições legais (BEYER *et al.*, 2020). Atualmente a Petrobras já vem utilizando a água produzida na recuperação secundária do óleo, tendo como consequência o surgimento de alguns problemas operacionais, como danos à formação, os quais poderão ser minimizados e/ou eliminados pelo sistema de tratamento proposto neste projeto.

Para ser reinjetada, a água produzida exige um tratamento rigoroso, de modo a enquadrá-la nas especificações do processo de produção secundária do óleo. Os processos atualmente utilizados no tratamento são: Decantação; Coagulação/floculação e Flotação. A presente proposta sugere melhorar a qualidade da água produzida, desenvolvendo um processo que possa ser eficiente e de baixo custo em relação a quebra da emulsão óleo/água, cuja composição típica aparece na Tabela 01, enquadrando-a como produto final nas condições preconizadas pela Resolução CONAMA n.º 393/2007 em relação a materiais oleosos suspensos e emulsionados. (CONAMA, 2007)

Tabela 01 – Característica da Água Produzida

COMPONENTES		FAIXA DE CONCENTRAÇÃO
Sólidos Dissolvidos (mg /L)	Sódio	13.009-60.348
	Potássio	245-1.149
	Cálcio	1.318-17.808
	Magnésio	459-1.440
	Bário	10-868
	Estrôncio	25-846
	Ferro (total)	0,2-46,2
	Cloreto	17.240-86.614
	Sulfato	5-227
	Bicarbonato	88-684
	Carbonato	0
	Hidróxido	0
	Sulfeto	10
	Sólidos totais dissolvidos	-
Gases Dissolvidos (mg /L)	Oxigênio	-
	Dióxido de carbono	-
	Gás sulfídrico	-
Propriedades Físicas	Densidade à 15,6	1,020-1,125
	pH	6,4-7,2
Material Suspenso (mg/L)	Óleo	2-565
	Sólidos	1-1000

Fonte: Adaptado de Gomes (2009).

Diversos microrganismos, tais como bactérias, algas, fungos e outros estão frequentemente presentes nas águas produzidas podendo gerar em seus metabolismos substâncias de caráter corrosivo (ácido sulfídrico, sulfúrico, etc.). Os tratamentos básicos pelo qual a água produzida pode passar são: remoção do óleo residual; remoção de sólidos suspensos; eliminação de bactérias e remoção dos constituintes inorgânicos (ferro, sulfeto, bário etc.). Desta forma, a complexidade dos processos industriais levou os técnicos e pesquisadores de todo o mundo a desenvolverem processos que possibilite a indústria tratar seu efluente de modo a atender aos parâmetros definidos na legislação vigente. (AL-GHOUTI *et al.*, 2019; AMAKIRI *et al.*, 2022).

De acordo com estudos de Santos *et al.* (2011), a presença natural da alta salinidade na água produzida é um fator que aumenta a eficiência da ação desemulsificante da *Moringa oleífera* LAM, partindo-se desta premissa, justifica-se a continuidade destes estudos e da viabilidade desta planta como alternativa para a quebra da emulsão óleo/água em água produzida real.

Neste trabalho explorar-se-á mais sobre o tratamento da água produzida, no que diz respeito a remoção de óleos e graxas presentes em suspensão ou na forma de emulsão, que, sabendo-se do excelente efeito da MO como coagulante e clarificante natural no tratamento da água, através de trabalhos desenvolvidos recentemente por Santos *et al.* (2023 e 2024), testaremos a hipótese de que a semente de *Moringa oleífera* LAM também é eficiente na quebra da emulsão óleo/água no desenvolvimento de um novo produto para a indústria do petróleo.

Com base nisto, o objetivo geral e específicos deste trabalho foram:

Objetivo geral:

Desenvolver um produto sustentável para a quebra da emulsão óleo/água para o tratamento da água produzida derivada da exploração do petróleo.

Objetivos específicos:

- Caracterizar a água produzida através de análises físico-químicas;

- Estudar a influência de variáveis na formação das emulsões;
- Verificar se as propriedades da água produzida após a quebra da emulsão satisfazem a os requisitos do refino e da Resolução CONAMA 357/2005;

O público-alvo/segmento de clientes desta proposta abrange todo o mercado da indústria do petróleo, gás e biocombustíveis tendo em vista ao fato do problema a ser resolvido é considerado um dos maiores gargalos desta indústria desde que se iniciou as atividades de exploração e produção deste mineral no planeta, se configurando portanto, numa oportunidade de negócio com o desenvolvimento de um novo produto desemulsificante que possa ser útil em diversos tipos de amostras de água produzida e com enorme potencial de crescimento dentro da atual e futura realidade desta indústria, bem como os desafios que terá que enfrentar nos próximos anos.

A funcionalidade da solução proposta se baseia em estudos prévios da literatura a respeito do uso de surfactantes químicos e polieletrólitos como desemulsificantes já utilizados para este fim e na tentativa de apresentar um produto natural que já apresentou bons resultados na desemulsificação de outras misturas e que nesta proposta possa ser usado como princípio ativo no desenvolvimento de um novo produto para desemulsificação de emulsões óleo/água.

Referenciais Teóricos

Tratamentos convencionais para Água Produzida

De acordo com Amakiri *et al.* (2022) e Al-Ghouti *et al.* (2019) a quantidade de água produzida associada a produção de óleo varia muito, dependendo da localização, da tecnologia utilizada para extração, da idade do poço, pois, à medida que a idade do poço aumenta, ocorre o declínio da produção de petróleo e gás, resultando no aumento da produção de água produzida. Esses valores podem variar entre 2% ou até mesmo 98% ao fim da vida econômica dos poços. Dessa forma, um dos objetivos do tratamento da água produzida pode ser recuperar parte do óleo nela presente em emulsão e condicioná-la para reinjeção ou descarte. (AMAKIRI *et al.*, 2022; AL-GHOUTI *et al.*, 2019; THOMAS, 2001).

Somado a isso, o atendimento às exigências legais dos órgãos reguladores ambientais (Resoluções do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente), a água oleosa gerada na indústria do petróleo e em outras atividades industriais se torna atualmente um dos maiores desafios em relação a minimização dos impactos ambientais para atender a legislação ambiental e na redução dos custos operacionais. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece na Resolução 357/2005, que o teor de óleos e graxas (TOG) máximo na água produzida para descarte em corpos receptores, deve ser de 20 mg/L. Especificamente, para descartes em plataformas offshore aplica-se a Resolução CONAMA 393/2007, que estabelece a média aritmética simples mensal do teor de óleos e graxas de até 29 mg/L, com valor máximo diário de 42 mg/L. Para reinjeção em poços de petróleo, a água deverá ter no máximo 5 mg/L de óleos e graxas.

O tratamento da água produzida pode ser efetuado por vários métodos, sendo eles físicos como a filtração, adsorção, separação, hidrociclones, os químicos como, oxidação, coagulação e floculação ou até mesmo biológicos como os filtros aerados biológicos e lodo ativado. (AMAKIRI *et al.*, 2022; AL-GHOUTI *et al.*, 2019).

Os tratamentos também podem ser classificados como primários, secundários e terciários. Os tratamentos primários são relevantes para remoção de partículas em suspensão com tamanhos acima de 5 µm, não sendo adequado para remoção de compostos dissolvidos, sendo aplicado principalmente para tratamentos físicos. (AMAKIRI *et al.*, 2022; JAFARINEJAD, 2016)

Os tratamentos secundários são usados para atingir uma maior pureza do efluente, removendo aproximadamente 90% do óleo e matéria orgânica solúvel que não foi removida no tratamento primário, técnicas de tratamento secundário incluem flotação, adsorção e lodo ativado. (AMAKIRI *et al.*, 2022 *apud*. ARTHUR, LANGHUS e PATEL, 2005).

O tratamento terciário é usado quando há necessidade de reduzir ainda mais a turbidez e a concentração de micropartículas de óleo e impurezas além dos níveis do tratamento secundário e primário. As tecnologias usadas nesta etapa são a eletrodialise, eletrólise troca iônica e processos avançados de oxidação. (AMAKIRI *et al.*, 2022; LI *et al.*, 2014)

Uso da MO como Coagulante Natural

A *Moringa oleífera* (MO) é uma planta tropical que pertence à família *Moringaceae*. Em torno de catorze espécies já foram identificadas e todas possuem propriedades coagulantes em diferentes graus de coagulação (OLADOJA e PAN, 2015).

Para Dzuvor *et al.* (2021) a utilização *Moringa oleífera* Lam (MO) apresenta-se como uma gama de potenciais benefícios para saúde humana com propriedades anticancerígenas, antidiabéticas, antioxidantes, anti-inflamatórias e além disso, suas sementes e tortas podem ser utilizadas no processo de tratamento de água na coagulação, floculação e como adsorventes por sua capacidade de eliminação de micróbios e matéria orgânica.

Ela possui ativos biocoagulantes ativos que podem ser utilizados no tratamento de clarificação da água, filtração, sedimentação e floculação da água, reduzindo o uso de coagulantes de base química (CAMACHO *et al.*, 2017), (VALVERDE *et al.*, 2018).

Em pesquisa de revisão feita por Ueda *et al.* (2021) mostra que a MO tem potencial de uso como auxiliar de floculação, reduzindo o uso de coagulantes químicos e tendo bons resultados de remoção, além do seu uso como adsorvente, com potencial para remoção de diversos contaminantes da água. Além disso, em pesquisa desenvolvida por Santos *et al.* (2023) verificou-se o grande potencial da MO e bucha vegetal como biomassas adsorventes para adicionar em filtros lentos para tratamento de água.

Estudos mostram que os usos da MO podem reduzir em até 85% a turbidez da água, além de ser capaz de remover de 40% a 50% também da matéria orgânica presente na água (CAMACHO *et al.*, 2017).

Segundo Nordmark *et al.* (2018), os resultados de suas pesquisas concluem que proteínas de *Moringa oleífera* adsorvem irreversivelmente com relação ao enxágue no modelo de água utilizado, sugerindo que a areia modificada com as proteínas da moringa é estável em uso repetido de filtração da água, tornando assim um dispositivo de filtração de água simples, eficaz e sustentável.

Além dessas características, pesquisas como a de Viotti *et al.* (2019), apontam para a

eficiência promissora e de baixo custo no uso da vagem da *Moringa oleífera* na adsorção de compostos químicos como o diclofenaco no tratamento da água.

Várias são as formas que podemos trabalhar com a *Moringa oleífera* podendo ser a semente, vagem, farinha, torta e até mesmo como carvão ativado. Ruelas-Leyva *et al.* (2017), trazem em suas pesquisas resultados muito promissores quanto ao uso da farinha da *Moringa oleífera* quando comparada com o coagulante convencional a quitosana, sendo a moringa eficiente na remoção de chumbo e manganês, além da redução na turbidez de águas de rios e residuais agrícolas, sendo que em algumas situações a farinha da *Moringa oleífera* teve resultados superiores à da quitosana.

Resultados positivos no tratamento da potabilização da água também foram encontrados por Baptista *et al.* (2017), no uso da *Moringa oleífera* Lam num processo combinado de Coagulação/Floculação com Ultrafiltração obtendo água de alto nível de qualidade para consumo humano após o processo.

Materiais e Método

Este projeto tem método de abordagem hipotético-dedutivo, podendo ser classificada como pesquisa aplicada, quantitativa, exploratória, experimental e estudo de caso. Os meios utilizados serão, pesquisa de campo, laboratório, bibliográfico, experimental e estudo de caso.

Caracterização do objeto de estudo

A coleta da água produzida para experimentos ocorreu na Unidade de Exploração da Petrobras UNSE/AL.

Análises Físico Químicas e Microbiológicas

Foram analisados em laboratório parâmetros de pH, turbidez, condutividade, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade total, acidez total, dureza total, cálcio, magnésio, cloretos, sódio, potássio e TOG, como podemos verificar na tabela 2.

Tabela 2 – Métodos de análises físico-químicas e unidades.

Parâmetro	Método	Unidade	Referência
pH	Método potenciométrico	adimensional	NBR 7353
Turbidez	Método nefelométrico	uT	SM 2120
Condutividade	Método condutométrico	(μ S)/cm	SM 2130 B
Sólidos Totais Dissolvidos	Método condutométrico	ppm	SM 2510 B
Alcalinidade Total	Volumetria de neutralização	ppm CaCO_3	SM 2540
Acidez Total	Volumetria de neutralização	ppm CaCO_3	SM 2320 B
Dureza total	Volumetria de complexação	ppm CaCO_3	SM 2340 B
Cálcio	Volumetria de complexação	mg/L Ca^{++}	SM 2340 B
Magnésio	Volumetria de complexação	mg/L Mg^{++}	SM 2340 B
Cloretos	Volumetria de precipitação	ppm Cl^-	SM 4500
Sódio	Fotometria de chama	ppm Na^+	SM 3111
Potássio	Fotometria de chama	ppm K^+	SM 3111
TOG	Extração por solvente	mg/L	

Fonte: Autores, 2023.

Preparo do Desemulsificante natural de semente de MO

Para o preparo da semente de MO como desemulsificante natural, utilizou-se semente de

moringa descascada, triturada em liquidificador e peneirada em peneira doméstica de malha com abertura de 2,5 mm até a obtenção de uma farinha fina, conforme figura 1.



Figura 1. Processo de beneficiamento da semente de moringa para obtenção do coagulante em pó.

Fonte: Santos, 2023.

Nesta etapa, foi proposto um tratamento visando quebrar as emulsões através do uso do desemulsificante natural (semente de moringa em pó). O objetivo foi verificar a ação direta do desemulsificante natural como agente desemulsificante. Neste caso, tomou-se como parâmetro a dosagem de desemulsificante natural de 100 mg/L. Assim, as dosagens testadas no *jar test* do desemulsificante natural foram de 75 mg/L; 150 mg/L; 300 mg/L; 400

mg/L; 600 mg/L e 800 mg/L, conforme a figura 2 da esquerda para a direita, neste ensaio submeteu-se cada amostra a agitação rápida em 300 rpm por 2 minutos e agitação lenta em 45 rpm por 20 minutos com um período de decantação de 30 minutos. Após esse procedimento, coletou-se e analisou-se os parâmetros de turbidez e TOG dos sobrenadantes de cada becker.

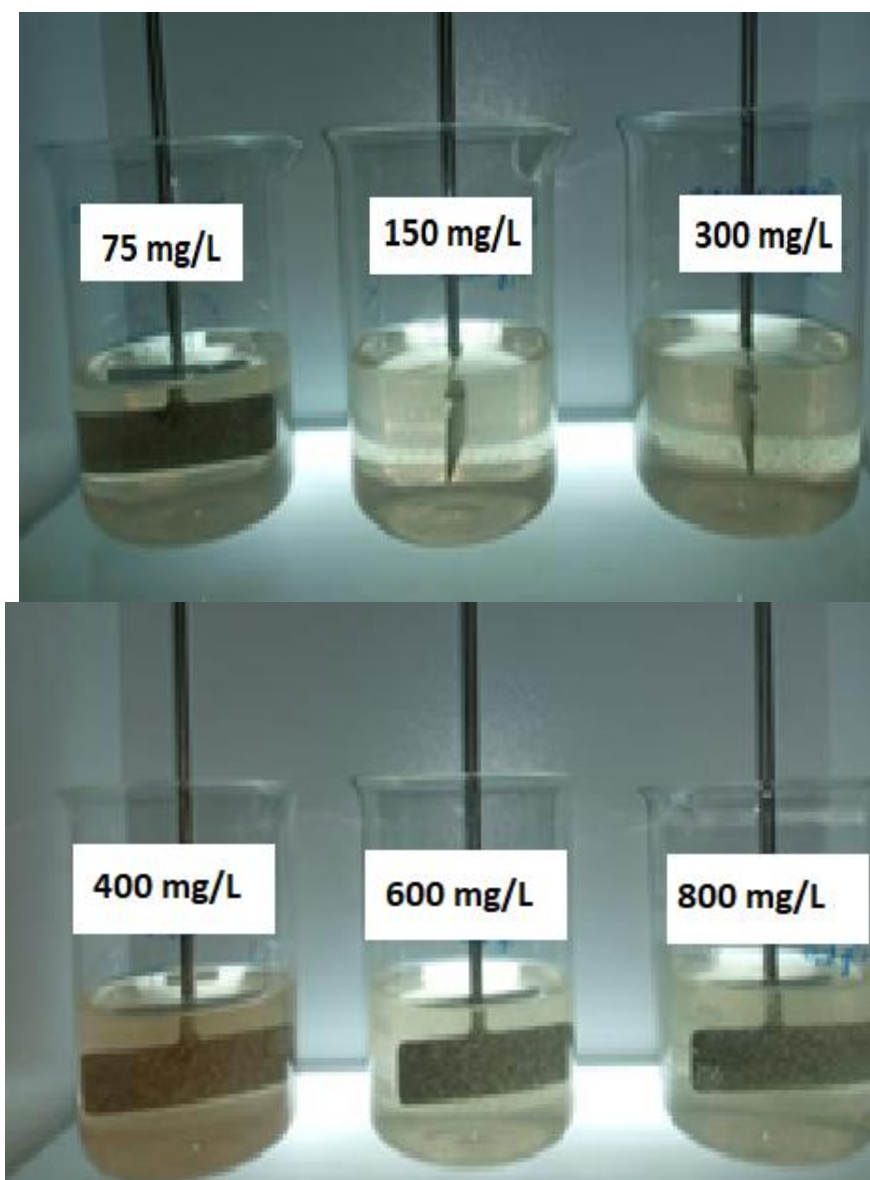


Figura 2. Agitação das amostras após adição do desemulsificante natural de semente de MO.
Fonte: Autores, 2023.

Tratamento Proposto

Tratamentos convencionais são todos os processos físico-químicos a que é submetida uma água para modificar sua qualidade, tornando-a com características que atendem às especificações solicitadas para uma determinada aplicação industrial e/ou para fins potáveis.

Consiste na clarificação química através da pré-cloração, decantação, coagulação/floculação e filtração da água. Clarificação é a remoção da matéria finamente dividida e em suspensão em uma água. No caso da água produzida o principal objetivo do tratamento primário é modificar sua qualidade principalmente quanto aos parâmetros de turbidez e TOG, já que a finalidade do tratamento é reinjetá-la nas formações ou

descartá-la adequadamente atendendo os requisitos da legislação.

Neste trabalho analisou-se a água produzida bruta sem tratamento prévio e comparou-se os parâmetros analisados com os resultados obtidos após o uso desemulsificante natural, avaliando se houve ou não a quebra da emulsão óleo/água após o uso do desemulsificante natural de *Moringa oleífera* (MO).

Resultados e Discussões

Os resultados serão apresentados através da caracterização físico-química da água produzida bruta, conforme tabela 3, seguido dos resultados das médias e desvios

padrões das análises realizadas no sobrenadante das águas com diferentes concentrações de agente coagulante natural nas dosagens de 75 mg/L; 150 mg/L; 300 mg/L; 400 mg/L; 600 mg/L e 800 mg/L das sementes da MO, conforme tabela 4 e seguido pela apresentação das análises e discussões dos parâmetros de turbidez, cor aparente e TOG para cada concentração de coagulante natural utilizada, conforme tabela 5 e figuras 3 e 4.

Foi selecionado estes três parâmetros para discussões pois foram aqueles que tiveram maior redução devido à ação do desmulsificante natural, sendo, turbidez com redução máxima 70,62%, cor com redução máxima de 59,82% e TOG com redução máxima de 67,31%. Em relação aos outros parâmetros o pH, condutividade, STD, dureza total, cálcio e

magnésio tiveram uma elevação em seus parâmetros, enquanto o sódio teve uma redução máxima de 8,22% e o potássio teve uma redução máxima de 20,01%. Já a alcalinidade e acidez total não estão fora da faixa recomendada pela resolução CONAMA 357/2005 e por isso também não foram selecionados.

Para análises destes parâmetros e construção dos gráficos, foi utilizado o software prism 9 da Graphpad com teste unidirecional ANOVA e significância de 5% para análises das diferenças estatísticas entre os parâmetros. Utilizou-se letras iguais para amostras que não são significativamente diferentes do ponto de vista estatístico e letras diferentes para amostras que são significativamente diferentes estatisticamente, conforme figuras 3, 4 e 5.

Tabela 3: Características físico-químicas da água produzida bruta.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	VALORES ENCONTRADOS MÉDIA ± DP
pH	8,52 ± 0,22
Turbidez (UNT)	86,52 ± 3,00
Cor (uC)	60,56 ± 4,12
Condutividade (µS/cm)	36.960 ± 350,00
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	18.237 ± 160,60
Alcalinidade Total (mg/L CaCO ₃)	25,75 ± 2,52
Acidez Total (mg/L CaCO ₃)	16,41 ± 4,56
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	12.650 ± 220,34
Cálcio (mg/L Ca ⁺⁺)	3.846 ± 86,46
Magnésio (mg/L Mg ⁺⁺)	738 ± 12,45
Cloretos (mg/L Cl ⁻)	32.356 ± 120,42
Sódio (mg/L Na ⁺)	6.875 ± 62,48
Potássio (mg/L K ⁺)	368 ± 7,56
TOG (mg/L)	120 ± 6,42

Fonte: Autores, 2023.

Após o teste de jarro realizado nas dosagens de 75 mg/L; 150 mg/L; 300 mg/L; 400 mg/L; 600 mg/L e 800 mg/L das sementes da MO, foram analisados os sobrenadantes de todos os parâmetros propostos e observou-se

que em todos eles, com exceção da turbidez, cor e do TOG, a variação foi considerada pequena. A tabela 4 apresenta a média dos resultados das dosagens avaliadas.

Tabela 4: Características físico-químicas da média dos resultados das dosagens da *Moringa oleífera* (75 mg/L; 150 mg/L; 300 mg/L; 400 mg/L; 600 mg/L e 800 mg/L).

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	VALORES ENCONTRADOS MÉDIA ± DP

pH	8,38 ± 0,06
Turbidez (UNT)	29,86 ± 3,29
Cor (uH)	28,07 ± 2,54
Condutividade (µS/cm)	37.365 ± 254
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	19.642,44 ± 63,92
Alcalinidade Total (mg/L CaCO ₃)	18,53 ± 7,70
Acidez Total (mg/L CaCO ₃)	14,33 ± 3,88
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	13.807,77 ± 2448,41
Cálcio (mg/L Ca ⁺⁺)	2902,50 ± 440,92
Magnésio (mg/L Mg ⁺⁺)	1593,94 ± 662,46
Cloretos (mg/L Cl ⁻)	33.867 ± 2392
Sódio (mg/L Na ⁺)	7.150 ± 165
Potássio (mg/L K ⁺)	390 ± 14
TOG (mg/L)	54,72 ± 7,33

Fonte: Autores, 2022.

Sendo assim, apresentaremos apenas os resultados destes três parâmetros comparando-se com o resultado da água bruta.

Tabela 5: Análises de Turbidez e TOG da água bruta e após a adição das diferentes concentrações da *Moringa oleífera* (desemulsificante natural).

CONCENTRAÇÃO (mg/L)	pH	TURBIDEZ (UNT)	COR (uC)	TOG (mg/L)
Água Bruta	8,52	86,52	60,56	120
75	8,49	27,40	28,32	56
150	8,45	25,42	24,33	40
300	8,37	28,78	26,84	48
400	8,35	30,65	27,61	58
600	8,33	32,75	29,38	62
800	8,29	34,14	31,93	66

Fonte: Autores, 2024.

Turbidez

Neste tópico discutiremos a eficiência da MO na remoção de turbidez da água produzida, conforme verifica-se na figura 3 a seguir.

Os resultados encontrados nesta pesquisa estão abaixo daqueles encontrados por Desta e Bote (2021) que obteve redução de 99,5% de turbidez e 97,7% de cor em águas básicas e 98% de turbidez e 90,76% de cor em águas ácidas. Abaixo também dos resultados encontrados por Santos *et al.* (2023) que também obteve redução de aproximadamente 97% de turbidez após o tratamento de água superficial utilizando a MO e também dos resultados de Valverde *et al.* (2018) que obteve redução de 70% de turbidez e 75% de cor aparente com a utilização da semente de MO

como agente coagulante. Estes resultados variam, pois, vários são os fatores que afetam a atividade coagulante da MO principalmente o pH e a turbidez inicial da água bruta, a dosagem de coagulante e a forma como o coagulante está sendo administrado, que determinam o nível de interação entre as partículas.

No trabalho desenvolvido por Santos *et al.*, (2011) utilizando a MO no tratamento de água produzida sintética, foi obtido uma eficiência de remoção de turbidez de 85,2%. Neste trabalho, utilizando água produzida coletada na Unidade de Exploração da Petrobras UNSE/AL com características apresentadas anteriormente na tabela 3, foi obtido uma remoção de turbidez máxima de 70,62% utilizando uma dosagem de 150 mg/L

de coagulante natural, como pode ser verificado na figura 3 a seguir.

O comportamento do coagulante apresenta-se semelhante ao encontrado nos trabalhos desenvolvidos por Santos et al. (2024) utilizando-se de coagulantes naturais como alternativa ao tratamento de água sintética.

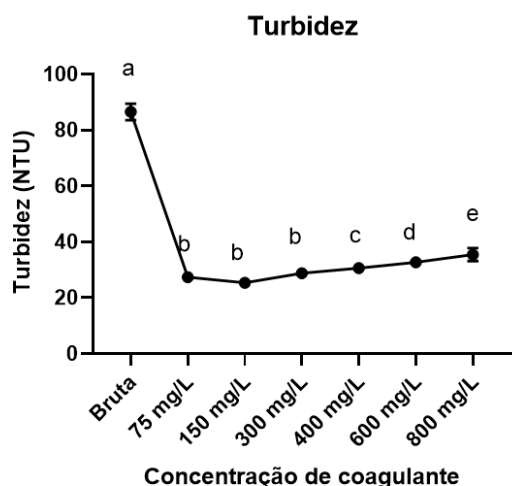


Figura 3. Resultados de Turbidez para as diferentes concentrações de sementes de MO.
Fonte: Autores, 2024.

Cor aparente

Neste tópico discutiremos a eficiência da MO na remoção de cor aparente da água produzida, conforme verifica-se na figura 4 a seguir.

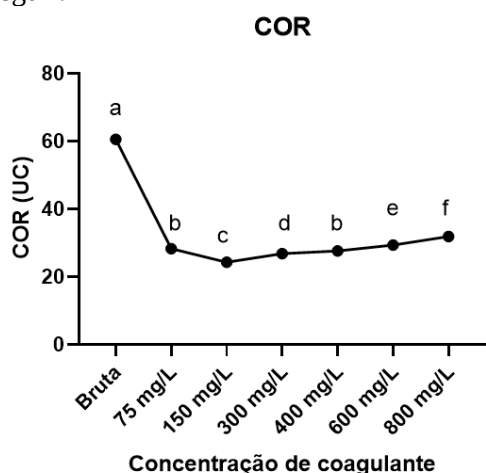


Figura 4. Resultados de Cor aparente para as diferentes concentrações de sementes de MO.
Fonte: Autores, 2024.

Os resultados encontrados referentes à redução da cor aparente, também estão abaixo daqueles encontrados por Santos et al (2023) onde foi obtido redução de 96,62% da

cor aparente da amostra e de Valverde et al. (2018) onde foi obtido uma redução de 75% da cor, isso se dá basicamente pelas características da água tratada, sendo os clarificantes naturais muito afetados pelas características iniciais da água, como pode ser observado em estudos realizados com diferentes coagulantes naturais por Santos et al. (2024), sendo que, geralmente, em água com maiores turbidez e cor aparentes iniciais, maior é a eficiência de remoção destes parâmetros por parte do clarificante natural.

Neste trabalho, a remoção máxima obtida da cor aparente foi de 59,82% com concentração de 150 mg/L de sementes de MO.

Teor de Óleos e Graxas - TOG

Neste tópico discutiremos a eficiência da MO na redução do TOG da água produzida, conforme verifica-se na figura 5 a seguir.

No trabalho desenvolvido por Santos et al., (2011) utilizando a MO no tratamento de água produzida sintética foi obtido uma eficiência de redução de TOG de 82%. Neste trabalho, utilizando água produzida coletada na Unidade de Exploração da Petrobras UNSE/AL com características apresentadas anteriormente na tabela 3, foi obtido uma remoção de TOG máxima de 66,67% utilizando uma dosagem de 150 mg/L de coagulante natural, como pode ser verificado na figura 5 a seguir.

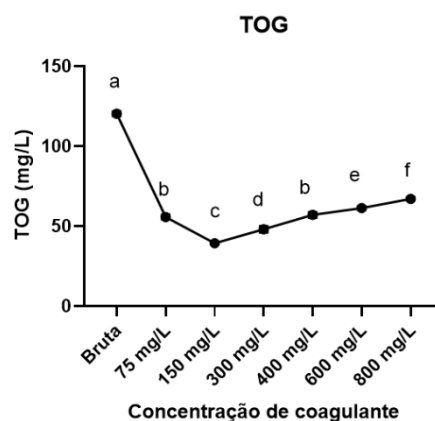


Figura 5. Resultados de TOG para as diferentes concentrações de sementes de MO.
Fonte: Autores, 2024.

pH

O pH mede a acidez ou a basicidade de uma amostra. Neste experimento foi possível observar a variação do pH após a adição do

desemulsificante em diferentes concentrações e verificar se há a necessidade de controle do mesmo durante o tratamento. De acordo com a tabela 5 e figura 6, é possível observar que o pH é reduzido a medida que se é adicionado a MO, porém com baixas variações, sendo a redução máxima de 0,23% do pH em relação à água bruta na concentração de 800 mg/L.

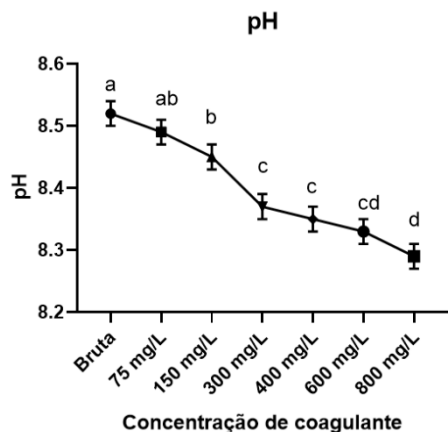


Figura 6. Resultados de pH para as diferentes concentrações de sementes de MO.

Fonte: Autores, 2024.

Taynara et al. (2011), comparou os valores de pH referentes às amostras tratadas com a MO, constatou-se que estas se mostraram praticamente constantes para todas as concentrações utilizadas. Já utilizando o sulfato de alumínio, no entanto, observou-se uma redução bastante significativa de pH de acordo com o aumento da concentração, o que pode ser justificado pelo fato de o sulfato de alumínio ser um coagulante ácido, podendo baixar drasticamente o pH da solução.

A tabela 5 e a figura 7 apresentam o resultado final de cada vaso com as respectivas concentrações do desemulsificante natural (75; 150; 300; 400, 600 e 800 mg/L da esquerda para a direita).

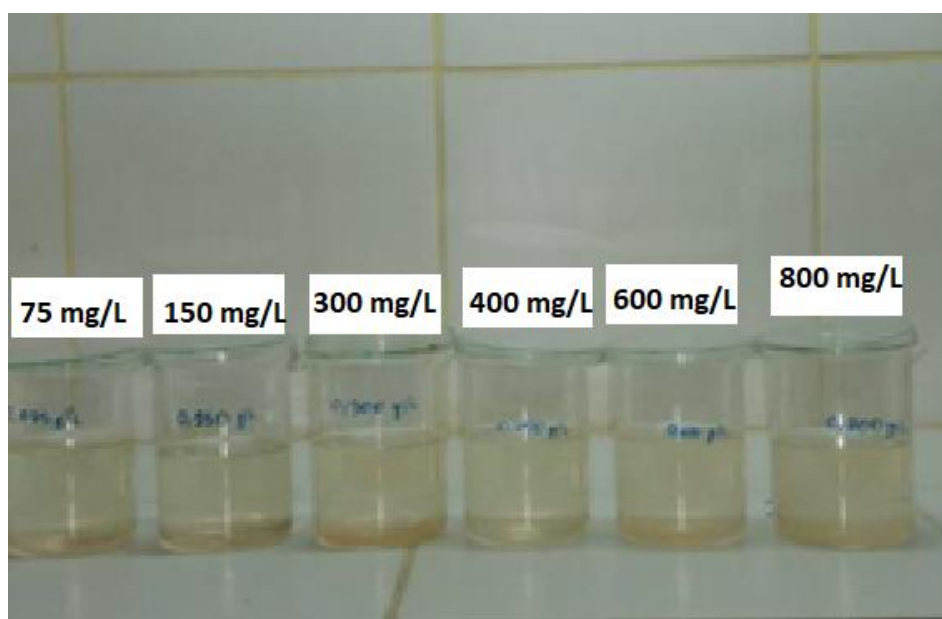


Figura 7: Resultado das diferentes dosagens após o teste de jarro com adição do desemulsificante natural (75; 150; 300; 400, 600 e 800 mg/L da esquerda para a direita).

Fonte: Autores, 2023.

Considerações Finais

Com todas estas análises, pode-se observar que após realizado o “jar test”, variando a dosagem do desemulsificante natural, adicionado diretamente às amostras de água bruta sem o tratamento prévio, que a adição na dosagem de 150 mg/L foi considerada a dosagem ótima, pois, houve uma maior redução tanto da turbidez, cor aparente e TOG

em relação à água bruta. A turbidez reduziu em 70,62%, a cor aparente em 59,82% enquanto que o TOG reduziu em 66,7%. Com base nestes resultados, pode-se concluir que o uso da *Moringa Oleífera* (desemulsificante natural) adicionado diretamente na água produzida bruta, mostrou-se como excelente na redução dos parâmetros estudados, apesar dos valores obtidos estarem acima do que preconiza a Resolução CONAMA N° 357/05, o que reforça

a tese de que o uso do desemulsificante natural da *Moringa Oleífera* (MO) contribui de forma complementar no tratamento da água produzida na quebra da emulsão óleo/água e consequentemente na redução da turbidez e do TOG.

Referências bibliográficas

- Al-Ghouti, M. A., Al-Kaabi, M. A., Ashfaq, M. Y., & Da'na, D. A. (2019). Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 28, 222–239. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.001>
- Amakiri, K. T., Canon, A. R., Molinari, M., & Angelis-Dimakis, A. (2022). Review of oilfield produced water treatment technologies. *Chemosphere*, 298(134064), 134064. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134064>
- Arthur, J. D., Langhus, B. G., & Patel, C. (2005). Technical summary of oil & gas produced water treatment technologies. *All Consulting, LLC, Tulsa, OK*.
- Barambu, N. U., Bilad, M. R., Bustam, M. A., Kurnia, K. A., Othman, M. H. D., & Nordin, N. A. H. M. (2021). Development of membrane material for oily wastewater treatment: A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(2), 1361–1374. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.08.027>
- Beyer, J., Goksøyr, A., Hjermann, D. Ø., & Klungsøyr, J. (2020). Environmental effects of offshore produced water discharges: A review focused on the Norwegian continental shelf. *Marine Environmental Research*, 162(105155), 105155. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105155>
- BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/imagens/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_ltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf
- BRASIL. Resolução CONAMA 393, de 08 de agosto de 2007. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2018/08/CONAMA_RES_CONS_2007_393.pdf
- Camacho, F. P., Sousa, V. S., Bergamasco, R., & Ribau Teixeira, M. (2017). The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal (Lausanne, Switzerland: 1996)*, 313, 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>
- Desta, W. M., & Bote, M. E. (2021). Wastewater treatment using a natural coagulant (*Moringa oleifera* seeds): optimization through response surface methodology. *Heliyon*, 7(11), e08451. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451>
- Dzuovor, C. K. O., Pan, S., Amanze, C., Amuzu, P., Asakiya, C., & Kubi, F. (2022). Bioactive components from *Moringa oleifera* seeds: production, functionalities and applications – a critical review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(2), 271–293. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1931804>
- GOMES, E. A., Tratamento Combinado da Água Produzida de Petróleo por Eletroflotação e Processo Fenton. Dissertação, UNIT, Aracaju, 2009, 95p. Jafarinejad, S. (2016). *Petroleum waste treatment and pollution control*. Butterworth-Heinemann.
- Li, X., Cao, X., Wu, G., Temple, T., Coulon, F., & Sui, H. (2014). Ozonation of diesel–fuel contaminated sand and the implications for remediation end-points. *Chemosphere*, 109, 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.005>
- Liu, Y., Lu, H., Li, Y., Xu, H., Pan, Z., Dai, P., Wang, H., & Yang, Q. (2021). A review of treatment technologies for produced water in offshore oil and gas fields. *The Science of the Total Environment*, 775(145485), 145485. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145485>
- Baptista, A. T. A., Coldebella, P. F., Cardines, P. H. F., Gomes, R. G., Vieira, M. F.,

- Bergamasco, R., & Vieira, A. M. S. (2015). Coagulation–flocculation process with ultrafiltered saline extract of *Moringa oleifera* for the treatment of surface water. *Chemical Engineering Journal (Lausanne, Switzerland: 1996)*, 276, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.04.045>
- Morigaki, M. K., Chimin, R. Q. F., Sad, C. M. dos S., Filgueiras, P. R., Castro, E. V. R. de, & Dias, J. C. M. (2010). Salinidade em petróleo bruto: otimização de metodologia e proposta de um novo método para extração de sais em petróleo. *Química Nova*, 33(3), 607–612. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422010000300023>
- Nordmark, B. A., Bechtel, T. M., Riley, J. K., Velegol, D., Velegol, S. B., Przybycien, T. M., & Tilton, R. D. (2018). *Moringa oleifera* seed protein adsorption to silica: Effects of water hardness, fractionation, and fatty acid extraction. *Langmuir: The ACS Journal of Surfaces and Colloids*, 34(16), 4852–4860. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00191>
- Oladoja, N. A., & Pan, G. (2015). Modification of local soil/sand with *Moringa oleifera* extracts for effective removal of cyanobacterial blooms. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 2, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2015.08.003>
- OLIVEIRA, R. C. G.; CARVALHO, C. H. M. **Influência do Tipo de Emulsão Sobre o Escoamento e o Processo de Deposição Orgânica de Petróleos.** Boletim Técnico Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, 41 (3/4): pp. 153-159, jul./dez. 1998.
- RAMALHO, J. B. V. S.; OLIVEIRA, M. C. K. **Metodologia para Determinação da Distribuição de Gotas em Emulsões e Petróleo do Tipo Água-Óleo por Difração a Laser.** Boletim Técnico Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, 42(1/4): pp. 72-76, jan./dez. 1999.
- Ruelas-Leyva, J. P., Contreras-Andrade, I., Sarmiento-Sánchez, J. I., Licea-Claverie, A., Jiménez-Lam, S. A., Cristerna-Madrigal, Y. G., & Picos-Corrales, L. A. (2017). The effectiveness of *Moringa oleifera* seed flour and chitosan as coagulant-flocculants for water treatment. *Clean: Soil, Air, Water*, 45(8). <https://doi.org/10.1002/clen.201600339>
- SANTOS, Oliveira, L. de, Sousa, I. F. de, Silva, G. F. da, Barbosa, S. A., & Caetano, N. de S. (2024a). Analysis of the efficiency of different Oleaginous seeds and shells for use as natural coagulants. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 17(3), 1833–1847. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.3.p1833-1847>
- Santos, L. de O., Sousa, I. F. de, Silva, G. F. da, & Barbosa, S. A. (2023). Tecnologia social de tratamento de água utilizando FiME com biomassa de moringa oleífera e bucha vegetal. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(4), 1923–1937. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.4.p1923-1937>
- Santos, T. M., Pereira, D. F., Santana, C. R., & Silva, G. F. da. (2011). Estudo do tratamento físico químico da água produzida utilizando *Moringa oleifera* Lam em comparação ao sulfato de alumínio. *Exacta*, 9(3), 317–322. <https://doi.org/10.5585/exacta.v9i3.3073>
- SOUZA, Jôsy Suyane de Brito. S. (2023). *Tratamento de água produzida utilizando microemulsão formulada a partir de tensoativos de origem vegetal* [UFBA]. <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/37955>
- THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia do Petróleo. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência. RJ, 2001.
- VALVERDE, Karina Cardoso et al. Combined water treatment with extract of natural *Moringa oleifera* Lam and synthetic coagulant. *Revista Ambiente & Água* [online]. 2018, v. 13, n. 3, e 2135.
- Viotti, P. V., Moreira, W. M., Santos, O. A. A. dos, Bergamasco, R., Vieira, A. M. S., & Vieira, M. F. (2019). Diclofenac removal from water by adsorption on

- Moringa oleifera pods and activated carbon: Mechanism, kinetic and equilibrium study. *Journal of Cleaner Production*, 219, 809–817.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.129>
- Ueda Yamaguchi, N., Cusioli, L. F., Quesada, H. B., Camargo Ferreira, M. E., Fagundes-Klen, M. R., Salcedo Vieira, A. M., Gomes, R. G., Vieira, M. F., & Bergamasco, R. (2021). A review of Moringa oleifera seeds in water treatment: Trends and future challenges. *Process Safety and Environmental Protection : Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B*, 147, 405–420.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.044>

Anexo 3: Capítulo de livro publicado.

RELATO DE ATIVIDADE EXTENSIONISTA NO PROGRAMA FUTURAS CIENTISTAS: NOÇÕES BÁSICAS SOBRE SUSTENTABILIDADE, TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES

Amanda de Azevedo Gonçalves 1

Luam de Oliveira Santos 2

Juliana Souza Vieira 3

Samia Tássia Andrade Maciel 4

Joyce de Souza Ferreira 5

Lylian Maciel dos Anjos Lima 6

1 Introdução

Sobre o programa Futuras Cientistas:

O Futuras Cientistas é um programa desenvolvido pelo Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (Cetene) o qual, busca o estímulo ao contato de alunas e professoras, especificamente da rede pública de ensino, com áreas de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, contribuindo assim com a equidade de gênero no mercado profissional. Dados do próprio programa mostram que em 10 anos, 70% das suas participantes foram aprovadas no vestibular e destas, aproximadamente 80% escolheram cursos nas áreas de Ciências e Tecnologia. Desta forma, percebe-se que

o programa reduz barreiras para o acesso de meninas e mulheres nos espaços científicos. (Brasil, 2024).

O objetivo do programa é “Estimular o interesse e promover a participação de mulheres professoras e estudantes do ensino médio, nas áreas de Ciência e Tecnologia, através de sua aproximação a centros tecnológicos e instituições de ensino e pesquisa.” (Brasil, 2024).

Sobre o projeto:

Neste artigo, traz-se o relatório de uma vivência imersiva de uma estudante do ensino médio da rede pública de ensino, em laboratórios de Ciência e Tecnologia do Parque Tecnológico – SergipeTec. O projeto desenvolvido tem como tema, noções básicas sobre tratamento de água e efluente, onde, foi efetuado formas alternativas de tratamento de água que pudessem ser realizados pela estudante. Para isto, foram apresentados os conceitos de desenvolvimento sustentável, os objetivos de desenvolvimento sustentável da Agenda 2030, conceito de tecnologia social, além de apresentar-se uma tecnologia social de tratamento de água através de filtração lenta e uso de coagulantes naturais como método de clarificação da água.

A Agenda 2030 é um plano de ação global orientado pela Organização das Nações Unidas (ONU), que propõe 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) para erradicar a pobreza e promover vida digna a todos. Entre os quais, cabe destacar o ODS de número 6, que busca assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos. (ONU, 2016)

Em primeira análise, é importante compreender que o conceito de saneamento básico se expande para além do abastecimento de água, pois também abrange o esgotamento sanitário, a limpeza urbana e o manejo de resíduos e drenagem de água pluviais. O saneamento contribui para a erradicação da pobreza e da mortalidade infantil e aumenta o desempenho da sustentabilidade ambiental (ONU, 2016). No entanto, no Brasil, os indicadores de água (abastecimento e perda na rede de distribuição) e esgoto (rede coletora e tratamento) alertam a indiferença das políticas públicas e da sociedade para a melhoria das condições sanitárias de sua localidade.

A água doce e superficial nem sempre é adequada para consumo humano e atividades afins. Diante disso, as tecnologias sociais em saneamento vêm desenvolvendo técnicas ou metodologias de inclusão social em comunidades vulneráveis. (Santos et al., 2023). O conceito de tecnologia social se atrela ao conceito

social, econômico e ambiental. Esse conceito surge em 1930 por Gandhi com o objetivo de lutar contra o império britânico e a imposição de suas tecnologias massivas. (Dagnino, 2009, p. 10).

Entre diversos exemplos de tecnologias social, é relevante mencionar o projeto desenvolvido, como fruto do projeto de doutorado do professor Luam Santos, na comunidade de cidade de Santa Rita, em Nossa Senhora Aparecida, no estado de Sergipe, no qual a comunidade será beneficiada com o uso da moringa como coagulante para um pré-tratamento da água turva do Barreiro Trincheiro (Santos et al., 2023).

Após esse pré-tratamento de clarificação, a água pode ser tratada por diferentes processos. Um dos processos mais antigos, de baixo custo, fácil manuseio e manutenção é o processo de filtração lenta da água. Além disso, o uso da água pluvial tem sido incentivada por meio de ações públicas, como por exemplo o programa um milhão de cisternas do governo federal, com o intuito de tornar esta fonte de água melhor aproveitada. O consumo de águas oriundas da chuva é aplicada desde civilizações antigas, tais como o Egito, Roma e Peru, permanecendo até hoje como um dos principais meios de se adquirir água. Além disso, o seu uso beneficia o controle da drenagem, prevenção de enchentes e conservação de água. (Botelho, 1985; Fernandes, 2018)

A filtração em múltiplas etapas (FIME), se destaca por ser um sistema de simples manuseio e construção, com baixo custo de implementação e que dispensa o uso de instrumentação. Além disso, se destaca por ser uma tecnologia adequada às zonas rurais e grande parte dos pequenos municípios onde a coagulação química não se mostra como uma opção sustentável (Vieira et al., 2005; Veras; Di Bernardo, 2008).

O sistema de filtração em múltiplas etapas consiste na sequência do pré-filtro dinâmico, pré-filtro grosseiro, de pedregulho, que pode ser escoamento horizontal ou vertical ascendente ou descendente e o filtro lento (Vieira et al., 2005).

A água passa por sucessivas etapas de tratamento com progressiva remoção de substância sólidas. O princípio básico de cada etapa é melhorar a qualidade de seu efluente para que possa ser submetido ao tratamento posterior, sem sobrecarregá-lo (Di Bernardo; Brandão; Heller, 1999).

Dessa forma, o curso de Noções Básicas de Tratamento de Água e Efluentes do Programa Futuras Cientistas objetiva realizar uma abordagem teórica e laboratorial de algumas técnicas utilizadas para o tratamento da água e efluentes, a fim de

conscientizar e despertar o senso crítico das participantes sobre a temática e aflorar suas habilidades com pesquisa aplicada.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Durante o presente curso foram desenvolvidas diversas práticas sobre tratamento de água e efluentes. Em relação ao tratamento da água, realizou-se um pré-tratamento com coagulante natural à base de semente de *Moringa oleífera* LAM e a construção de filtros de garrafa PET para a purificação da água. Foi utilizado o Jar Test para quantificação do coagulante utilizado para o tratamento do efluente.

2.1. Pré-tratamento e construção de filtro para purificação da água

2.1.1. Materiais

A água utilizada nessa prática foi coletada no Barreiro Trincheiro da comunidade de Santa Rita, em Nossa Senhora Aparecida, conforme figura 1, com localização: latitude: -10,3335666; longitude: -37,5071187, usado pela população para irrigação e consumo de hidratação dos animais.

Figura 1. Água de barreiro Trincheiro da Comunidade de Santa Rita, no estado de Sergipe.



Para o preparo do coagulante natural de semente de MO utilizou-se liquidificador doméstico convencional para triturar as sementes de moringa, as quais foram utilizadas com casca e sem casca separadamente, e peneira doméstica de malha com abertura de 2,5 mm para peneiramento até a obtenção de uma farinha fina. Foi utilizado a balança de precisão, da marca Bel (Figura 2) para pesagem do coagulante, além de bequers, bastão de vidro e cronômetro para o processo de coagulação e floculação.

Figura 2. Balança de precisão para laboratório.



Em seguida, o filtro foi montado em garrafa pet, utilizando brita nº 2 e nº 1, areia grossa e fina, todos previamente esterilizados em estufa da marca Lucadema (Figura 3), a uma temperatura de 75°C durante 1h e 30 min.

Figura 3. Estufa de esterilização digital para laboratório.



O processo também incluiu a adição de carvão ativado, algodão e manta bidim. Adicionalmente, utilizou-se suporte universal para laboratório, anel de ferro com mufa e água sanitária, para esterilização. Após a filtragem, amostras de água foram levadas para análise da turbidez, através do turbidímetro, da Del Lab (Figura 4).

Figura 4. Turbidímetro para laboratório.



2.1.2. Procedimentos

O jar test já tinha sido efetuado anteriormente em pesquisas desenvolvidas pelo professor Luam Santos e foi identificado que a quantidade de coagulante natural a ser utilizado para esta água é de 1 grama de coagulante para 1 litro da água. Em seguida,

o coagulante foi adicionado a água, agitando-a rapidamente por 2 min, e depois agitando-a lentamente durante 10 min (Figura 5).

Figura 5. Agitação manual do coagulação na água e redução do índice de turbidez.



O processo de coagulação ocorre através da união de partículas através da adição de um coagulante, aumentando assim seu peso e favorecendo o processo de decantação reduzindo assim a turbidez da água. Esse pré-tratamento foi necessário para direcionar a água em estudo para a filtração lenta, com o objetivo de purificar a água.

As participantes construíram três filtros, em que todos continham brita de nº 1 e 2 e areia fina e grossa. Porém, o meio filtrante foi distinto em cada um deles. No primeiro, foi utilizado manta e carvão ativado; no segundo, algodão e semente da moringa triturada com casca; no terceiro algodão, semente da moringa triturada com casca e carvão ativado. Após a limpeza dos filtros com água da torneira, colocou-se a água pré-tratada. A eficiência de cada filtro foi avaliada por meio da análise da turbidez.

2.2. Jar test para tratamento de água dura

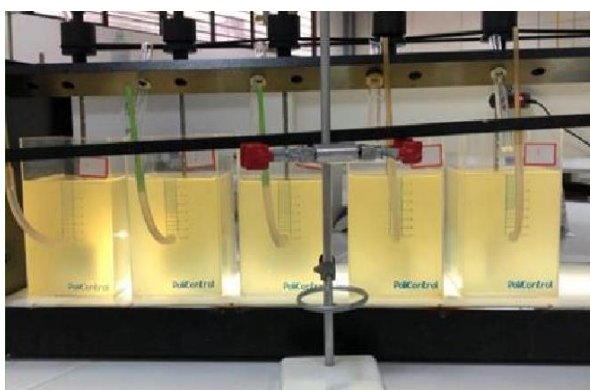
2.2.1. Materiais

A água dura sintética utilizada nessa prática foi a produzida em laboratório, definimos quimicamente como água dura aquela rica em carbono e magnésio (alto teor de minerais), equivalente à soma das concentrações de cátions. Na oficina experimental, utilizou-se o jar test da marca PoliControl, modelo FlocControl, no

Laboratório de Tecnologia Ambiental (LATAM), localizado no Núcleo de Petróleo e Gás (NUPEG) da Universidade Federal de Sergipe (Figura 6).

Este equipamento foi usado como método de determinação para avaliar o potencial do uso, associado ou não, de coagulante com coadjuvantes no processo de coagulação-floculação- sedimentação utilizado no efluente em estudo, conforme apresentado na Figura 6. Para tal, foram utilizados o sulfato de alumínio como coagulante e polieletrólitos catiônicos e aniônicos, como coadjuvantes.

Figura 6. Jar test utilizado na prática experimental, o equipamento da marca PoliControl, modelo FlocControl, no Laboratório de Tecnologia Ambiental (LATAM), localizado no Núcleo de Petróleo e Gás (NUPEG) da Universidade Federal de Sergipe



2.2.2. Procedimentos

O preparo da solução de sulfato de alumínio com concentração de 2% (2g/100 mL) foi iniciado com a pesagem de 1,0 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. A massa aferida foi transferida para um balão volumétrico de 50 mL em que foi adicionado o volume com água destilada até o menisco. Em sequência, a solução foi submetida a agitação manual para garantir completa homogeneização e armazenada em frasco com tampa para evitar contaminação externa.

Para o preparo das soluções de polieletrólitos catiônico e aniônico com concentração de 2% (2 g/100 mL) foram depositados 0,5 g de cada polieletrólito em béqueres de 50 mL aos quais foram transferidos para balões de 25 mL e adicionados água destilada. As soluções foram agitadas manualmente de modo que a solução apresente homogeneização completa e armazenadas em frascos com tampa para evitar contaminação externa, conforme apresentadas na Figura 7.

Figura 7. Soluções utilizadas no procedimento, sulfato de alumínio, polieletrólitos aniônicos e polieletrólitos catiônicos.



Para o preparo da água dura sintética foi depositado em um béquer 2,22 g de Ca(OH)_2 para ser diluído em 10 L de água. A solução foi agitada manualmente de modo que a solução apresentasse homogeneização completa, conforme ilustrado na Figura 8. A solução homogeneizada foi transferida para recipientes de 5 L onde foram armazenadas. Após preparar o efluente, foi realizada a leitura do pH no peagâmetro para verificar se a solução estava básica, conforme apresentada na Figura 9.

Figura 8. Água dura sintética após o processo de diluição da água em 10 L de água.



Figura 9. PHmetro utilizado para realizar a leitura do pH verificando assim que solução é básica (pH=11,78).

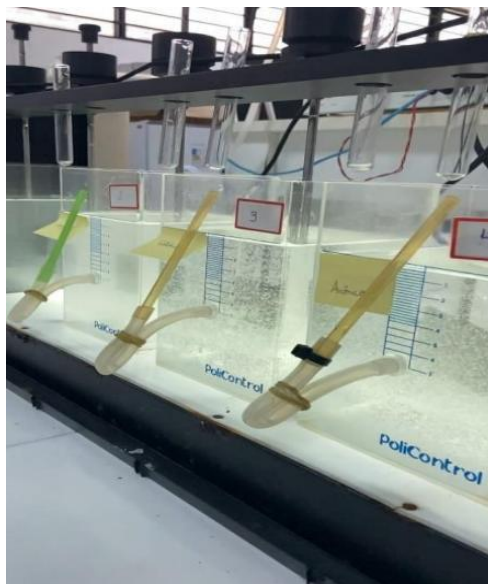


Ao finalizar o preparo das soluções e do efluente, foi realizado o experimento de coagulação-floculação-sedimentação no jar test. O equipamento é composto por seis provas, sendo que, para cada jarro, são necessários 2 L do efluente. Para o experimento, foram utilizados apenas quatro jarros: Jarro 1: Efluente bruto; Jarro 2: Efluente + Coagulante; Jarro 3: Efluente + Coagulante + Coadjuvante Catiônico; e Jarro 4: Efluente + Coagulante + Coadjuvante Aniônico.

Com o auxílio de uma proveta graduada de 1000 mL, adicionou-se um volume de 2 litros do efluente bruto a cada um dos jarros. O sistema de jarro foi agitado a uma velocidade, aproximadamente de 115 rpm durante 30 segundos para garantir a homogeneização da amostra e, mantendo a velocidade constante, foi adicionado 2 mL do agente coagulante (sulfato de alumínio) em todos as provas, permanecendo sob agitação por 1 minuto para simular etapa de mistura rápida (coagulação).

A etapa de agitação rápida é necessária para que haja a união das partículas e, consequentemente, promova a formação dos flocos. Em seguida, a velocidade de agitação foi reduzida para 30 rpm, neste momento foram adicionados os coadjuvantes ($V=2$ mL) por um período de 10 minutos, simulando a etapa de floculação (etapa de mistura lenta). A etapa de mistura lenta é essencial para que os flocos depois de formados não se desprendam. Após o período de mistura lenta, a agitação foi desligada e o sistema permaneceu sob repouso durante 1 hora, simulando a etapa de sedimentação. Ao término da etapa de sedimentação, foi avaliado visualmente qual teste promoveu o melhor resultado, conforme Figura 10.

Figura 10. Sistema de Jarro na etapa de mistura, Jarro 2 (água com efluente), Jarro 3 (água com polieletrólito catiônico) e Jarro 4 (água com polieletrólito aniônico).

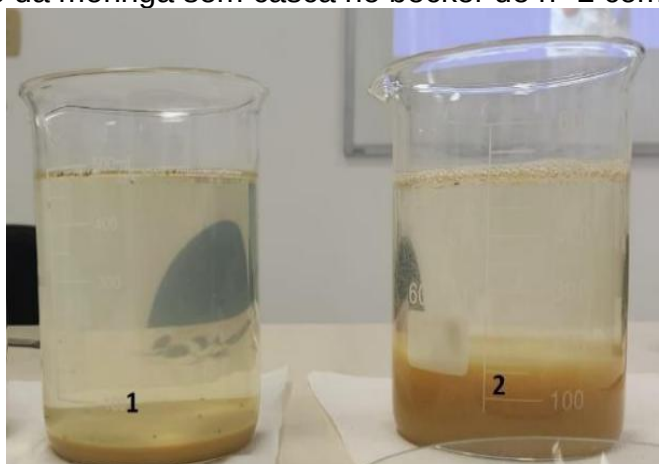


3 Resultados e discussões

3.1 Pré-tratamento e construção de filtro para purificação da água

Ao realizar o pré-tratamento da água bruta, observou-se que a semente da moringa sem casca apresentou uma coagulação das partículas mais rápida e eficiente em comparação com a semente da moringa com casca, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11. Coagulação da água bruta utilizando semente da moringa com casca no becker nº 1 e semente da moringa sem casca no becker de nº 2 como coagulantes.



A Figura 11 mostra a eficiência da semente da moringa sem casca como coagulante, devido a maior espessura das partículas sedimentadas no fundo do

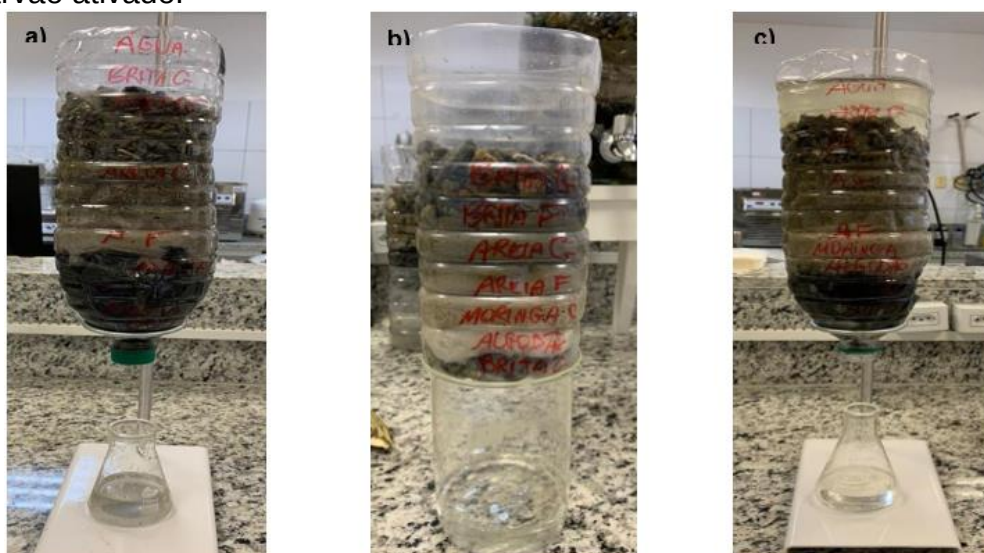
becker de nº 2. Isso resulta em uma fase líquida sobre o sedimento com uma quantidade reduzida de partículas em suspensão, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Análise da Turbidez da água bruta e após o pré-tratamento com coagulantes.

	Água bruta	Coagulada com MO com casca	Coagulada com MO sem casca
	1525	23,9	14,7
	1525	24,2	14,7
	1520	24,3	14,7
	1520	24,3	14,7
Média e Desvio Padrão	1522,50±2,89	24,17±0,19	14,70±0,00

A Tabela 1 mostra a redução significativa da turbidez da água bruta ao utilizar sementes da moringa sem casca, destacando sua eficácia em comparação com o uso das sementes da moringa com casca. Após essa etapa, os filtros foram construídos conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Todos os filtros contém dois tipos de brita com granulometria distinta, além de areia fina e grossa. Os meios filtrantes de cada filtro são compostos por: a) manta e carvão b) algodão e moringa triturada com casca; c) algodão, moringa triturada com casca e carvão ativado.



Após a montagem, os filtros da Figura 12 foram lavados com água da torneira até que a contribuição dos elementos filtrantes no aumento da turbidez fosse mínima. Posteriormente, em cada filtro, foi adicionada água pré- tratada com moringa. A água

filtrada pelo método de filtragem lenta foi coletada (Figura 13) e encaminhada para análise da turbidez.

Figura 13 - Água pré-tratada com moringa, sem e com casca, após o processo de filtragem lenta utilizando os três filtros.



Através das amostras ilustradas na Figura 13, observa-se a eficiência dos filtros no processo de purificação da água. Para verificar qual filtro foi mais eficiente, mediu-se a turbidez de cada amostra, conforme os dados descritos nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Análise da Turbidez da água tratada com semente de MO sem casca, após sua filtragem.

	Água pré-tratada MO sem casca	Manta e Carvão Ativado	Algodão e MO com casca	Algodão, carvão e MO com casca
	14,7	15,2	12,6	27
	14,7	15,3	12,5	27,2
	14,7	15,3	12,5	27,2
	14,7	15,2	12,5	27,3
Média e desvio padrão	14,70±0,00	15,25±0,06	12,52 ±0,05	27,17±0,13

A média e o desvio padrão apresentados na Tabela 2 mostram que a filtração da água pelo elemento filtrante utilizando somente algodão e semente da moringa triturada com casca foi mais eficiente em comparação com os demais filtros. Isso se dá devido ao filtro que não contém partículas de carvão ativado precisar de uma quantidade de lavagem maior para reduzir a contribuição deste elemento no aumento da turbidez da água, porém, vale salientar a importância do mesmo no auxílio à redução da quantidade de microorganismos presentes na água.

Tabela 3. Análise da Turbidez da água tratada com semente de MO com casca, após sua filtração.

	Água pré-tratada MO com casca	Algodão e MO com casca	Manta e Carvão Ativado
	23,9	20,6	42,3
	24,2	20,8	42,4
	24,3	20,7	42,4
	24,3	20,7	42,4
Média e desvio padrão	24,17±0,19	20,7±0,08	42,37±0,05

A Tabela 3 demonstra que houve maior eficiência de filtração no filtro com elemento filtrante somente contendo algodão e semente de moringa com casca.

Verificou-se que, o filtro contendo manta e carvão ativado aumentou a turbidez da água, assim como ocorreu nos dados da Tabela 2. Isso ocorre pelo mesmo motivo da dificuldade na lavagem deste filtro que estava com uma vazão muito lenta, além de necessitar de uma maior lavagem para reduzir a contribuição do carvão ativado no aumento da turbidez da água.

3.2 Jar test para tratamento de água dura

A coagulação envolve reações e interações responsáveis pela agregação de partículas na faixa coloidal, promovendo a aglutinação das partículas. A aglutinação vai depender do tipo e da concentração do coagulante utilizado. Os coadjuvantes permitem que os flocos possuam uma maior densidade e resistência, contribuindo positivamente na velocidade de sedimentação dos flocos. Os coadjuvantes são

polímeros naturais (fécula gelatinizada) ou sintéticos (polieletrólitos aniônicos e catiônicos).

Durante a oficina experimental, foi observado que o processo de floculação do recipiente que continha água dura com polieletrólito catiônico realizou a atividade com maior agilidade do que os outros recipientes, chegando à conclusão de que a água dura tinha maior concentração de íons negativos. Além disso, no processo de decantação foi possível a observação das partículas se agrupando em conglomerados maiores. Observa-se que, em meio aniônico ocorreu menor floculação em relação ao meio catiônico, conforme ilustrado na Figura 14 e figura 16.

Figura 14. Jarra após o processo de floculação em meio aniônico e catiônico.



Referente ao pH do efluente, o mesmo foi verificado para que fosse indicado a condição da água, se esta estava básica ou até mesmo ácida. O resultado encontrado foi que o efluente apresentou um pH equivalente a 11,78 como observado na figura 15 abaixo, ou seja, o efluente é básico.

Figura 15. Peagâmetro apresentando resultado do efluente básico (11,78).



Figura 16. Processo de decantação das Jarras.



4 Conclusões ou Considerações finais

Diante do exposto, percebe-se, a imersão da estudante no ambiente de pesquisa, mais especificadamente neste projeto, no ambiente de pesquisa em tratamento de água e tratamentos alternativos de água como tecnologia social, trouxe clareza, ampliou o seu conhecimento e despertou o seu senso crítico. Mostrando assim a importância desses projetos de extensão nas escolas públicas de ensino médio e fundamental para despertar o interesse dos estudantes por pesquisas, aumentando por consequência seu interesse em ingressar no ensino superior.

Além disso, durante as práticas laboratoriais, verificou-se a eficácia na redução da turbidez da água bruta por meio do coagulante natural de semente da moringa e a eficiência da tecnologia social de filtração lenta utilizando o filtro de garrafa PET com elemento filtrante de algodão e semente da moringa triturada com casca para a purificação da água, sendo este sistema de fácil montagem e execução, podendo ser replicado em comunidades e nas escolas, para o compartilhamento do conhecimento com outros estudantes. Durante os experimentos do tratamento da água dura utilizando jar test, também foi possível observar um experimento de cunho mais acadêmico e científico, onde observou-se maior eficiência do coagulante sulfato de alumínio em meio coadjuvante catiônico, devido ao maior quantitativo de impurezas aniônicas decantadas.

RELATO DE EXPERIÊNCIA DA ESTUDANTE (Juliana Souza Vieira)

A ciência transforma vidas. Uma dessas vidas foi a minha. O Programa

Futuras Cientistas abrange muito mais do que oportunidades, é mais uma chance de se descobrir. Por muito tempo, tive medo de demonstrar aquilo que mais gosto de fazer: questionar e querer respostas.

Durante a Imersão Científica, tive contato com pessoas que demonstraram em cada situação sua paixão pela área escolhida, contavam suas experiências e trajetórias na vida acadêmica, partilhamos conhecimento, mesmo que sobre determinado assunto o meu saber fosse mínimo. Nas aulas práticas, pudemos conhecer novas técnicas de tratamento de água e efluentes, instrumentos, materiais e equipamentos.

Na prática laboratorial da construção do filtro para purificação da água, ministrada pelo professor Luam Santos, pude aprofundar mais no conceito de TECNOLOGIA SOCIAL, conhecer materiais utilizados para construção do filtro, destaque especial para o uso da Moringa como agente coagulante principal, e como se constrói o sistema de filtragem. Além disso, foi demonstrado como se calcula turbidez (conceito do qual não tinha conhecimento amplo) e cor aparente da água.

É imprescindível, deixar de citar as palestras as quais presenciei, tratamento de águas pluviais, uso do biocarvão para tratamento de efluentes industriais e de esgoto, água produzida de petróleo e tratamento de água no estado de Sergipe. Nessas palestras, pudemos conhecer novos conceitos, novas metodologias, novos dados e até mesmo novas emblemáticas.

A utilização do jar test da Universidade Federal de Sergipe (UFS) para o processo de floculação da água dura (água produzida de petróleo), prática na qual foi orientada pela professora Samia Maciel, despertou encantamento e curiosidades nas participantes, isso porque percebemos a importância de analisar profundamente o tipo de produto (água) a qual estamos trabalhando e também o amparo tecnológico.

Com isso, toda pessoa deveria conhecer sobre o Programa Futuras Cientistas mas toda mulher deveria ser uma Futura Cientista, a maior experiência vivida em minha vida acadêmica e que marca o começo de minha trajetória na ciência.

Parcerias

Este trabalho é fruto de pesquisa de Doutorado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (PRODEMA) da

Universidade Federal de Sergipe (UFS) e contou com a parceria com o Instituto Federal de Sergipe (IFS) e o Parque Tecnológico SergipeTec.

Referências

BOTELHO, M. H. C. - **Águas de chuva - Engenharia das Águas de Chuva nas Cidades**, Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1985.

BRASIL, MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste – CETENE, **Programa Futuras Cientistas**, Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cetene/pt-br/areas-de-atuacao/futuras-cientistas>. Acesso em: 25 abr. 2024

Dagnino, R. P. (org.). (2010). **Tecnologia social: ferramenta para construir outra sociedade**. 2 ed. Campinas, SP: Komedi. Disponível em: <http://bit.ly/326Bz9I>

Di bernardo, L.; Brandão, C. C. S.; Heller, L. **Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/aguas_de_abastecimento.pdf. Acesso: 22 mai. 2022

FERNANDES, Carlos. **HISTÓRIA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM PLUVIAL**. 2018. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/hist%C3%B3ria-dos-sistemas-de-drenagem-pluvial-carfermed-pb>. Acesso em: 08 maio 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. A/RES/70/1: **TRANSFORMANDO NOSSO MUNDO: A AGENDA 2030 PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. Brasil: N.I, 2016. 54 p. Disponível em: https://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf. Acesso em: 26 maio 2022.

SANTOS, Luam de Oliveira et al. Análise de eficiência de filtração de água por múltiplas etapas vs múltiplas camadas com biomassa de moringa oleífera e bucha vegetal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 16, n. 4, p. 2184-2196, 24

jul. 2023. Revista Brasileira de Geografia Física.
<http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v16.4.p2184-2196>.

Veras, LRV, & Di Bernardo, L. (2008b). **Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas - FIME**. Engenharia Sanitária E Ambiental, 13 (1), 109–116. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522008000100014>. Acesso: 13 abr. 2022.

Vieira, M.E.A.G.; de Siqueira, E.Q.; Brandão, C.C.S.; Campos, L.C. Avaliação da Filtração em Múltiplas Etapas para Remoção de Turbidez de Águas Superficiais. In: **CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG - CONPEEX, 2.**, 2005, Goiânia. Anais eletrônicos do XIII Seminário de Iniciação Científica [CD-ROM], Goiânia: UFG, 2005. n.p. Disponível em: https://projetos.extras.ufg.br/conpeex/2005/porta_arquivos/outras/MariaEulinaAiresGon%C3%A7alvesVieira_Filtra%C3%A7%C3%A3oemM%C3%BAltiplasEtapasparaRemo%C3%A7%C3%A3odeTurbidezde%C3%81guas_494.pdf. Acesso: 3 set. 2022.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES, ao CNPQ e a CETENE pela disponibilização de recursos para desenvolvimento do projeto de extensão, agradecemos também ao SergipeTec e ao IFS pela disponibilização dos laboratórios e profissionais para desenvolvimento das atividades.

ANEXOS – REGISTROS FOTOGRÁFICOS

Figura 17. As participantes Juliana Souza, Joyce Ferreira e Lylian Maciel, e a orientadora Amanda Gonçalves na palestra introdutória sobre Noções Gerais de Tratamento de Água e Efluentes, no SergipeTec.



Figura 18. Juliana Souza realizando a montagem do filtro lento com brita nº 2 e pedregulho, areia grossa e fina, carvão ativado e manta, no laboratório de físico-química, no SergipeTec.



Figura 19 – Decantação utilizando moringa como agente coagulante.



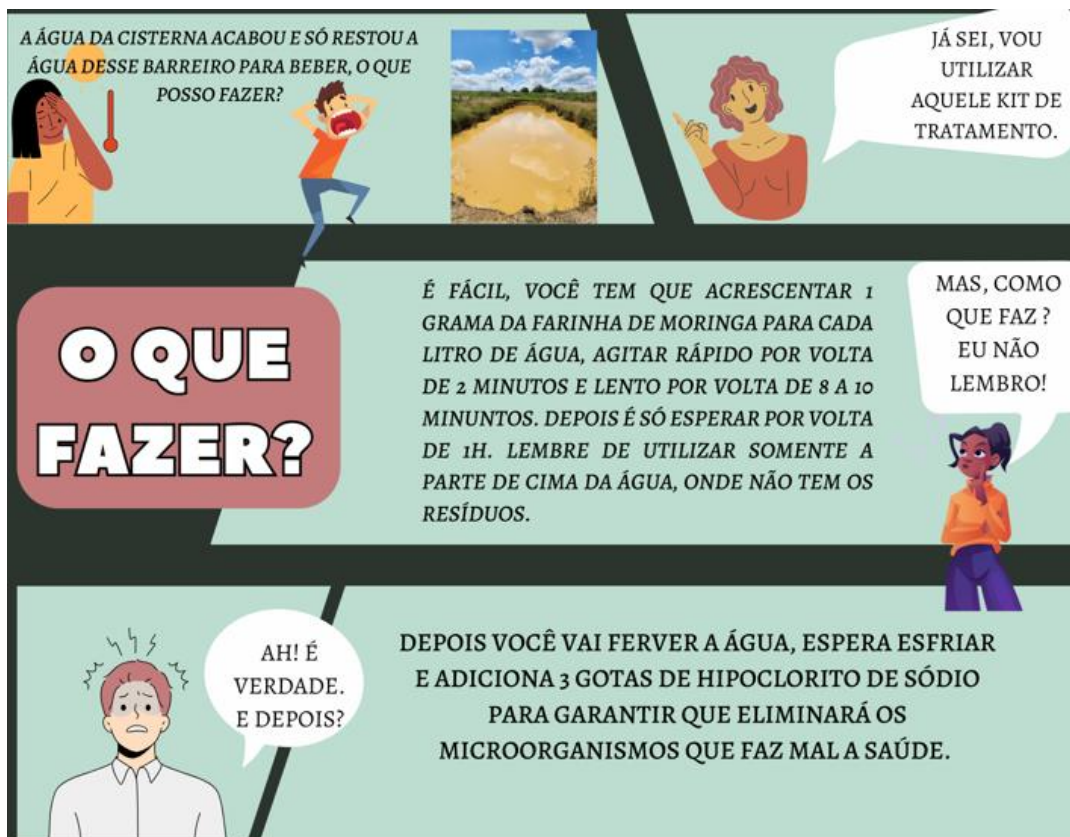
Figura 20 – Filtro para purificação da água com carvão ativado, moringa e algodão.



Figura 23 – As participantes, Juliana Souza, Joyce Ferreira e Lylian Maciel, e a orientadora Amanda Gonçalves com o palestrante Luam Santos, no laboratório de físico-química do SergipeTec.



Anexo 4: Cartilha.



O preparo é fácil, você vai descascar a semente da MO até ficar somente a parte branca. Depois você tritura a semente no liquidificador e peneira até ficar uma farinha de sementes.



Aí você vai utilizar a quantidade indicada e da forma que foi ensinada. geralmente de 0,5 a 1 grama por litro, mexendo 2 minutos rápido e 10 minutos lento, esperando 1 hora para decantar.

Mas lembre-se, você só pode utilizar a parte de cima, sem usar os resíduos que fica em baixo.



Então agora eu já posso beber?

FIQUE ATENTO!

Não não, essa água ainda não pode ser consumida, para isso, você deve desinfetar ela com hipoclorito de sódio, fervendo ou combinando os dois e depois, de preferência, filtre utilizando seu filtro de barro.

Muito obrigado, vou fazer isso agora.

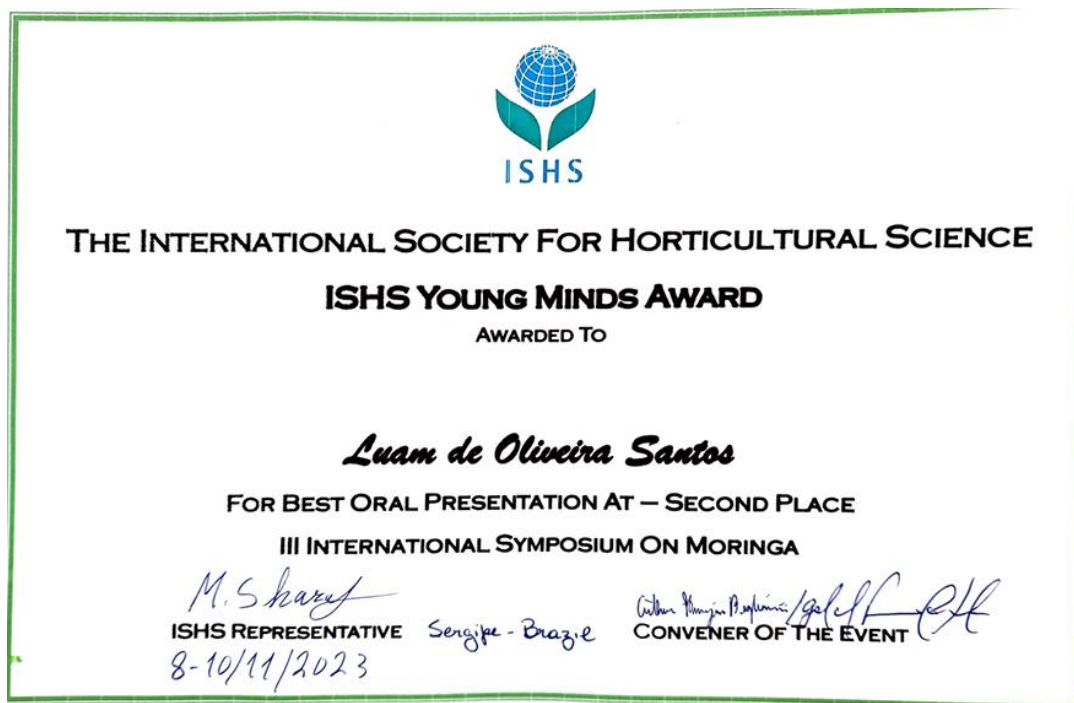


Lembre-se que ao ferver a água ou usar o hipoclorito de sódio você ajudar a eliminar os microrganismos que fazem mal a saúde, por isso que esse passo é tão importante. E qualquer dúvida pode telefonar para os professores do IFS que nos ajudam. O telefone está no final da cartilha.

Luam: (79) 9 8114-1224

Anexo 5: Premiações.

Prêmio de 2ª melhor apresentação no III Simpósio Internacional de Moringa.



Prêmio de melhor artigo da SEMEXT 2024.

