

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MICROBIOLOGIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO

**COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENTRE MÉTODOS
ALTERNATIVOS DE BAIXO CUSTO PARA O TRATAMENTO DA
ÁGUA: SEMENTE DE *MORINGA OLEIFERA*; *CEREUS*
JAMACARU E *OPUNTIA COCHENILLIFERA*, ASSOCIADOS À
RADIAÇÃO SOLAR.**

DANUZA DAS VIRGENS LIMA

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

JANEIRO - 2021

**COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENTRE MÉTODOS
ALTERNATIVOS DE BAIXO CUSTO PARA O TRATAMENTO DA
ÁGUA: SEMENTE DE *MORINGA OLEIFERA*; *CEREUS JAMACARU*
E *OPUNTIA COCHENILLIFERA* ASSOCIADOS À RADIAÇÃO**

DANUZA DAS VIRGENS LIMA

Médica Veterinária

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2018.

Dissertação submetida ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Embrapa Mandioca e Fruticultura, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Microbiologia Agrícola.

Orientador: Ludmilla
Santana Soares e Barros

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

JANEIRO - 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

L732c	<p>Lima, Danuza das Virgens. Comparação da eficiência entre métodos alternativos de baixo custo para o tratamento da água: semente de <i>Moringa oleifera</i>; <i>Cereus jamacaru</i> e <i>Opuntia cochenillifera</i>, associados à radiação solar / Danuza das Virgens Lima._ Cruz das Almas, Bahia, 2021. 80f.; il.</p> <p>Orientadora: Ludmilla Santana Soares e Barros.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Microbiologia Agrícola.</p> <p>1.Água – Uso – Tratamento. 2.Água – Biopolímeros – Controle de qualidade. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 628.16</p>
-------	--

Ficha elaborada pela Biblioteca Central de Cruz das Almas - UFRB.
Responsável pela Elaboração - Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).
(os dados para catalogação foram enviados pelo usuário via formulário eletrônico).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MICROBIOLOGIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO

COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
DANUZA DAS VIRGENS LIMA

Ludmilla Santana Soares e Barros
Ludmilla Santana Soares e Barros

Dra. Ludmilla Santana Soares e Barros
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Isabella de Matos Mendes da Silva

Dra. Isabella de Matos Mendes da Silva
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Ricardo Mendes da Silva

Dr. Ricardo Mendes da Silva
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

“Dissertação homologada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola em _____ conferindo o grau de Mestre em Microbiologia Agrícola em _____.”

1. DEDICATÓRIA

“Aos meus pais José Luiz (In memoriam) e Rosilda, por todo amor e incentivo”

2. AGRADECIMENTOS

Obrigado Deus por ter direcionado meu caminho, por me dar força e determinação para ir além. “Obrigado Deus por ser bom o tempo todo”.

Agradeço a minha família por todo apoio e carinho, em especial a minha mãe Rosilda Lima, meus irmãos (Leide, Paty, Dene, Vam) e sobrinhos (Maicon, Leidson, Alana e Layla).

Agradeço em especial ao meu pai José Luiz Ferreira de Lima (*in memoriam*) por nos ensinar que o melhor caminho para vencer é através dos estudos.

Agradeço ao meu namorado (Valdinei Capelão), por todo incentivo, ensinamentos, apoio e sobretudo pela amizade. É com muito carinho que escrevo tal agradecimento.

Agradeço a Crisnanda, Daniela Velame, Lucas, Gilson, João Marcos, Adriana, Marcel e Zalmar Santana por toda ajuda e contribuição para a realização deste trabalho.

Agradeço a UFRB pela oportunidade dada, aos meus professores por contribuir para minha formação pessoal e profissional. Agradeço também aos técnicos administrativos, técnicos de laboratórios e terceirizados.

A minha orientadora, Ludmilla Santana Soares e Barros, por todo apoio, ensinamentos passados, sempre me direcionando a fazer o melhor.

Agradeço a CAPES, por todo apoio e incentivo a pesquisa, tal contribuição é de extrema importância para a conclusão deste sonho.

Obrigada a todos

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1	<i>Moringa oleífera</i> : Árvore, flor e semente.....	41
Figura 2	<i>Cereus jamacaru</i> : cacto, flor e fruto.....	43
Figura 3	<i>Opuntia cochenillifera</i> : cacto e fruto.....	45

LISTA DAS TABELAS

CAPITULO I

Tabela 1	Transmissão, doenças, agentes patogênicos de doenças relacionadas com a inadequação do abastecimento e uso de água.....	25
Tabela 2	Padrões microbiológicos de potabilidade da água para consumo humano.....	29

CAPITULO II

Tabela 1	Proporções de Moringa oleifera (Moringa), Cereus jamacaru (Mandacaru), Opuntia cochenillifera (Palma) utilizados nos ensaios: Semente (S), Gramas (g).....	67
Tabela 2	Parâmetros físico-químicos empregados na caracterização das amostras de água bruta e seus respectivos equipamentos.....	69
Tabela 3	Teste de médias e coeficiente de variação (C.V.) para análise microbiológica da água sob tratamento alternativo com MANDACARU, MORINGA, PALMA, Tratamento controle- (ABcole), água bruta, em dois tempos diferentes (T0- antes de expor ao sol e T1- após expor ao sol) para a coleta 1.....	70
Tabela 4	Teste de média e coeficiente de variação (C.V.) para análise microbiológica da água sob tratamento alternativo com MANDACARU, MORINGA, PALMA, Tratamento controle- (ABcole), água bruta, em dois tempos diferentes (T0- antes de expor ao sol e T1- após expor ao sol) para a coleta 2.....	71
Tabela 5	Teste de média e coeficiente de variação (C.V.) para análise físico-química da água sob tratamento alternativo com MANDACARU, MORINGA, PALMA, Tratamento controle- (ABcole), água bruta, em dois tempos diferentes (T0- antes de expor ao sol T1- após expor ao sol) para a coleta 1.....	72

Tabela 6	Teste de média e coeficiente de variação (C.V.) para análise físico-química da água sob tratamento alternativo com MANDACARU, MORINGA, PALMA, Tratamento controle- (ABcole), água bruta, em dois tempos diferentes (T0- antes de expor ao sol T1- após expor ao sol) para a coleta 2.....	73
-----------------	---	----

LISTA DE QUADROS

CAPITULO I

Quadro 1	Etapas Tratamento convencional da água.....	37
Quadro 2	Vantagens e limitações do sistema SODIS.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCAAB- Centro de Ciências Agrárias, Ambiental e Biológicas.

DCJ - Doença de Creutzfeldt-Jakob

DBPs - Subprodutos da Desinfecção

DTHA - Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar

EAWAG- Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology

EBCO- Extrato Bruto do Córtex

EBLE- Extrato Bruto Etanólico do Lenho

E. Coli - *Escherichia coli*

ESP - Evento de Saúde Pública

ETA- Estação de Tratamento de Água

ETENE- Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste

GM - Gabinete do Ministro/MS

IN055 - Índice de atendimento total de água

IN023 - Índice de atendimento urbano de água

L – Litros

MS - Ministério da Saúde

NDMA- N-nitrosodimetilamina

NMP- Número Mais Prováveis

NOM- Matéria Orgânica Natural

NTU- Unidade nefelométrica de turbidez

OD - Oxigênio Dissolvido

OMS - Organização Mundial de Saúde

ONU - Organização das Nações Unidas

ONPG- Orto-nitrofenil- β -galactosídeo

PCA- Agar Count Plate

PET- Polietileno Tereftalato

pH - Potencial hidrogeniônico

RDC - Resolução da Diretoria Colegiada

spp – Espécies

SPO- Sub-produto da oxidação com cloro

SODIS - Desinfecção Solar da Água

SVS - Secretaria de Vigilância em Saúde/MS

UV- Ultra Violeta

UFRB- Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

VMP- Valor Máximo Permitido

ÍNDICE

RESUMO.....	15
ABSTRACT.....	16
INTRODUÇÃO.....	17
CAPÍTULO I.....	19
RESUMO.....	20
ABSTRACT.....	22
1. Recursos hídricos.....	23
2. Doenças de Veiculação Hídrica (DVH).....	24
3. Padrões de Potabilidade da água.....	28
3.1 Parâmetros físico-químicos.....	30
3.1.1 Turbidez:.....	30
3.1.2 Potencial hidrogeniônico (pH):.....	31
3.1.3 Cor:.....	31
3.1.4 Oxigênio Dissolvido (OD):.....	31
3.2 Parâmetros microbiológicos.....	32
3.2.1 Coliformes Totais e <i>Escherichia coli</i>	32
3.2.2 Contagem de bactérias heterotróficas: micro-organismos mesófilos.....	33
4. Tecnologias de tratamento da água.....	34
4.1 História do Desenvolvimento do Tratamento de Água.....	34
4.2 Sistema de tratamento convencional.....	37
4.3 Tratamentos Alternativos.....	39
5. Desinfecção solar da água (SODIS).....	46
5.1 O método SODIS.....	46
REFERÊNCIAS.....	49
CAPÍTULO 2.....	63
RESUMO.....	64
ABSTRACT.....	64
INTRODUÇÃO.....	65
METODOLOGIA.....	67
RESULTADOS.....	69
DISCUSSÃO.....	74
CONCLUSÕES.....	75
REFERÊNCIAS.....	76

RESUMO

Lima, D.V. Comparação da eficiência entre métodos alternativos para o tratamento de água de baixo custo: semente de *Moringa oleifera*, *Cacto Opuntia cochenillifera* e *Cereus jamacaru* associados à radiação solar.

Frente à crise hídrica atual, as pesquisas com coagulantes de fontes naturais, têm mostrado resultados promissores, tornando-se uma alternativa viável para substituição dos convencionais coagulantes utilizados no tratamento da água. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de polímeros de semente de *Moringa oleifera*, *Cacto Opuntia cochenillifera* (palma) e *Cereus jamacaru* (mandacaru), associados à radiação solar, como métodos alternativos e de baixo custo para o tratamento de água. Foram coletadas amostras em dias distintos, sendo retirado 36L de água bruta, em cada coleta. Para a análise microbiológica foi realizada a contagem de coliformes totais e *Escherichia coli* e a contagem de micro-organismos aeróbios mesófilos. Realizou-se também a análise física e química da água (pH (Potencial hidrogeniônico), cor, turbidez, OD (Oxigênio Dissolvido) e temperatura). Os resultados das análises microbiológicas foram comparados, com a Portaria de Consolidação n. 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde, que determina padrões físico-químicos e microbiológicos em água. Na coleta 1 a moringa após ser exposta ao sol, mostrou-se mais eficiente no controle de micro-organismos mesófilos. O mandacaru de destacou com desempenho satisfatório nas duas coletas no controle de *E. coli*. Nos parâmetros físico-químicos a Palma foi a espécie vegetal que em geral apresentou melhor desempenho na diminuição da cor e turbidez das amostras. Concluímos que os polímeros foram eficientes no controle de características microbiológicas e físico-químicas da água. Entretanto nestas condições, os níveis alcançados não foram suficientes para atender os parâmetros de qualidade estabelecidos pela legislação vigente. Deste modo, recomenda-se outros estudos para o aperfeiçoamento da técnica.

Palavras-chave: Coagulante natural. Tratamento alternativo. Qualidade da água. Microbiologia.

ABSTRACT

In the face of the current water crisis, research on coagulants from natural sources has shown promising results, making it a viable alternative to replace the conventional coagulants used in water treatment. The objective of this study was to evaluate the efficiency of seed polymers of *Moringa oleifera*, *Cactus Opuntia cochenillifera* (palm) and *Cereus jamacaru* (mandacaru), associated with solar radiation, as alternative and low cost methods for water treatment. Samples were collected on different days, with 36L of raw water removed in each collection. For the microbiological analysis, the count of total coliforms and *Escherichia coli* and the count of aerobic mesophilic microorganisms were performed. The physical and chemical analysis of the water (pH (hydrogen potential), color, turbidity, OD (dissolved oxygen) and temperature) was also carried out. The results of the microbiological analyzes were compared, with Consolidation Ordinance n. 5, of September 28, 2017 from the Ministry of Health, which determines physico-chemical and microbiological standards in water. In collection 1, the moringa after being exposed to the sun, proved to be more efficient in controlling mesophilic microorganisms. The mandacaru stood out with satisfactory performance in the two collections in the control of *E. coli*. In the physical-chemical parameters, Palma was the plant species that in general showed the best performance in decreasing the color and turbidity of the samples. We concluded that the polymers were efficient in controlling the microbiological and physicochemical characteristics of the water. However, under these conditions, the levels achieved were not sufficient to meet the quality parameters established by current legislation. Therefore, further studies are recommended to improve the technique.

Keywords: Natural coagulant. Alternative treatment. Water quality. Microbiology.

INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais de maior importância a manutenção da vida na terra. Entretanto, esse recurso vem se tornando uma preocupação a nível mundial, isso porque devido ao mal-uso da água, sua qualidade e quantidade tem sido afetada, fazendo com que as reservas de água em condições para consumo diminuam ano a ano (BACCI, 2008; BARBOSA, 2018; DE BRITO, 2018).

Essa problemática, gera uma crise socioambiental e é um dos maiores desafios deste século. Em 2019, a ONU (Organização das Nações Unidas) concluiu que 2,2 bilhões de pessoas no mundo não tinha acesso à água potável e que este fato estava relacionado a 80% das doenças e mortes nos países em desenvolvimento. Segundo estimativas da ONU, em 2025, 3 bilhões de pessoas sofrerão com a escassez de água (ALBUQUERQUE, 2007; BACCI, 2008; ANA, 2019; ONU, 2019).

As Doenças de Veiculação Hídrica (DVA) são as maiores consequências da falta de saneamento. O contato com uma água contaminada oferece risco a saúde da população. Tal contaminação pode ocorrer pela presença de agentes físico (resíduos sólidos), químicos (substâncias e compostos químicos) e biológicos (micro-organismos patogênicos). No Brasil de 2009 a 2018, a água foi responsável por 21,1% dos surtos de DVA (MOURA; LANDAU; FERREIRA, 2016; INSTITUTO TRATA BRASIL, 2019).

Os surtos de DVA estacam-se entre os eventos de saúde pública, pois ocorre de forma explosiva (alto poder de propagação em pouco tempo), apresentando casos graves e que podem levar a óbitos. A adoção de práticas de saneamento é a medida mais efetiva para a prevenção de diversas DVA. Nos últimos 30 anos, várias tecnologias de tratamento da água foram aperfeiçoadas, novos parâmetros para avaliação da qualidade foram agregados e novas tecnologias de tratamento surgiram (CRITTENDEN, 2005; MIRANDA, 2007; BICUDO; TUNDISI; SCHEUENSTUHL, 2010; DUARTE, 2011; BRASIL, 2018b; VIEIRA; 2020).

Dentre as novas tecnologias, o estudo com polímeros de fontes naturais, tem destaque, essa tecnologia pode ser utilizada de forma individual ou como auxiliar juntamente com sais coagulantes convencionais, ou associado com outras técnicas

alternativas para o tratamento da água. As fontes dos polímeros naturais são diversas, estes podem ser obtidos de bactérias, fungos, animais ou plantas e são classificados quanto as características químicas, como polissacarídeo amino-polissacarídeo, polifenóis e substâncias baseadas em proteínas (AMARAL et al, 2006; KONRADT-MORAES, 2009; MUSSARAT; BACHMANN, 2019).

Os polímeros orgânicos apresentam diversas vantagens em comparação com os polímeros convencionais, alguns pontos positivos são: redução do custo operacional do tratamento da água, não oferece risco a saúde humana, geração de menos resíduos/ lodo, não altera o pH da água e não afeta o meio ambiente. A utilização de polímeros orgânicos e de baixo custo pode permitir a expansão do acesso a água tratada à população que não dispõe deste recurso (ZARA, 2012; ALVES, 2017; PARDO et al, 2019; MANOJ; VARA, 2020).

Diversas espécies vegetais apresentaram desempenho satisfatório no tratamento da água, quiabo (SILVA, 2012; PEREIRA; MEIRA; SOUSA; 2019); sementes de *Moringa oleifera* (LIMA, 2015; FRANCO et al, 2017; SIQUEIRA et al, 2018), taninos vegetais (ZOLETT; JABUR, 2013); cactáceas como a *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia cochenillifera*, *Pilosocereus gounellei* e o *Cereus jamacaru* (DUARTE, 2011; OSTROWSKI, 2014; MELO, 2017; SOUSA 2019).

A grande maioria dos estudos utilizando espécies vegetais, foram realizados em escala de bancada, com utilização de substâncias para extração do polímero e concentrados na avaliação de parâmetros específicos para atender uma escala comercial, havendo necessidade de uma avaliação focada da aplicabilidade da técnica para a população que não tem acesso a grandes tecnologias, energia elétrica, limitação de materiais e equipamentos. A utilização de polímeros orgânicos e de baixo custo pode permitir a expansão do acesso a água tratada a poluição que não dispõe deste recurso (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência do tratamento alternativo e a baixo custo, utilizando polímeros de semente de *Moringa oleifera*, cacto *Opuntia cochenillifera* (palma) e *Cereus jamacaru* (mandacaru), associados à radiação solar, para o tratamento de água.

CAPÍTULO I

Revisão de literatura

RESUMO

A ingestão de água tratada é um dos mais importantes fatores para a conservação da saúde. Os sistemas alternativos têm sido a solução para levar o abastecimento para diversas regiões no mundo, assim como para comunidades pequenas do Brasil. Os coagulantes naturais representam uma solução inovadora, sustentável no tratamento da água e um outro método que tem se destacado é o uso da luz solar que promove a eliminação de micro-organismos patogênicos pelo efeito sinérgico da luz solar e da temperatura e que não oferece risco à saúde humana. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de polímeros de semente de *Moringa oleifera*, *Cacto Opuntia cochenillifera* (palma) e *Cereus jamacaru* (mandacaru), associados à radiação solar, como métodos de alternativos e de baixo custo para o tratamento de água. Trata-se de um estudo de revisão narrativa que agrupa estudos considerados relevantes e que podem contribuir como suporte bibliográfico para outras pesquisas. Os artigos avaliados demonstraram que a qualidade das águas naturais está comprometida, uma vez que contêm partículas inorgânicas e orgânicas como argila, silte e óxidos minerais, vírus, bactérias, algas, cistos e oocistos de protozoários, bem como detritos que são lançados nas fontes de água, sendo estas sem tratamento e consideradas um risco para saúde pública. Percebeu-se que os tratamentos convencionais para água são caros e precisa-se de alternativas de menor custo e que produzam menos resíduos. Além disso, no Brasil, a falta ou a mal utilização dos recursos financeiros ou a falta de construção de prioridades para implantação do sistema de saneamento básico, somado a demanda por água de qualidade têm incentivado novas pesquisas para o aperfeiçoamento das tecnologias já existentes. A técnica de desinfecção solar (SODIS) é uma alternativa viável para o tratamento da água, porém para uma maior eficiência, é necessário um pré-tratamento, este tem a finalidade de diminuir a turbidez e cor da água. Muitos estudos utilizando coagulantes naturais na remoção destes aspectos (cor e turbidez) têm demonstrado resultados satisfatórios. Os coagulantes naturais apresentaram ainda outras vantagens quando comparados aos coagulantes químicos, tais como: não afetar o meio ambiente e não causar prejuízo a saúde humana. Deste modo, diante do exposto, o uso de coagulantes naturais como pré- tratamento para o SODIS pode ser uma alternativa para o tratamento simplificado da água, favorecendo sobretudo a população que não dispõe de acesso a este recurso.

Palavras-chave: Coagulante natural. Tratamento alternativo. Qualidade da água. Microbiologia.

ABSTRACT

The intake of treated water is one of the most important factors for the conservation of health. Alternative systems have been the solution to take supply to different regions in the world, as well as to small communities in Brazil. Natural coagulants represent an innovative, sustainable solution in water treatment and another method that has stood out is the use of sunlight that promotes the elimination of pathogenic microorganisms by the synergistic effect of sunlight and temperature and that does not pose a risk human health. The objective of this work was to evaluate the efficiency of seed polymers of *Moringa oleifera*, *Cactus Opuntia cochenillifera* (palm) and *Cereus jamacaru* (mandacaru), associated with solar radiation, as alternative and low cost methods for water treatment. It is a narrative review study that groups studies considered relevant and that can contribute as a bibliographic support for other research. The evaluated articles demonstrated that the quality of natural waters is compromised, since they contain inorganic and organic particles such as clay, silt and mineral oxides, viruses, bacteria, algae, cysts and oocysts of protozoa, as well as debris that are released in the sources of water, which are untreated and considered a risk to public health. It was realized that conventional treatments for water are expensive and you need less costly alternatives that produce less waste. In addition, in Brazil, the lack or misuse of financial resources or the lack of building priorities for the implementation of the basic sanitation system, in addition to the demand for quality water, have encouraged new research to improve existing technologies. The technique of solar disinfection (SODIS) is a viable alternative for the treatment of water, however for greater efficiency, a pre-treatment is necessary, this has the purpose of reducing the turbidity and color of the water. Many studies using natural coagulants to remove these aspects (color and turbidity) have shown satisfactory results. Natural coagulants also presented other advantages when compared to chemical coagulants, such as: they do not affect the environment and they do not harm human health. Thus, in view of the above, the use of natural coagulants as a pretreatment for SODIS can be an alternative for simplified water treatment, favoring above all the population that does not have access to this resource.

Keywords: Natural coagulant. Alternative treatment. Water quality. Microbiology.

1. Recursos hídricos

No contexto atual, a água é considerada um recurso mineral não metálico e não mais como um bem natural, indispensável para a sobrevivência. Mundialmente passou a usá-la indiscriminadamente, sem avaliar as consequências para o meio ambiente. Vários são os fatores que impulsionaram a atual situação e que tem contribuído negativamente para esse cenário, tais como: o aumento populacional no último século; o aumento da escassez em determinadas regiões, devido à ocupação desordenada do solo; à poluição e contaminação dos corpos de águas, tanto superficiais quanto subterrâneos; e a agropecuária que inclui irrigação, pecuária e aquicultura, que é de longe a maior consumidora, correspondendo a 69% da retirada anual de água em todo o planeta (BACCI, 2008; FAO, 2015; PIRATOBA, 2017; BARBOSA, 2018; DE BRITO, 2018; UNESCO, 2018).

A exploração dos recursos naturais, dentre eles a água, de forma descontrolada, culminou para uma crise socioambiental. Atualmente estamos ameaçados por essa crise, que pode se tornar um dos mais graves problemas a serem enfrentados neste século. Um estresse hídrico crescente mostra um uso substancial de recursos hídricos, com um maior impacto sobre a sustentabilidade desses recursos e um aumento potencial de conflito entre os seus usuários (ALBUQUERQUE, 2007; BACCI, 2008; DA CUNHA, 2014; DE ALBUQUERQUE, 2017, UNESCO, 2018).

Segundo Bacci (2008), a resolução de problemáticas complexas, como a miséria, desastres ambientais, escassez de recursos naturais, entre outros, representa um desafio, que vem mobilizando cientistas, políticos e membros comunitários de diversas regiões do mundo. A ONU em 2019 concluiu que 2,2 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso à água potável e que este fato está relacionado a 80% das doenças e mortes nos países em desenvolvimento. Aproximadamente três bilhões de pessoas sofrerão com a sua escassez de água em 2025 (ANA, 2019; ONU, 2019).

Na Ásia, 29 (vinte e nove) países foram categorizados como não seguros para o acesso à água. Essa condição está diretamente ligada a baixa disponibilidade de água e o uso excessivo de águas subterrâneas. Na Europa, 57 milhões de pessoas não possuem água encanada em casa. Na África subsaariana 24% da

população têm acesso a bons serviços de água potável (ANDREU, 2012; DOS ANJOS GARCIA, 2015; ONU, 2019; UCHOA, 2019; BRK AMBIENTAL, 2020).

No Brasil, o volume de água doce é 13,7% do mundo. Entretanto, a distribuição desse recurso não é uniforme, onde a maior parcela da água doce está situada no Norte do país, região que é habitada por menos de 5% da população (LIMA, 2001). As irregularidades das chuvas, também afetam a disponibilidade de água, assim, certas regiões sofrem com longos períodos de estiagem, que por consequência, provoca diversos impactos ao desenvolvimento econômico, social e ambiental (PINHEIRO, 2017).

A oferta de água tratada também se configura um problema no desenvolvimento dos estados brasileiros. De acordo com o relatório deste ano do Instituto Trata Brasil, 35 milhões de pessoas não possuem acesso à água potável (BRASIL, 2005; SARTORI, 2017). No Brasil o índice de atendimento total com rede de abastecimento de água (IN055) é de 83,6%, ou seja, possuíam acesso ao serviço de abastecimento de água sendo que no período de 2017 a 2018, houve um crescimento de 0,1 ponto percentual. Já o índice de atendimento urbano de água (IN023), reduziu em 0,2 ponto percentual em relação a 2017 (BRASIL, 2019).

Na maioria dos casos, a precariedade do saneamento rural e urbano é agravado pela falta de conhecimentos básicos para o tratamento de água e destinação de resíduos (SARTORI, 2017). As consequências ocasionadas pela falta de saneamento é a maior ocorrência das chamadas doenças de veiculação ou origem hídricas. Essas provocam a população, tanto as “doenças gastrointestinais”, quanto, doenças diversas como, por exemplo, a dengue, zika, chikungunya, cólera e hepatite (VILA NOVA & TENÓRIO, 2019).

2. Doenças de Veiculação Hídrica (DVH)

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) as doenças de veiculação hídrica (DVH) são divididas em dois grupos: Doenças de Transmissão Hídrica, que são caracterizadas pela presença de micro-organismos patógenos veiculados pela água (fungos, vírus, protozoários e bactérias) e Doenças de Origem Hídrica, caracterizadas pela presença de substâncias químicas na água, acima das concentrações permitidas (LEONE, 2019).

A contaminação pode ocorrer pela ingestão da água contaminada por agentes físicos, químicos ou biológicos como: bactérias, vírus e parasitos, pelo contato direto ou por meio de insetos vetores. Os principais agentes biológicos presentes nas águas contaminadas são bactérias patogênicas, vírus e parasitos (tabela 1) (BRASIL, 2007; MOURA; LANDAU; FERREIRA, 2016).

A Portaria Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (SVS/MS) nº 1.271 de 6 de junho de 2014 – estabelece que deve ser notificado todo evento de saúde pública que se constitua ameaça à saúde pública, como os surtos de DVH, assim como também doenças como o Botulismo, Cólera, DCJ (Doença de Creutzfeldt-Jakob) e Febre Tifoide. No mundo, as DVH são a segunda maior causa de morte na infância, atrás, apenas, das infecções respiratórias.

Tabela 1: Transmissão, doenças, agentes patogênicos de doenças relacionadas com a inadequação do abastecimento e uso de água.

Transmissão	Doença	Agente patogênico
Pela ingestão de água	Cólera	<i>Vibrio cholerae</i> O 1 e O 139;
	Febre tifoide	<i>Salmonella</i> Typhi;
	Giardíase	<i>Giardia lamblia</i> ;
	Amebíase	<i>Entamoeba histolytica</i>
	Hepatite infecciosa	<i>Hepatite virus A e E</i> ;
	Diarréia aguda	<i>Balantidium coli</i> , <i>Cryptosporidium</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Campylobacter sp.</i> , <i>Escherichia coli</i> Enterotoxogênica, Enteropatogênica e Enterohemolítica, <i>Shigella sp.</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Astrovirus</i> , <i>Calicivirus</i> , <i>Norwalk</i> , <i>Rotavirus A e B</i> ;
Pela inadequação do tratamento e drenagem	Tracoma	<i>Clamidia trachomatis</i> ;
	Conjuntivite bacteriana aguda	<i>Haemophilus aegyptius</i> ;
	Salmonelose	<i>Salmonella</i> Typhimurium, <i>Salmonella</i> Enteritidis;
	Tricuríase	<i>Trichuris trichiura</i> ;
	Enterobíase	<i>Enterobius vermiculares</i> ;
	Ancilostomíase	<i>Ancylostoma duodenale</i> ;

	Ascaridíase	<i>Ascaris lumbricoides</i> ;
Por vetores que se relacionam com a água	Malária	<i>Plasmodium vivax</i> , <i>P. malarie</i> e <i>P. falciparum</i> ;
	Dengue	Grupo B dos arbovírus;
	Febre amarela	Grupo dos arbovírus;
	Filariose	<i>Wuchereria bancrofti</i> ;
	Esquistossomos	<i>Schistosoma mansoni</i> ;
	Leptospirose	<i>Leptospira interrogans</i> .

Fonte: Adaptado de MOURA; LANDAU; FERREIRA (2016) / Brasil, (2007).

De acordo com a Portaria de Consolidação MS/ GM nº 4/2017 – anexo III –, as três esferas de gestão do SUS (Municipal, Estadual e Federal), têm responsabilidades de resposta aos Evento de Saúde Pública (ESP) e, “especificamente, nos surtos de doenças e agravos de veiculação hídrica, devendo atuar de forma coordenada, com o objetivo de reduzir os impactos desses eventos, respeitando sempre o princípio da descentralização e a capacidade de autonomia de cada” esfera (BRASIL, 2017; BRASIL,2018a).

Estudos tem demonstrado que as doenças de veiculação hídrica podem ser minimizadas mediante a adoção de práticas de saneamento, como coleta e tratamento de esgotos domésticos e tratamento de águas de abastecimento para assim reverter essa situação de risco à saúde pública (BATISTA; FUCKIS, 2012; BREMM; MAYER, 2012). Os surtos de doenças e agravos de veiculação hídrica se destacam entre os eventos de saúde pública, pois podem ocorrer de forma explosiva, apresentar casos graves, levando a óbitos (BRASIL, 2018a).

Segundo Crittenden (2005), um dos maiores desafios associado à contaminação microbiana é que a parcela da população mundial que é imunocomprometida que é mais suscetível a riscos à saúde, incluindo aqueles associados à água potável.

Surtos de veiculação hídrica associados à contaminação de água potável por *Campylobacter jejuni* são bastante comuns nos países nórdicos, Suécia, Noruega e

Finlândia, onde em distritos escassamente povoados, a água subterrânea é comumente usada sem desinfecção. Água potável tem sido apontada como o modo de transmissão em vários surtos de criptosporidiose nos Estados Unidos. Do número total de surtos, cerca de metade estavam associados a fontes de água subterrânea; a maioria dos indivíduos afetados, entretanto, foi servida por água potável extraída de águas superficiais (SOLO-GABRIELE; NEUMEISTER, 1996).

Em Walkerton, Ontario, em 2000, um incidente foi causado pela contaminação de um poço no sistema de água local de uma fazenda. Durante o surto, as estimativas foram de que mais de 2.300 pessoas ficaram doentes devido às espécies de *E.coli* O157: H7 e *Campylobacter*. Dos 1.346 casos relatados, 97% foram considerados diretamente devido à água potável. Sessenta e cinco pessoas foram hospitalizadas, 27 desenvolveram síndrome hemolítico-urêmica e 6 pessoas morreram (CLARK et al., 2003; CLARK et al., 2005; CRITTENDEN, 2005; SALVADORI, et al.2009).

Em setembro de 2020, uma criança veio a óbito e outras 42 pessoas apresentaram suspeita de intoxicação por água contaminada por rotavírus em Arari, interior da Bahia. Segundo informações da Secretaria da Saúde do Município, do total, 23 pessoas, a maioria crianças, foram hospitalizadas e apresentaram sintomas como dores abdominais, vômito e diarreia (RIGUE, 2020). Estudos conduzidos em hospitais do território brasileiro, abrangendo as diferentes regiões do país, registraram prevalência de diarreia por Rotavírus de 12% e 42%. Os Rotavírus causam em todo o mundo cerca de 600.000 a 870.000 óbitos em crianças por ano. No Brasil este vírus foi detectado pela primeira vez em 1976, a partir das fezes de crianças diarreicas em Belém, Pará (LINHARES, 2000).

Embora as doenças graves de veiculação hídrica tenham sido eliminadas nos países desenvolvidos, novos agentes microbianos foram associados ao consumo de água surgiram nas últimas décadas. Especificamente, foram identificados protozoários patogênicos que são de origem zoonótica, tais como a *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., o que significa que podem ser transmitidos do animal para o homem e vice-versa. Esses protozoários são capazes de adquirir resistência no meio ambiente, resultando em um alto nível de resistência ao tratamento. A resistência desses organismos complicou ainda mais a inter-relação entre as exigências de desinfecção e a necessidade de controlar os subprodutos da desinfecção ou DBP. Na

verdade, tornou-se claro que os processos que proporcionam melhor remoção física de patógenos são necessários, além de processos mais eficientes de desinfecção (CRITTENDEN, 2005; BICUDO; TUNDISI; SCHEUENSTUHL, 2010).

A existência de novos agentes microbianos se tornou evidente em surtos de DTHA, como os surtos em Milwaukee, Wisconsin, em 1993. Em Milwaukee, fortes tempestades causaram contaminação do suprimento de água e o tratamento inadequado permitiu que *Cryptosporidium* entrasse no sistema de distribuição de água, causando mais de 400.000 casos de doença gastrointestinal e mais de 50 mortes (FOX; LYTLE, 1996).

Rufino (2016), ao estudar os Surtos de diarreia na região Nordeste do Brasil em 2013 constatou que mais de 100 mil pessoas estiveram envolvidas em surtos. Sendo que Alagoas e Pernambuco, foram os estados mais atingidos entre o período de maio a julho. Segundo o autor a utilização fontes alternativas de água, como cacimbas, poços, caminhões-pipa e reservatórios domésticos foram considerados as causas mais imediatas destes surtos. Mas outros fatores como a precariedade estrutural dos sistemas de abastecimento de água, as condições secas no período a qual foi considerada a pior em 60 anos, podem está também envolvidos nestes surtos.

Vila Nova e Tenório (2019), ao pesquisar doenças de veiculação hídrica associadas a degradação dos recursos hídricos em Caruaru - PE, constatou que a escassez hídrica no município, se deve, em parte, por suas características climáticas, e pela degradação dos recursos hídricos, assim como que a quantidade e qualidade de água inadequadas favorecem o desenvolvimento de síndromes como a diarreia e de outras doenças com as hepatites. Demonstrando que a degradação dos rios e a poluição dos mananciais colaboram e intensifica a ocorrência de doenças, como dengue, chikungunya e diarreia.

3. Padrões de Potabilidade da água

Com o objetivo de preservar a saúde da população brasileira, o Ministério da saúde publicou a Portaria de N° 2.914/2011 que tratava dos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Atualmente, a Portaria nº 2914/2011, foi revogada e passou a fazer parte da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, sendo seu conteúdo

abordado no anexo XX. Segundo o anexo supracitado, toda água destinada para consumo humano deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água, sendo assim “potável” (BRASIL, 2011; BRASIL, 2017).

Uma água potável deve ser aquela livre de qualquer contaminação, seja esta de origem física, química ou microbiológica, não devendo oferecer risco à saúde humana (BRASIL, 2005). Fatores naturais e/ou antrópicos interferem nas características e propriedades das águas, modificando suas propriedades físico-químicas e biológicas, comprometendo assim a potabilidade (LUÍZ; PINTO; SCHEFFER, 2012).

Os parâmetros para atestar a potabilidade da água são definidos por: características físicas: associados à presença de sólidos suspensos na água; características químicas: matéria orgânica ou inorgânica presente na água e as características biológicas: microbiota presente na água (ALVES, 2017).

Tabela 2: Padrões microbiológicos de potabilidade da água para consumo humano.

PADRÃO DE POTABILIDADE: PADRÃO MICROBIOLÓGICO DE POTABILIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.

PARÂMETRO	VMP (VALOR MÁXIMO PERMITIDO)
ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO (POÇOS, NASCENTES E OUTROS)	
<i>ESCHERICHIA COLI</i> OU COLIFORMES TERMOTOLERANTES	Ausência em 100 mL
ÁGUA TRATADA NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RESERVATÓRIO E REDE)	
<i>ESCHERICHIA COLI</i> OU COLIFORMES TERMOTOLERANTES	Ausência em 100 mL
COLIFORMES TOTAIS	Sistemas que analisam 40 ou mais por mês: ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês. Os sistemas que analisam menos, apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100 mL.

Fonte: Adaptado de Brasil (2017)

3.1 Parâmetros físico-químicos

3.1.1 Turbidez:

A turbidez é um parâmetro de qualidade da água que corresponde à redução da transparência do meio líquido, ela é promovida pelo material em suspensão, dificultando assim a passagem dos raios solares pela água. O tamanho das partículas pode interferir diretamente na turbidez, pois partículas menores permanecem em suspensão, enquanto que as maiores tendem a decantar gradativamente (CHAGAS, 2015). Em uma água destinada ao consumo humano, as partículas em suspensão são removidas durante o tratamento da água, nas etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração. A elevada turbidez da água confere certa rejeição ao seu uso, tanto para fins nutritivos quanto em questões estéticas, pois pode estar relacionada a possíveis contaminações nocivas à saúde humana (BRASIL,2006; BRASIL, 2014; SOUSA, 2019).

A turbidez dos corpos d'água é particularmente alta em regiões com solos erosivos, onde a precipitação pluviométrica pode carrear partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo. Grande parte das águas de rios brasileiros é naturalmente turva em decorrência das características geológicas das bacias de drenagem, ocorrência de altos índices pluviométricos e uso de práticas agrícolas, muitas vezes inadequadas. Além da ocorrência de origem natural, a turbidez da água pode, também, ser causada por lançamentos de esgotos domésticos ou industriais (BRASIL, 2014).

Segundo Tomazoni et al. (2005), os sedimentos em suspensão provocam a reflexão da radiação, dificultando a passagem dos raios solares pela água, influenciando nos processos usuais de desinfecção, uma vez que as partículas suspensas vão atuar como escudo aos micro-organismos patogênicos.

As análises de turbidez geralmente são realizadas pela técnica de nefelometria, método analítico que consiste na quantificação de um feixe de luz que é transmitido por um fluido. Nessa análise, se compara o espalhamento de um feixe de luz que passa pela amostra com o espalhamento do feixe de luz de igual intensidade que passa pela solução padrão. Quanto maior for o espalhamento do feixe de luz maior será o grau de turbidez da amostra. O valor máximo permitido de turbidez na água distribuída é de 5,0 uT (BRASIL,2006; BRASIL, 2014; BRASIL, 2017; SOUSA, 2019).

3.1.2 Potencial hidrogeniônico (pH):

O pH representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido, por meio da medição da presença de íons hidrogênio (H⁺). O valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de vários elementos (BRASIL, 2014).

O controle do pH é fundamental para a estabilidade operacional do sistema distribuição de água potável. Quando o pH da água é baixo, a mesma tende a ser corrosiva ou agressiva a certos materiais (metais, estruturas de cimento e concreto armado). Acima do limite padrão, há água tendência da formação de incrustações por depósitos e precipitações de materiais antes solúveis. O valor recomendado pela legislação atual é que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 (BRASIL, 2017; LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

3.1.3 Cor:

A água isenta de impurezas é livre de cor. No entanto, nas condições naturais ela praticamente não existe sem materiais dissolvidos ou em suspensão (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018). A cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas minúsculas de dimensões inferior a 1 µm, estas denominadas coloides e estão finamente dispersas (BRASIL, 2014).

Pode ser causada por minerais (ferro ou manganês), pela decomposição da matéria orgânica da água (principalmente vegetais), pelas algas ou pela introdução de esgotos industriais e domésticos. O padrão de potabilidade determinado pela legislação vigente, determina que a intensidade de cor deve ser inferior a 5 unidades (BRASIL, 2014, BRASIL, 2017).

3.1.4 Oxigênio Dissolvido (OD):

Parâmetro que indica o grau de aeração da água, ele é essencial para os micro-organismos aeróbios presentes em águas naturais. As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. Sendo que as perdas de oxigênio, são causadas pelo processo de decomposição da matéria orgânica (autodepuração), por perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos, nitrificação e oxidação

química abiótica de substâncias como íons metálicos (ferro (II) e manganês (II)) (FLORUCCI; BENEDETTI FILHO, 2005).

O valor mínimo de oxigênio dissolvido (OD) para a manutenção da vida aquática aeróbica, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 é de 5,0 mg/L, mas existe uma variação na tolerância de espécie para espécie. As águas poluídas por esgotos, apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido, pois o mesmo é consumido no processo de autodepuração. Corpos hídricos eutrofizados, ricos de matéria orgânica, podem apresentar concentrações de oxigênio superiores a 10 mg/L, situação conhecida como supersaturação (FLORUCCI; BENEDETTI FILHO, 2005; BRASIL, 2005; BRASIL, 2014; MERCANTE et al., 2014).

3.2 Parâmetros microbiológicos

3.2.1 Coliformes Totais e *Escherichia coli*

A água potável é indispensável para a vida e, para ser consumida, a água deve ser incolor, inodora, insípida e livre de micro-organismos patogênicos. A presença destes micro-organismos na água pode ocorrer devido a contaminação por fezes humanas e, quando encontrados na água, significa que a mesma recebeu esgotos domésticos e/ou foi contaminada por fezes de animais devido as condições de saneamento básico inadequadas na região, configurando-se como um possível problema de saúde pública. (BRASIL, 2008; BRASIL, 2011; VEIGA, 2014; SILVA 2018).

A água é colonizada por diversos micro-organismos, dentre eles destacam-se os oriundos de matéria fecal humana e/ou animal, tais como os coliformes totais, os coliformes termotolerantes e os *Enterococos*. Os coliformes totais são definidos como bactérias aeróbicas ou anaeróbicas, gram-negativas que não possui a capacidade de formar esporos, do tipo bastonete e que fermentam a lactose com produção de gás, em 24 a 48 horas à temperatura de 35°C e podem apresentar atividades da enzima β -galactosidase (FRANCO; LANDGRAF, 2004).

Como alguns coliformes não são unicamente bactérias entéricas, mas são mais comumente encontrados em plantas e amostras de solo, muitos padrões para alimentos e água especificam a identificação de coliformes fecais. O coliforme fecal (atualmente denominados por “termotolerantes”) predominante é a *Escherichia coli*.

Estes micro-organismos suportam temperaturas superior à 40°C e constituem uma grande proporção da população bacteriana intestinal humana e outros animais homeotérmicos (TORTORA, 2012).

Sob o ponto de vista microbiológico, a água potável deve apresentar ausência de coliformes totais e termotolerantes em 100 mL de amostra de água para consumo. Uma vez que é verificada a presença deste tipo de bactéria em amostras de água, considera-se uma possível contaminação por fezes e/ou esgoto (RATTI et al, 2011; BRASIL, 2017).

A comunidade científica tem demonstrado um interesse grande em estudar a presença de *E. coli* em águas e tem constatado que muitos dos mananciais, rios, lagos e açudes estão sendo degradados por exposição a esgotos domésticos e outros tipos de poluentes (BATISTA; FUCKIS, 2012; LOEBENS, 2011; BREMM; MAYER, 2012).

Uma pesquisa realizada em um trecho do Rio Piancó, entre Coremas e Pombal-PB no período de 2012 constatou que o Rio Piancó estava sofrendo impacto em sua qualidade, haja vista que foi encontrada uma alta população de coliformes, presença de bactéria *Escherichia coli* e *Vibrio cholerae*. Segundo o autor, tal contaminação pode causar sérias doenças, onde o consumo dessa água é um fator de risco à saúde humana (DE ANDRADE, 2015).

Veiga (2014), ao avaliar a condição higiênico-sanitária de 47 amostras de água tratada e seis não tratada (água de poço) da região de Botucatu, São Paulo constatou que 100% foram negativas (ausente/100 mL/NMP) de coliformes totais e termotolerantes. Das amostras de água de poço, 83,33 % apresentaram NMP de coliformes totais e 16,67 % apresentaram 9,2/100 mL para coliformes termotolerantes, resultados acima do permitido pela legislação vigente que estabelece ausência/100 mL, concluindo que as amostras de água de poço foram consideradas não aptas para consumo devido ao alto grau de contaminação.

3.2.2 Contagem de bactérias heterotróficas: micro-organismos mesófilos

Os mesófilos são micro-organismos com uma temperatura ótima de crescimento de 25 a 40°C. A maioria dos organismos deteriorantes e patogênicos é pertencente a este grupo (TORTORA, 2012).

A identificação desses micro-organismos em altas contagens adverte sobre falhas no tratamento da água, sejam na desinfecção, na formação de biofilmes, na

forma de armazenamento e/ou falhas dos sistemas de distribuição. A contagem de bactérias heterotróficas não deve ser superior ao limite de 500 Unidades Formadoras de Colônia (UFC) por 1 mililitro de amostra (BRASIL, 2014; ANDRADE, 2016).

4. Tecnologias de tratamento da água

4.1 História do Desenvolvimento do Tratamento de Água

Alguns dos principais eventos e desenvolvimentos que contribuíram para nossa compreensão da importância da qualidade da água e da necessidade de fornecer alguns meios de melhorar a qualidade das águas naturais foram adquiridos ao longo dos séculos. Uma das primeiras técnicas de tratamento de água foi à fervura da água. A partir do século XVI, começou-se a pensar que era necessário a criação de outras formas para o tratamento de grandes quantidades de água, essa era essencial para manter o abastecimento de água em grandes assentamentos humanos (CRITTENDEN, 2005; DUARTE, 2011; GEHLING, 2017).

As preocupações com a saúde decorrentes da água potável evoluíram ao longo do tempo. Embora as referências à filtração como forma de clarificar a água datem de milhares de anos, a relação entre a qualidade da água e a saúde não era bem compreendida ou apreciada. O tratamento naquela época tinha tanto a ver com as qualidades estéticas da água (clareza, sabor etc.) quanto com a prevenção de doenças. A relação entre a qualidade da água e a saúde se tornou clara no século XIX e, durante os primeiros 100 anos da profissão de engenheiro de tratamento de água, o tratamento se concentrou na prevenção de surtos de doenças veiculadas pela água. Desde 1970, os objetivos do tratamento tornaram-se muito mais complexos, as preocupações com a saúde pública, passaram a cuidar também dos efeitos crônicos que poderiam ser causados por contaminantes químicos presentes na água a saúde do homem (CRITTENDEN, 2005; ALMEIDA, 2011; GEHLING, 2017).

Segundo GARNEL (2009), entre as epidemias do século XIX que atingiram a Europa, a cólera foi a que mais causou pânico, devido à falta de conhecimento médico e à incapacidade dos Estados. Como forma de controle da epidemia foram adotadas diferentes medidas, que geraram impactos econômicos. Devido a isto, em 1851 as potências europeias passaram a se reunir regularmente em Conferências

Internacionais de Saúde para discutir a padronização de medidas que minimizassem os atrasos do comércio internacional, sem colocar em risco a vida das pessoas.

No meio do século XIX, havia uma crença comum de que doenças como cólera e febre tifoide eram transmitidas de forma respiratória. Essa visão começou a mudar na última metade daquele século. Em 1854, houve uma grande epidemia de cólera em Londres e estudos revelaram que esta era resultante da contaminação da água. Em 1864 Louis Pasteur articulou a teoria germinal da doença, a partir desta teoria, vários estudiosos começaram a entender as observações empíricas de surtos de doenças anteriores. No final da década de 1880, ficou evidente que algumas doenças epidêmicas importantes eram frequentemente transmitidas pela água, incluindo cólera, febre tifoide e disenteria amebiana. No final do século XIX, métodos como o teste de coliformes estavam sendo desenvolvidos para avaliar a presença de contaminação de esgoto em um abastecimento de água, e o processo convencional de tratamento de água (coagulação / floculação / sedimentação / filtração) estava sendo desenvolvido objetivando remover a contaminação do abastecimento de água municipal (CRITTENDEN, 2005; GARNEL, 2009; ALMEIDA, 2011; GEHLING, 2017).

No século XX iniciou o processo de cloração contínua da água como meio de controle bacteriológico e, nas primeiras quatro décadas, o foco foi a implementação de tratamento convencional de água e desinfecção com cloro de fontes de água de superfície. Em 1940, a grande maioria dos suprimentos de água nos países desenvolvidos tinha "tratamento completo" e era considerada microbiologicamente segura. O sucesso das práticas de filtração e desinfecção levou à eliminação das doenças de veiculação hídrica mais letais nos países desenvolvidos, particularmente febre tifoide e cólera. Neste período os sistemas de indicadores e as tecnologias de tratamento da água tinha como foco bactérias como causa de doenças veiculadas pela água. Porém, os cientistas descobriram que outros agentes infecciosos, como os vírus, também poderiam causar doenças (CRITTENDEN, 2005; GARNEL, 2009; BICUDO; TUNDISI; SCHEUENSTUHL, 2010; ALMEIDA, 2011; GEHLING, 2017).

Ainda no século XX, surgiu a preocupação sobre o dano potencial que os químicos antropogênicos no abastecimento de água poderiam ter na saúde pública. Na década de 1960 a 1970, o desenvolvimento de tecnologias tornou possível

detectar esses compostos em níveis muito mais baixos (CRITTENDEN, 2005; ZABOTTO, 2019).

Uma classe de produtos químicos antropogênicos de particular interesse no tratamento de água são os subprodutos químicos do próprio processo de desinfecção (subprodutos da desinfecção ou DBP). Os DBP são formados quando os desinfetantes reagem com as espécies naturalmente presentes na água, principalmente com a matéria orgânica natural e algumas espécies inorgânicas, como o brometo. A redução do uso de desinfetantes para minimizar a formação de DBP tem implicações diretas no aumento do risco de doenças por contaminação microbiana. Assim, surgiu um dilema entre o uso da desinfecção para controlar os riscos microbiológicos e a prevenção da formação de produtos químicos indesejáveis. Gerenciar esse fato tem sido um dos maiores desafios da indústria de tratamento de água nos últimos 30 anos (CRITTENDEN, 2005; DUARTE, 2011; VIEIRA, 2020).

No início do século XXI, os desafios do tratamento da água se tornaram mais complexos. Os problemas incluem a identificação de novos patógenos, como *Helicobacter pylori* e os Norovírus, novos subprodutos de desinfecção, como N-nitrosodimetilamina (NDMA), e uma miríade de produtos químicos, incluindo produtos de higiene pessoal, subprodutos de detergentes e outros produtos de consumo (CRITTENDEN, 2005; BICUDO; TUNDISI; SCHEUENSTUHL, 2010).

Nos últimos 30 anos várias tecnologias de tratamento para água foram desenvolvidas, novos parâmetros foram agregados, assim como estudo de novas tecnologias, visando a potabilidade da água e a diminuição dos agravos ao meio ambiente. Como implementação e desenvolvimento das técnicas, os padrões microbiológicos deixaram de ser apenas para bactérias e passou a incluir vírus e protozoários; e, além da turbidez, passou-se a realizar também a contagem de partículas; novas preocupações surgiram como a intensificação de estudos sobre o Sub-produto da oxidação com cloro (SPO) que tem potencial cancerígeno. Dentre as tecnologias podemos citar: as instalações de unidades de filtração de membrana de baixa e alta pressão; o uso de ozônio como oxidante e desinfetante primário, oxidação avançada e fotossíntese por radiação Ultra Violeta (CRITTENDEN, 2005; MIRANDA, 2007; BICUDO; TUNDISI; SCHEUENSTUHL, 2010; DUARTE, 2011; VIEIRA; 2020).

4.2 Sistema de tratamento convencional

As águas superficiais naturais contêm partículas inorgânicas e orgânicas. Os particulados inorgânicos são argila, silte e óxidos minerais. As partículas orgânicas podem incluir vírus, bactérias, algas, cistos e oocistos de protozoários, bem como detritos que são lançados nas fontes de água. Além disso, as águas superficiais contem constituintes coloidais e orgânicos dissolvidos em partículas muito finas, como os ácidos húmicos, um produto da decomposição e lixiviação de detritos orgânicos. A matéria orgânica particulada e dissolvida é frequentemente identificada como matéria orgânica natural (NOM) (CRITTENDEN, 2005; MIRANDA, 2007).

Remover a matéria orgânica natural dissolvida é importante porque muitos dos constituintes que compõem a NOM dissolvido são precursores da formação de subprodutos de desinfecção quando o cloro é usado para desinfecção. Estes são prejudiciais à saúde, pois são compostos considerados cancerígenos. O método mais utilizado para remoção de partículas e de parte do NOM dissolvido das águas superficiais é a sedimentação e/ou filtração da água (CRITTENDEN, 2005; KONRADT-MORAES, 2009; DUARTE, 2011; OLIVEIRA; ARAÚJO; DUARTE, 2020).

O Sistema de tratamento convencional de água recebe esta denominação por ser comumente encontrado na maioria das estações de tratamento de água (Quadro 1). É composto geralmente por adutora, floculadores, decantadores, filtros e reservatórios (SAAE, 2006).

Quadro 1- Etapas Tratamento convencional da água.

Etapas	Função
Coagulação	Reduzir a concentração de partículas suspensas e dissolvidas presentes na água, com a utilização de produtos químicos. O Sulfato de Alumínio é o químico mais utilizado.
Floculação	A água já coagulada movimenta-se de em um tanque de modo que os flocos se misturam uns com os outros, ganhando peso, volume e consistência.
Decantação	Processo de separação de partículas sólidas da água, pela ação da gravidade.
Filtração	Água decantada é encaminhada às unidades filtrantes.

Desinfecção	A desinfecção é a destruição ou inativação de organismos patogênicos capazes de provocar doenças ou outros organismos indesejáveis. Agente químico cloro.
Tanque de Contato	Função de homogeneizar a ação do cloro na água.
Correção de pH	Correção do pH é efetuada através da adição de produtos químicos, o Carbonato de Sódio (Barrilha) e Cal Hidratada.
Fluoretação	Adição de compostos à base de flúor.

Fonte: Adaptado de SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto (2006)

Os processos de coagulação e floculação são as partes mais delicadas do tratamento de água para abastecimento. Uma falha nesta etapa pode gerar grandes prejuízos na qualidade e custo do produto distribuído à população. Estas etapas são importantes porque tem o papel de transformar as matérias orgânicas naturais que se encontram em suspensão fina, em partículas maiores (flocos) para que possam ser removidas pelo processo de sedimentação e/ou filtração ou, em alguns casos, por flotação. (CRITTENDEN, 2005; KONRADT-MORAES, 2009; DUARTE, 2011; SORIANI, 2015).

A coagulação envolve a adição de um ou mais coagulante químico com a finalidade de condicionar a matéria coloidal suspensa e dissolvida para processamento subsequente por floculação ou para criar condições que permitirão a remoção subsequente de partículas e matéria dissolvida. Vários estudos têm demonstrado que existem vários tipos de coagulantes de origem química e vegetal. O sulfato de alumínio, cloreto férrico, hidroxocloreto de alumínio e sulfato férrico, são os principais coagulantes químicos utilizados (CRITTENDEN, 2005; SCHOENHALS, et al., 2006; KONRADT-MORAES, 2009; DUARTE, 2011).

Floculação é a agregação de partículas desestabilizadas (partículas das quais a carga elétrica da superfície foi reduzida) e produtos de precipitação formados pela adição de coagulantes em partículas maiores conhecidas como partículas floculantes ou, mais comumente, "floco", o qual pode ser removido por sedimentação por gravidade e / ou filtração. A coagulação e a floculação também podem ser diferenciadas com base no tempo necessário para cada um dos processos. A

coagulação normalmente ocorre em menos de 10 s, enquanto a floculação ocorre em um período de 20 a 45 min. Uma visão geral dos processos de coagulação e floculação é fornecida abaixo (CRITTENDEN, 2005; SCHOENHALS, et al., 2006; KONRADT-MORAES, 2009; DUARTE, 2011; SILVA et al., 2017).

O objetivo do processo de coagulação depende da fonte de água e da natureza dos constituintes orgânicos suspensos, coloidais e dissolvidos. A coagulação pela adição de produtos químicos hidrolisantes, como alúmen e sais de ferro e/ou polímeros orgânicos, acontece pela desestabilização de pequenas partículas suspensas e coloidais ou pela adsorção e/ou reação de porções do NOM coloidal dissolvido em partículas e a criação de partículas de floculante que irão varrer a água a ser tratada, envolvendo pequenos materiais suspensos, coloidais e dissolvidos à medida que se acomodam (CRITTENDEN, 2005; REIS, 2016; SOUZA, 2019).

O sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), é o coagulante mais utilizado no Brasil. O sulfato de alumínio é adicionado à água associado ao óxido de cálcio (CaO), quando essas duas substâncias entram em contato com a água, ocorre uma reação química que forma, o hidróxido de alumínio ($Al(OH)_3$). O hidróxido de alumínio está carregado positivamente e, por este motivo, consegue neutralizar as impurezas coloidais que estão na água que possuem cargas negativas. Desta forma as partículas de sujeira se aglutinam no hidróxido de alumínio, formando flocos, sólidos de tamanho maior. Para que o coagulante seja distribuído de forma homogênea e seja obtido um tratamento mais eficiente, a água deve ser agitada fortemente por cerca de 30 segundos e depois agitada lentamente (ZARA et al, 2012; SORIANI, 2015; FOGAÇA, 2020).

A utilização do Sulfato de Alumínio pela maioria dos sistemas de tratamento do Brasil se dá pela alta eficiência na remoção de sólidos em suspensão e baixo custo para aquisição do produto. Entretanto, em áreas mais afastadas, eleva-se dos custos de aquisição devido ao transporte. Outro ponto negativo é o lodo gerado, o material sedimentado é rico em alumínio, que representa um risco a saúde da população, uma vez que a exposição a este metal é correlacionada a doenças neurodegenerativas (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

4.3 Tratamentos Alternativos

No Brasil, a escassez de recursos financeiros para os sistemas de saneamento básico e a demanda por água de qualidade têm estimulado pesquisas para melhoramento de tecnologias já existentes, como a coagulação e floculação, assim como a utilização de polímeros no tratamento de água (ZARA, 2012). O desenvolvimento de novos coagulantes e floculantes, baseados em matérias-primas naturais biodegradáveis, vêm sendo um dos temas mais abordados em diversas pesquisas (MONTEIRO; MEDEIROS, 2018). Quando bem explorados, esses agentes multifuncionais podem permitir a redução do custo operacional do tratamento de água e expandir o acesso a esse recurso a população (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

Os coagulantes naturais, quando usados para o tratamento de águas turbidez baixa a média (50–500 NTU), tem eficiência comparável aos seus equivalentes químicos. São produtivos, altamente biodegradáveis, suscetíveis de fornecer água tratada sem alteração de pH, além de não gerar nenhum tóxico residual e menor quantidade de lodo. A utilização desses coagulantes representa uma importante tecnologia ambiental sustentável, pois são recursos renováveis e sua aplicação está diretamente relacionada à melhoria da qualidade de vida de comunidades em desenvolvimento (YIN, 2010; ZARA et al, 2012; MANOJ; VARA, 2020).

4.3.1 Moringa (*Moringa oleífera*)

Moringaceae é uma família de plantas que abrange 14 espécies, sendo o gênero representado por *Moringa oleífera*, o mais conhecido. O gênero está distribuído em regiões áridas e semiáridas da Índia, Paquistão e Sul do Himalaia, Egito, Filipinas, Ceilão e Tailândia. No Brasil, seu cultivo vem se intensificando nos últimos anos em função da sua versatilidade de uso, bem como suas propriedades nutricionais. É considerada uma das árvores mais úteis para os seres humanos, uma vez que todas as suas partes possuem aplicação para algum fim (RANGEL, 1999; SANTOS et al, 2016; SILVA; SOUTO; DOS SANTOS, 2020).

Figura 1: *Moringa oleífera*: Árvore, flor e semente.



Fonte: Adaptado Google Imagens, 2020.

A *Moringa oleífera* também conhecida como lírio branco ou quiabo-de-quina é uma planta nativa da Malásia, uma espécie que pode atingir 10 metros de altura. Produz flores brancas ou creme e os frutos (vagens) passam de verde claro para marrom, quando atingido a maturidade fisiológica (GOLESTANBAGH et al.,2011; JACOB, 2018). Diversos estudos apontam que os produtos produzidos a partir da *M. oleífera*, trazem diversos benefícios para a saúde e para a indústria, e é utilizado no processo de tratamento de água, sendo está uma alternativa viável, principalmente para a região do semiárido brasileiro, onde a planta se encontra em maior abundancia (KATAYON et al., 2006; MATOS et al., 2007; GOLESTANBAGH et al.,2011; FRANCO et al, 2012; SANTOS, et al 2016; FRANCO et al, 2017; OLIVEIRA et al., 2018).

Moringa oleífera vem atuando como agente clarificador por suas sementes possuírem um composto ativo (peptídeos e proteínas coloidais) que atua em sistemas, neutralizando cargas e formando pontes entre partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos e consequente sedimentação. É recomendado a utilização de sementes recém-colhidas, uma vez que os efeitos coagulantes podem ser diminuídos com o tempo (MATOS, et al., 2007; OSTROWSKI, 2014; LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

Um estudo realizado por Matos e colaboradores (2007) permitiu concluir a eficiência de remoção de turbidez acima de 90% das amostras testadas. Os resultados obtidos também indicaram que as doses mais adequadas do extrato de sementes de moringa não foram as maiores, o que torna desnecessária a maceração de grandes quantidades de semente para obter a clarificação da água residuária da despulpa de frutos do cafeeiro (MATOS, et al., 2007).

Salazar gámez; Luna-delrisco; Salazar cano (2016), ao estudar a remoção de cor e turbidez de diferentes metodologias de extração de um coagulante natural, *Moringa oleífera*, constatou que a eficiência de remoção de turbidez não foi afetada pela extração de óleo. A adição de sal durante a preparação da solução coagulante aumenta a turbidez e a eficiência da remoção da cor. Não apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) na turbidez e remoção de cor quanto ao armazenamento da solução coagulante por 24°C em temperatura ambiente e a solução coagulante de *M. oleífera* se mostrou muito eficiente em temperatura de 4°C em águas poluídas com alta concentração de cor.

Katayon e colaboradores (2006), ao estudar a eficiência de remoção de turbidez da *M. oleífera* em temperaturas diferentes (geladeira e em temperatura ambiente), constatou que não houve diferença significativa entre elas e que a eficiência de coagulação de *M. oleífera* diminuiu com o aumento da duração de armazenamento. Além disso, o estudo afirma que *M. oleífera* pode ser usada como um potencial coagulante, especialmente para água com turbidez muito elevada.

4.4.2 Mandacaru (*Cereus jamacaru*)

O cacto *Cereus jamacaru* é uma planta de topo compacto, que pode atingir até 10 metros de altura, possui tronco lenhoso que pode chegar a 60 cm de diâmetro. Apresenta caule (cladódio) verde, alongado com gomos longitudinais, flores isoladas grandes e de colorido vistoso. Os frutos em geral são grandes e vermelhos, de polpa branca com sementes negras (Figura 2), aroma suave e adocicada, comestível, que são consumidos por seres humanos e animais (LOPES, 2016, SOUZA, 2019). Sua distribuição geográfica se destaca principalmente nas regiões norte, nordeste, centro-oeste e sudeste (OSTROWSKI, 2014; MELO, 2017).

Figura 2: *Cereus jamacaru*: cacto, flor e fruto.



Fonte: Adaptado Google Imagens, 2020.

É também conhecido como: mandacaru, mandacaru-de-boi, manacaru, nhamandacaru, cardeiro, cardeiro-rajado, facheiro, arumbeva e tuna. Do tupi “iamandaka-ru” – feixe de espinhos ou espinho, pertence ao Gênero *Cereus* à subfamília dos Cactoideae, grupo Cereoideae. O gênero *Cereus* foi primeiramente descrito por Hermann, em 1698 e depois por Miller em 1754, e inclui 900 espécies publicadas. O nome *cereus*, tanto em grego quanto em latim significa “tocha” (LOPES, 2016; OLIVEIRA, 2017; BARBOSA et al., 2017).

O gênero *Cereus* é encontrado em vários biomas, como Caatinga, Cerrado, Campos rupestres e Mata Atlântica. No nordeste brasileiro, o mandacaru é abundante, ocorrendo principalmente nos estados da Bahia, Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Sergipe e Alagoas (LUCENA, et al, 2012. LOPES, 2016; OLIVEIRA,2017; BARBOSA et al., 2017).

O polímero extraído do cacto *Cereus jamacaru*, ao ser utilizado como auxiliar do sulfato de alumínio nos processos de coagulação e floculação, se mostrou eficiente, sendo uma alternativa para o tratamento de água, principalmente na região semiárida brasileira, onde é abundante (ZARA, 2012). O efeito coagulante promovido pelas cactáceas pode estar associado à presença de diversas pectinas, uma

complexa família de polissacarídeos heterogêneos presentes na parede celular das plantas (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

Lenz e Zara e Thomazini (2011), ao estudar polímero natural de mandacaru obtiveram resultados satisfatórios. A adição de polímero natural obtido do cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*) utilizada como auxiliar de coagulação/floculação no tratamento de água promoveu remoção de turbidez satisfatória, além de menor tempo no processo de decantação e formação de floco mais volumoso, ao serem comparadas ao uso apenas do sulfato de alumínio.

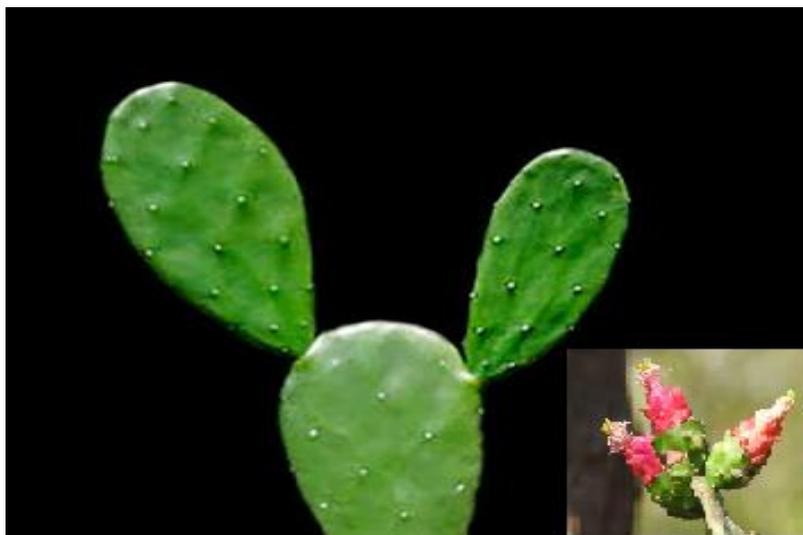
De acordo com Davet et al (2009) ao estudar o efeito antimicrobiano do extrato bruto etanólico do lenho (EBLE) e do córtex (EBCO) do *C. jamacaru* em colônias puras de oito micro-organismos patogênicos observaram que o extrato bruto de córtex e lenho demonstraram potencial antibacteriano sobre o crescimento em todos os micro-organismos testados, principalmente em colônias de *Streptococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli*, Concluindo que o extrato de mandacaru é uma fonte promissora para obtenção de antibióticos naturais.

A presença do extrato de mandacaru com coagulante não afetaria o meio ambiente, sendo uma alternativa sustentável para o tratamento de água. Entretanto há muito o que se investigar, como por exemplo a extração do polímero que resulte maior eficiência e os parâmetros desejáveis para uma maior remoção de turbidez (MONTEIRO; MEDEIROS, 2018).

4.4.3 Palma (*Cacto Opuntia cochenillifera*)

Opuntia cochenillifera também chamada de palma-pequena, é uma cactácea forrageira e comestível, de origem mexicana, cultivada no Nordeste brasileiro (ROCHA, 2012; SOUZA, 2020). É xeromorfa, com caule cilíndrico e ramos, achatados, carnosos e em formato oval. Os frutos são amarelos-avermelhados e medem aproximadamente 8 cm de comprimento, possuem tufo de espinhos e é comercializado nos supermercados como "figo da índia" (figura 3). Apresentam sabor agradável e teor de proteína bastante alto (OLIVEIRA; JUNQUEIRA; MASCARENHAS, 2011; ROCHA, 2012; LIRA et al., 2016; BRASIL et al., 2018; SOUZA, 2020).

Figura 3: *Opuntia cochenillifera*: cacto e fruto.



Fonte: Adaptado Google Imagens, 2020.

A palma forrageira é cultivada desde o século XX com plantio bem adaptada as regiões semiáridas do Nordeste, áridas e semiáridas dos Estados Unidos, México, África do Sul e Austrália. No Brasil, seu cultivo iniciou em 1880, na região nordeste do país, mais precisamente no estado de Pernambuco, através de raquetes que foram trazidas do Texas, EUA (BRASIL et al., 2018; SOUZA, 2020).

Estudos afirmam que a palma começou a ser cultivada com objetivo de desenvolver a criação da cochonilha do carmim [*Dactylopius coccus* Costa (*Homóptera, Dactylopiidae*)], que é produtor de um corante vermelho (carmim), muito utilizado nas indústrias de roupas, cosméticos, pinturas, medicamentos e alimentos, porém não apresentou resultados promissores para esta finalidade. Assim, após esse insucesso, a palma passou a ser cultivada como planta ornamental e forrageira. A partir desse fato, despertou-se o interesse dos criadores e inspecionou o cultivo da palma de maneira intensiva. Seu uso varia desde a alimentação ao gado e humana, paisagístico e cerca-viva, extração de corantes e atualmente é utilizada também como coagulante natural para o tratamento de água (ROCHA, 2012; LEITE et al., 2014; VERBEL et al., 2014; LIRA et al., 2016; GOES et al., 2017; ANDRADE, 2018; BRASIL et al., 2018; SOUZA, 2020).

DANTAS et al. (2018), ao avaliar diversos tratamentos de água de barreiro obtida no município de Lagoa Salgada, RN, Brasil, utilizando várias concentrações de um coagulante natural a base da *Opuntia cochenillifera*, associada ao óxido de cálcio obteve como resultado um sistema com 0,25g de óxido de cálcio e 10 g de palma, encontrando nessa proporção redução da turbidez de 92,15%, cor de 77,39% e sólidos suspensos de 95,18%, para quando comparado com o resultado obtido da amostra sem tratamento, algo positivo, pois apresentou mudança significativa na qualidade da água. Mostrou-se eficiente no processo de coagulação dos particulados, configurando-se como uma alternativa, barata e de fácil aplicação para o tratamento de águas com alto teor de material particulado.

5. Desinfecção solar da água (SODIS)

A desinfecção solar da água –SODIS, usa energia solar para eliminação de micro-organismos patogênicos, os quais são responsáveis por transmissão de doenças veiculadas por água, com isto melhorando a qualidade da água de beber. “Os micro-organismos patogênicos são vulneráveis a dois efeitos da luz solar: radiação no espectro da luz UV-A (comprimento de onda 320-400nm) e calor (aumento de temperatura da água)”. A primeira pesquisa sobre o método SODIS foi iniciada por Aftin Acra na Universidade Americana de Beirute, e posteriormente foi aprimorada pelo instituto EAWAG, na Suíça. Estas pesquisas verificaram a eficiência e a aceitação do método. A SODIS é uma solução para se consumir água tratada a nível doméstico (EAWAG; SANDEC, 2002; SILVA, 2004; ROSSI, 2010).

5.1 O método SODIS

O método SODIS é um método de desinfecção de água, fazendo uso de a energia do sol e usando Polietileno Tereftalato (PET). Ele explora o efeito germicida da radiação solar, especialmente radiação UV-A, para eliminar patógenos causadores de diarreia (bactérias patogênicas e vírus) encontrados na água. Com a implantação do SODIS se pode perceber melhoria da qualidade da água para consumo e com isto, reduz o risco de contrair uma doença de veiculação hídrica (EAWAG; SANDEC, 2002; LUZI, 2016; SILVA; GOMES, 2017; CORRÊA, 2019.).

Conforme Luzi (2016), O método SODIS consiste nas seguintes etapas simples:

- I. Lave uma garrafa de plástico: A garrafa deve estar limpa, transparente, incolor, com 2L de volume ou menor e ter todas as etiquetas de plástico ou papel removido. Recomendamos usar garrafas PET e as lavar com sabão antes do primeiro uso.
- II. Encha a garrafa com água: água potencialmente contaminada é colocada uma garrafa PET. A água não deve ser muito turva.
- III. Exponha a garrafa ao sol: A garrafa é exposta à luz solar direta por um dia inteiro (pelo menos 6 horas, incluindo meio-dia) na maioria dias ensolarados ou dois dias quando o céu está mais de 50% nublado. Em dias de chuva contínua, o SODIS não deve ser usado.
- IV. Água armazenada: A água tratada é armazenada nas garrafas até o consumo para evitar recontaminação.

Estudos têm apontado que a radiação UV-A sofre variações diárias e sazonais que depende da latitude e é responsável pelo clima da região. Além disso afirmam que antes de iniciar o processo de implementação do SODIS é necessário avaliar as intensidades sazonais de radiação do local. Para que o sistema SODIS seja eficiente, é necessária uma intensidade de radiação de 500 W/m² durante aproximadamente seis horas. Em dia nublado, radiação solar disponível está diminuída, desta forma, durante estes dias a intensidade da radiação UV-A é reduzida sendo assim, as garrafas com água do SODIS devem passar pelo processo por dois dias consecutivos para assegurar a inativação completa do agente patogênico (EAWAG; SANDEC, 2002; SILVA, 2004; LUZI, 2016; CAVALCANTE, 2017; GOLIN, 2018; CORRÊA, 2019).

Quadro 2: Vantagens e desvantagens do sistema SODIS

VANTAGENS	DESVANTAGENS
O SODIS melhora a qualidade microbiológica da água de beber.	O SODIS requer suficiente radiação solar. Assim, depende do tempo e das condições climáticas.
O SODIS melhora a saúde da família.	O SODIS necessita de água clara.
O SODIS pode servir como um ponto de partida para a saúde e educação de higiene.	O SODIS não muda a qualidade química da água.
Sistemas públicos de provisão de água nos países em desenvolvimento frequentemente não provêm boa água para consumo.	SODIS não é útil para tratar grandes volumes de água.

O SODIS é fácil entender.	Eficácia limitada contra certos vírus patogênicos e protozoários.
---------------------------	---

FONTE: Adaptado do EAWAG; SANDEC, (2002.P.9).

Por ser uma alternativa de tratamento de água de baixo custo, a utilização de radiação solar para desinfecção de águas é uma fonte natural disponível e perfeitamente aplicável, pois não há necessidade da utilização de produtos químicos e não tem custo, já que o processo pode ser realizado a partir da reutilização de materiais comerciais descartados (SILVA, 2004).

Golin (2018) afirma que o método de desinfecção de água SODIS é barato e simples e pode ser aplicado em comunidades menos favorecidas em infraestrutura e recursos financeiros. Ao aplicar o método com diferentes tempos de exposição para dias nublados e ensolarados, no município de Pelotas em amostras de água bruta com turbidez menor que 30 NTU. Obtiveram 100% de eficiência na inativação dos micro-organismos analisados (Coliformes Totais e *Escherichia coli*), onde em dias ensolarados as amostras foram expostas a 8 horas de exposição, já em dias nublados a 32 horas. Esses foram considerados os tempos ótimos de exposição à radiação solar para cada condição climática.

Cavallini, Araújo e Lima, (2018), ao avaliar o potencial do SODIS na região sul do estado Tocantins, encontrou resultados positivos mesmo em dia nublado e independente da utilização de concentrador solar. O estudo foi realizado no município de Gurupi, utilizando água de poço, com turbidez de 0,52 NTU, onde foi constatada incidência solar suficiente para a desinfecção de 100% de *E. coli*, em 4 horas de exposição solar, e de coliformes totais, em 6 horas de exposição. A água de poço após o processo estava apta para atender os limites estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914, de 12 de dezembro de 2011.

REFERÊNCIAS

- ANDREU, V. **Água para as cidades brasileiras**. Agência Nacional de Águas–ANA, 2012.
- ALMEIDA, M. A. P. A epidemia de cólera de 1853-1856 na imprensa portuguesa. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 18, n. 4, p. 1057-1071, 2011.
- ALVES, E. C. **Alternativas inovadoras de baixo custo no tratamento da água: estudo de caso da aplicação da semente de Moringa como coagulante**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Regional do Cariri, Juazeiro do Norte, CE, 2017.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/a-ana-e-o-saneamento/panorama-do-saneamento-no-brasil-1>. Acesso em: 05 de outubro de 2019.
- AMARAL, L. A. et al. Tratamento alternativo da água utilizando extrato de semente de *Moringa oleífera* e radiação solar. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.73, n.3, p.287-293, 2006.
- ANDRADE, M. V. S. **Potabilidade da água disponível para consumo nos ambientes de ensino da cidade de Cruz das Almas – Bahia**. 2016 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia. 2016.
- ANDRADE, N.A.S. **Coagulantes de palmas forrageiras e os efeitos na turbidez e potencial hidrogeniônico em tratamento de águas**. Trabalho de Conclusão de Curso - Areia: UFPB/CCA, 2018.
- ALBUQUERQUE, B. P. **As relações entre o homem e a natureza e a crise sócio-ambiental**. Monografia de conclusão do curso. Rio de Janeiro, RJ. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), 2007.
- BACCI, D. L. C.; PATACA, Ermelinda Moutinho. Educação para a água. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 211-226, 2008.

BARBOSA, A. S. et al. Estrutura populacional e espacial de *Cereus jamacaru* DC. Em duas áreas de caatinga do agreste da Paraíba, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 315-324, jan.-mar., 2017.

BARBOSA, M. N. **A interpretação da norma pelos órgãos gestores dos recursos hídricos e sua correlação com a sustentabilidade do sistema: estudo de casos/** Dissertação (Mestrado) – Universidade do estado do Rio de Janeiro- 2018.

BATISTA, B. G.; FUCKIS, M. B. Avaliação microbiológica da água do arroio Pessegueirinho de Santa Rosa, noroeste do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Monografias Ambientais**, v. 9, n. 9, p. 2031-2037, 2012.

BICUDO, C.E.DE M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. **Águas do Brasil: análises estratégicas** / Carlos E. de M. Bicudo; José G. Tundisi; Marcos C. Barnsley Scheuenstuhl – São Paulo, Instituto de Botânica, 224 p, 2010.

BREMM, T.; MAYER, I. Qualidade físico-química e microbiológica das águas do córrego Clarimundo no município de Cerro Largo–RS. **SEMINÁRIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO**, v. 2, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Portaria MS n.º 518/2004 / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental** – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/** Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **MANUAL de saneamento: orientações técnicas**. 3. ed. rev. Brasília, DF: Fundação Nacional de Saúde, 409 p. 2007. Disponível em: Acesso em: 10 jun. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Centro de vigilância epidemiológica "Prof. Alexandre Vranjac". **VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA DAS DOENÇAS TRANSMITIDAS POR ÁGUA E ALIMENTOS**. Investigação de Surtos. São Paulo, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. **Manual integrado de vigilância, prevenção e controle de doenças transmitidas por alimentos** / Ministério da Saúde, Secretaria de

Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância Epidemiológica. – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 158 p.: il. – (Série A. Normas e Manuais Técnicos) 2010.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.** Brasília, DF: Diário Oficial da União, 16 mai. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação MS/GM nº 5, de 28 de setembro de 2017. **CONSOLIDAÇÃO DAS NORMAS SOBRE AS AÇÕES E OS SERVIÇOS DE SAÚDE DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE.** Diário Oficial da União, Brasília (DF), 2017 out 3. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html. Acesso em: 12 set.2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Diretriz para atuação em situações de surtos de doenças e agravos de veiculação hídrica [recurso eletrônico] / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador** – Brasília: Ministério da Saúde, 2018a.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018b.** Brasília: SNS/MDR, 2019

BRASIL, S. O.et al. Palma forrageira: Uma oportunidade socioeconômica para o semiárido brasileiro Revista da 15a Jornada de Pós-graduação e Pesquisa /**Congrega Urcamp**, vol. 15, nº15, ano 2018.

BRASIL. SVS, Ministério da Saúde. **Surtos de Doenças Transmitidas por Alimentos no Brasil. Brasil: SUS**, maio 2019. 16 p. Disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2019/maio/17/Apresentacao-Surtos-DTAMaio-2019.pdf>. Acesso em: 21.nov. 2019.

BRK AMBIENTAL/ **Saneamento em pauta, 2020. Crise hídrica: entenda as principais causas da escassez de água.** Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/escassez-de-agua/#:~:text=Dados%20sobre%20a%20escassez%20de,80%25%20das%20doen%C3%A7as%20e%20mortes>. Acesso em: 20.10.2020.

CAVALCANTE, F. L. **Desinfecção solar de águas cinza para aproveitamento agrícola no semiárido - RN** / Fernanda Lima Cavalcante. – Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2017.

CAVALLINI, G. S.; ARAUJO, D. L. B. DA S.; LIMA, J. G. F. Desinfecção de água de poço por radiação solar (SODIS). **Desafios - Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins**, 5(Especial), 66-73. 2018.

CORRÊA, A. Reutilização e tratamento de águas residuárias pelo método sodis: desinfecção solar da água. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 04, Ed. 05, Vol. 08, pp. 05-16, mai. de 2019.

CLARK, et al. "Characterization of Waterborne Outbreak-Associated *Campylobacter jejuni* , Walkerton, Ontario, **Emerging infectious diseases**.,9, 10, 1232–1241.2003.

CLARK, et al. Use of the Oxford multilocus sequence typing protocol and sequencing of the flagellin short variable region to characterize isolates from a large outbreak of waterborne *Campylobacter* sp. strains in Walkerton, Ontario, Canada. **Journal of Clinical Microbiology**, v. 43, n. 5, p. 2080-2091, 2005.

CRITTENDEN, J.C. et al. **MWH's water treatment : principles and design**. – 3rd ed. Rev. ed. of: *Water treatment principles and design*. 2nd ed. c2005.

DA CUNHA, B. P.; AUGUSTIN, S. **Sustentabilidade ambiental: estudos jurídicos e sociais**. Caxias do Sul, RS : Educs, 2014.

DANTAS, J. M. De M. et al.. **Uso da palma miúda (*Opuntia cochenillifera*) como agente coagulante de água de barreiro para fins de consumo**. in *Anais CONADIS...* Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/50883>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

DAVET, A. et al. Atividade antibacteriana de *Cereus jamacaru* DC, Cactaceae. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**. 19: 561 – 564. 2009.

DE ALBUQUERQUE, Bruno Pinto. Crise socioambiental e dimensão ecológica da tradição judaico-cristã. **Dignidade Re-Vista**, v. 2, n. 3, p. 11, 2017.

DE ANDRADE, S. O. et al. Análise espacial da qualidade microbiológica das águas do rio Piancó no trecho Coremas-Pombal-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 2, p. 25, 2015.

DE BRITO, K. P. et al. A água como fator indispensável à vida e a importância da química na estação de tratamento. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 6664, 2018.

DOS ANJOS GARCIA, E. N.; MORENO, D. A. A. C.; FERNANDES, A. L. V. A importância da preservação e conservação das águas superficiais e subterrâneas: um panorama sobre a escassez da água no Brasil. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 6, 2015.

DUARTE, M. A. C. **Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, absorção em carvão ativado e dupla filtração**/ Marco Antônio Calazans Duarte, 2011.

EAWAG (Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia da Água) / SANDEC Departamento de água e saneamento para países em desenvolvimento). **Desinfecção Solar da água: Guia de aplicações do SODIS**. 2002.

FAO- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The outlook for 2050 is encouraging, globally, but much work is needed to achieve sustainable water use and ensure food security for all**. Rome, 2015.

FRANCO BDGM, L. M; LANDGRAF. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu; 2004.

FRANCO, M. et al. Water treatment by multistage filtration system with natural coagulant from *Moringa oleifera* seeds. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 5, p. 989-997, 2012.

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

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "Coagulação e Floculação"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/coagulacao-floculacao.htm> . Acesso em 20 nov. 2020.

FOX, Kim R.; LYTLE, Darren A. Milwaukee's crypto outbreak: investigation and recommendations. **Journal-American Water Works Association**, v. 88, n. 9, p. 87-94, 1996.

FLORUCCI, A. R.; FILHO, E. B. Importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. *Revista Química Nova na Escola*, n.22, 2005.

GARNEL, M. R. L. Portugal e as Conferências Sanitárias Internacionais (Em torno das epidemias oitocentistas de *cholera-morbus*). **Revista de História da Sociedade e da Cultura**, n. 9, 2009.

GEHLING, G. **IPH 020 58 Tratamento de Água e Esgotos Engenharia Hídrica. Capítulo 3. Histórico do tratamento de água e esgotos e tecnologias de tratamento da água para consumo humano**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto de Pesquisas Hidráulicas Departamento de Obras Hidráulicas 2017. Disponível em: http://avasan.com.br/pdf/cap3_tecnologias_tratamento_agua_consumo_humano.pdf . Acesso em: 20. Nov.2019.

GOES, H.H.D. et al. ESTUDO DA APLICAÇÃO DO CACTO *Opuntia cochenillifera* NO TRATAMENTO DE ÁGUA. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.14 n.25; p. 555 2017.

GOLESTANBAGH M, et al. Effect of storage of shelled *Moringa oleifera* seeds from reaping time on turbidity removal. **J Water Health**. Sep;9(3):597-602. 2011.

GOLIN, N. Avaliação da eficiência do método SODIS na desinfecção da água para consumo humano em Pelotas – RS **Ibero-American Journal of Environmental Sciences**. Ago a Set - v.9 - n.7. 2018.

INSTITUTO TRATA BRASIL- O Histórico de doenças por veiculação hídrica (2010 – 2017) - 2019. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2019/05/21/internacoes-de-doencas-por-veiculacao-hidrica-no-brasil/> Acesso em: 20. out. 2019.

JACOB, A. C. **Aplicação de coagulantes orgânicos extraídos do cacto (*Opuntia cochenillifera*) e da *Moringa oleifera* no tratamento de água**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

KATAYON, S. et al. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. **Biosource Technology**, v.97, p.1455-1460, 2006.

KONRADT-MORAES, L. C. **Estudo dos Processos de coagulação e floculação seguidos de filtração com membranas para a obtenção de água potável**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Química, 2009.

LEITE, M. L. de M. V. et al. Caracterização da produção de palma forrageira no Cariri paraibano. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 192-200, 2014.

LENZ, G.F. ; ZARA, R.F. ; THOMAZINI, M.H. **Estudo preliminar da remoção de turbidez de água bruta utilizando polímero obtido do cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*)**.in 4º Congresso Nacional de Tecnologia Química. Rio de Janeiro RJ. 2011. Disponível em: www.abq.org.br/entequi/2011/trabalhos/1/1-14-10458.htm Acesso em: 21 out. 2019.

LEONE, L. O. **Fatores de resistência bacteriana associados a doenças de veiculação hídrica: Revisão de literatura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) - Governador Mangabeira – BA 2019.

LINHARES, A. C. Epidemiologia das infecções por rotavírus no Brasil e os desafios para o seu controle. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 16, p. 629-646, 2000.

LIMA, J. E. F. W. Recursos hídricos no Brasil e no mundo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 46 p. 2001.

LIMA, N. M. **Aplicação da *Moringa Oleífera* no tratamento de água com turbidez** **dissertação** – universidade católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais 2015. 56 páginas.

LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. S. **Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre**

Benefícios e Potencialidades. Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (3), 709-735. Data de publicação na Web: 28 de junho de 2018.

LIRA, M. A. PALMA FORRAGEIRA: Cultivo e Usos. **Caderno do Semiárido.** V. 7. 2016. Disponível em: <http://www.creape.org.br/portal/wp-content/uploads/2016/11/Caderno-7.pdf> . Acesso em: 20. nov. 2019.

LOEBENS, C. M. **Avaliando os impactos ambientais visuais do Arroio Monjolo, em Santo Cristo-RS**, na perspectiva de desenvolver ações de sustentabilidade. 2011.

LOPES, J. A. **O mandacaru e sua utilização como material expressivo e alternativo renovável no design e na arte.** / Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola de Belas Artes, Salvador, 2016.

LUCENA, et al. Uso e conhecimento de cactáceas no município de São Mamede **BioFar - Revista de Biologia e Farmácia.** Paraíba, nordeste do Brasil. 2012.

LUZI, S. **SODIS manual: Guidance on solar water disinfection.** Duebendorf: EAWAG, 2016.

LUÍZ, Â. M. E.; PINTO, M. L. C.; SCHEFFER, E. W. O. **Parâmetros de cor e turbidez como indicadores de impactos resultantes do uso do solo, na Bacia Hidrográfica do Rio Taquaral, São Mateus do Sul-PR.** RA´E GA 24 Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR p. 290-310 2012

MANOJ, K. S.; VARA, S. Natural coagulants for the treatment of water and wastewater: A futuristic option for sustainable water clarification. **Recent Innovations in Chemical Engineering.** 2020.

MATOS, A.T. et al. Effects from the concentration of coagulants and pH solution on the turbidity of the recirculating water used in the coffee cherry processing. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 544-551, 2007.

MELO, J. M. **Aplicação de polímero orgânico extraído do cacto (*Cereus jamacaru*) como coagulante principal e associado ao sulfato de alumínio no tratamento de água.** Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, 2017.

MIRANDA, L. A. S. **Sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento** / Luis Alcides Schiavo Miranda e Luis Olinto Monteggia. - Porto Alegre: (S. n.), 2007.

MONTEIRO C. C. D, MEDEIROS A. C. G. **Estudo do *Cereus jamacaru* (Mandacaru) como agente coagulante no tratamento de água para o consumo**. Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia, Departamento de Engenharia Química, 2018.

MOURA, L.; LANDAU, E. C.; FERREIRA, A. M. Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado no Brasil (editoras técnicas). Variação Geográfica do Saneamento Básico no Brasil em 2010: domicílios urbanos e rurais. Brasília, DF: EMBRAPA, 2016. P. 189-211. Disponível em: 64 <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/157835/1/GeoSaneamentoCap08.pdf> . Acesso em: 12 jan. 2019.

MUSSARAT, S. & BACHMANN, R.T. **A contemporary review on plant-based coagulants for applications in water treatment**. Journal of industrial and Engineering Chemistr, Vol 72. Abril 2019.

OLIVEIRA, E. A.; JUNQUEIRA, S. F.; MASCARENHAS, R. J. Caracterização físicoquímica e nutricional do fruto da palma (*Opuntia ficus indica Mill*) cultivada no sertão do sub-médio são Francisco, **Holos**, v. 3, p. 113-119, 2011.

OLIVEIRA, L. M. S. **Atividades biológicas de metabólitos de Cactaceae e *Micrococcus luteus*** / Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Ciências Biológicas, 2017. Recife- 2017.

OLIVEIRA, N.T. et al. Tratamento de água com *Moringa oleífera* como coagulante/floculante natural. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 373-382, 2018.

OLIVEIRA, R. R.; ARAÚJO, A. L. C.; DUARTE, M. A. C. Estudo do potencial de formação de trihalometanos na lagoa de Extremoz (RN). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 2, p. 315-322, 2020.

ONU- Organização das Nações Unidas (ONU): **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos. 2019**. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/uploads/Relat--rio-mundial-das-Na----es-Unidas-sobre-desenvolvimento-dos-recursos-h--dricos-2019--n--o-deixar-ningu--m-para-tr--s--fatos-e-dados---UNESCO-Digital-Library.pdf> . Acesso em: 12. 01.2020.

OSTROWSKI, J. **Utilização de extrato de cacto *Cereus jamacaru* como coagulantes auxiliares para a diminuição de turbidez da água de turbidez**

sintética. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Campus Toledo, 2014.

OMS: ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Guidelines for drinking water quality.** 3. ed. 2003.

PARDO, J. S. B, et al. Evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de águas residuales domésticas. **Revista de Investigación Agraria y ambiental** 11(1):105-116. 2019.

PEREIRA, T. I. O; MEIRA, L. D. A. S; SOUSA, M. E. A. **USO DA MUCILAGEM DO QUIABO COMO AGENTE FLOCULANTE NO TRATAMENTO DA ÁGUA DO RIO AMAZONAS.** XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa Belo Horizonte-MG. 2019.

PIRATOBA, A. R. A. et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 3, p. 435-456, 2017.

PINHEIRO, L. G. Diversidade de *Enterobacteriaceae* e doenças de veiculação hídrica: Percepção ambiental e Ações de divulgação científica em região semiárida do RN-Brasil. Dissertação, Natal, 2017.

RANGEL. M.S.A. *Moringa oleifera*; **uma planta de uso múltiplo.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 41p. (Embrapa-CPATC. Circular Técnica, 9).1999.

RATTI, B. A. et al. **Pesquisa de coliformes totais e fecais em amostras de água coletadas no bairro zona sete, na cidade de Maringá-PR/** in Anais Eletrônico VII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar Maringá – Paraná – Brasil. 2011.

REIS, C. G., **Análise dos Processos de Clarificação e Filtração da Água para Consumo Humano Estações de Tratamento de Água do Rio Grande do Sul.** 43f. Trabalho de diplomação em Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química, Porto Alegre, 2016.

RIGUE, A. **Possível água contaminada já intoxicou 42 pessoas no interior da Bahia.** CNN BRASIL. 2020. DISPONIVEL EM: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/2020/09/17/possivel-agua-contaminada-ja-intoxicou-42-pessoas-no-interior-da-bahia> ACESSO EM: 19/03/2021.

ROSSI, C. H. **Remoção de micropoluentes na filtração lenta com pré-oxidação com radiação solar** / Carlos Henrique Rossi. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2010.

ROCHA, J. E. S. **Palma forrageira no Nordeste do Brasil: o estado da arte.** — Dados eletrônicos. — 1ª Edição on line (2012) Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2012.

RUFINO, et al. Surtos de diarreia na região Nordeste do Brasil em 2013, segundo a mídia e sistemas de informação de saúde—Vigilância de situações climáticas de risco e emergências em saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, p. 777-788, 2016.

SAAE **SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.** Aracruz, junho de 2006. Disponível em: https://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Agua.pdf Acesso em: 20/07/2019

SANTOS, C. A. B. et al. org. **Conservação dos recursos naturais** / Carlos Alberto B. dos Santos, Eliane Maria de Souza Nogueira, Geraldo Jorge Barbosa de Moura e Maria José Gomes de Andrade, organizadores. - Paulo Afonso: SABEH, 2016.

SALVADORI, et al. Factors that led to the Walkerton tragedy. **Kidney international**, v. 75, p. S33-S34, 2009.

SALAZAR GÁMEZ, L. L.; LUNA-DELRISCO, M.; SALAZAR CANO, R. Effect of storage and preparation methods of *Moringa oleifera* seeds during the coagulation process. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 35, p. 16376-16383, 2016.

SARTORI, H. PORTAL SANEAMENTO BÁSICO - **Saneamento básico nos centros urbanos x zona rural.** Disponível em: http://www.saneamentobasico.com.br/portal/index.php/destaque_do_dia/saneamento-basico-nos-centros-urbanos-x-zona-rural/ . Acesso em: 20.07.2019.

SILVA, M. J. M. **Desinfecção de água utilizando energia solar (SODIS): inativação e recrescimento bacteriano.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

SILVA, J. S. **Estudo de utilização de polímeros naturais como auxiliares de floculação no tratamento de água para fins industriais/** Dissertação (Mestrado) -

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Química, Belém, 2012.

SILVA, J. C. G. et al. **INCIDÊNCIA DE DOENÇAS TRANSMITIDAS POR ALIMENTOS (DTA) NO ESTADO DE PERNAMBUCO, UM ACOMPANHAMENTO DOS DADOS EPIDEMIOLÓGICOS NOS ÚLTIMOS ANOS.** Ciências Biológicas e de Saúde Unit, Facipe, v. 3, n. 1, p. 23-34, 2017.

SILVA, N. C; GOMES, M. C. R. L. Water treatment with SODIS for riverine Communities. **Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications**, v. 03, n. 10, p.84-86. jun, 2017.

SILVA, A. S. **Avaliação do perfil microbiológico e condições higiênicas - sanitárias de águas e peixes consumidos em pisciculturas de pesque-pague localizados em cidades da Bahia e na ilha de Itaparica/** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, 2018.

SILVA, G.V.; SOUTO, J.S.; DOS SANTOS, J. B. Cultivo de moringa: importância nutricional, uso e aplicações. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 1, n. 3, 2020.

SIQUEIRA, L. P. et al. Avaliação microbiológica da água de consumo empregada em unidades de alimentação. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 15, n. 1, p. 63-66, 2010.

SIQUEIRA, A. P. S. *et al.* Análise da performance dos coagulantes naturais *Moringa oleifera* e tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15 n.27; p. 2018.

SORIANI, M. **Eficiência da *Moringa oleifera* como coagulante natural em solução salina de água para abastecimento.** 2015. 76 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (curso de Engenharia Ambiental), Londrina, 2015.

SOLO-GABRIELE, H.; NEUMEISTER, S. US outbreaks of cryptosporidiosis. **Journal-American Water Works Association**, v. 88, n. 9, p. 76-86, 1996.

SOUSA, K. M. L. **Estudo dos coagulantes naturais *cereus jamacaru*, *opuntia ficusindica* e *pilosocereus gounellei* como pré-tratamento para desinfecção solar /** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Química) –

Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, 2019

SOUSA, M.M. **Dinâmica da produção de palma forrageira no cariri oriental paraibano** / Matheus Mendes de Sousa. TCC (Especialização) – UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA/CCA - Areia, 2020.

SCHOENHALS, M. et al. Avaliação da eficiência do processo de coagulação/flotação aplicado como tratamento primário de efluentes de abatedouro de frangos. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 3, n. 2, 2006.

TOMAZONI, J. C. et al. **Utilização de medidas de turbidez na quantificação da movimentação de sólidos por veiculação hídrica nas 70 bacias dos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau – sudoeste do estado do Paraná**. Boletim Paranaense de Geociências, v.57, p. 49-56, 2005.

TORTORA, GERARD J. **Microbiologia** [recurso eletrônico] / Gerard J. Tortora, Berdell R. Funke, Christine L. Case; tradução: Aristóbolo Mendes da Silva. [et al.]; revisão técnica: Flávio Guimarães da Fonseca. – 10. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre: Artmed, 2012.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, n. 70, p. 24-35, 2006.

UCHOA, P. Os países em que a água já é um recurso em falta. **BBC NEWS/ BRASIL**, 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-49243195>. Acesso em: 20.04.2020.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos**. WWRD. 2018, p. 2 e 3. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002615/261579por.pdf>>. Acesso em 10 set.2018.

VIEIRA, I.F.B. et al. Qualidade da água em área rural sob influência antrópica na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista DAE**, São Paulo, v. 68, n 227 / pp 152-165, Ed. Esp. nov. 2020.

VEIGA, S. J. "Análises Microbiológicas de Água Tratada e Não Tratada Na Região de Botucatu São Paulo", p. 319-320. In: **Proceedings of the XII Latin American Congress on Food Microbiology and Hygiene [Blucher Food Science Proceedings, v.1, n.1]**. São Paulo: Blucher, 2014.

VERBEL, R. E. O. et al. Utilización de Tuna (*opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de águas crudas. **Avances Investigación en Ingeniería**, v.11, n.1, 1794-4953, 2014.

VILA NOVA, F. V. P.; TENÓRIO, N. B. **Doenças de Veiculação Hídrica associadas à degradação dos recursos hídricos, Município de Caruaru-PE**. Caminhos de Geografia Uberlândia-MG v. 20, n. 71 p.250-264 2019.

YIN, CHUN-YANG. Emerging usage of **plant based** coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, 45, 2010.

ZARA, R. F., Thomazini M. H., LENZ, G. F. Estudo da eficiência de polímero natural extraído do cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru*) como auxiliar nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água. REA – **Revista de estudos ambientais** (Online) v. 14, n. 2esp, p. 75-83, 2012.

ZABOTTO, A.R. **Estudos sobre impactos ambientais: Uma abordagem contemporânea**. Organizador - Botucatu: FEPAF, 293 p. 2019.

ZOLETT, E. R; JABUR, A. S. **Uso de polímero natural a base de tanino (TANFLOC) para o tratamento de água para o consumo humano**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2013.

CAPÍTULO 2

**TRATAMENTO ALTERNATIVO DA ÁGUA UTILIZANDO POLÍMEROS
ORGÂNICOS ASSOCIADOS AO MÉTODO DE DESIFECÇÃO SOLAR (SODIS)**

Artigo a ser submetido à Revista: Engenharia Sanitária e Ambiental

TRATAMENTO ALTERNATIVO DA ÁGUA UTILIZANDO POLÍMEROS ORGÂNICOS ASSOCIADOS AO MÉTODO DE DESIFECÇÃO SOLAR

ALTERNATIVE WATER TREATMENT USING ORGANIC POLYMERS ASSOCIATED WITH THE SOLAR DESIFECTION METHOD

Danuza das Virgens Lima

Mestranda pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB),
danuza_lima22@hotmail.com.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi realizar um tratamento alternativo da água de baixo custo utilizando polímeros orgânicos associados a técnica de desinfecção solar da água (SODIS). Os polímeros foram semente de *Moringa oleifera*, *Cacto Opuntia cochenillifera* (palma) e *Cereus jamacaru* (mandacaru). Foram realizadas duas coletas em dias distintos, entre os meses de julho a novembro de 2020, as amostras foram coletadas em um açude dentro do campus universitário da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) conhecido como “açude do Funil”, sendo retirado 36 L de água bruta, em cada coleta. Para a análise microbiológica foi realizada a contagem de coliformes totais e *Escherichia coli* e a contagem de micro-organismos aeróbios mesófilos. Realizou-se também a análise física e química da água (Potencial hidrogeniônico-pH, cor, turbidez, Oxigênio Dissolvido- OD e temperatura). As análises foram realizadas no tempo 0 (antes de expor ao sol) e no tempo 1 (depois de expor ao sol). Os resultados das análises microbiológicas foram comparados, com base nos critérios de qualidade estabelecidos pela Portaria de Consolidação n. 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde. Para o controle de coliformes totais não houve interação significativa entre os níveis observados, tanto nos tratamentos quanto nos tempos. Na coleta 1 a moringa após ser exposta ao sol, mostrou-se mais eficiente no controle de micro-organismos mesófilos. O mandacaru se destacou com desempenho satisfatório nas duas coletas no controle de *E. coli*. Nos parâmetros físico-químicos a Palma foi a espécie vegetal que, em geral, apresentou melhor desempenho na diminuição da cor e turbidez das amostras. Concluímos que os polímeros foram eficientes no controle de características microbiológicas e físico-químicas da água, entretanto, os níveis alcançados não foram suficientes para atender os parâmetros de qualidade estabelecidos pela legislação vigente. Deste modo, recomenda-se outros estudos para o aperfeiçoamento da técnica.

Palavras-chave: Coagulantes naturais. Polímeros naturais. Qualidade da água. Microbiologia.

ABSTRACT

The objective of this study was to carry out an alternative treatment of low-cost water using organic polymers associated with the technique of solar water disinfection (SODIS). The

polymers were *Moringa oleifera* seed, *Cactus Opuntia cochenillifera* (palm) and *Cereus jamacaru* (mandacaru). Two collections were carried out on different days, from July to November 2020, the samples were collected in a weir within the university campus of the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB) known as “Funil weir”, being removed 36 L of raw water, in each collection. For the microbiological analysis, the count of total coliforms and *Escherichia coli* and the count of aerobic mesophilic microorganisms were performed. The physical and chemical analysis of the water was also carried out (Hydrogenionic potential - pH, color, turbidity, Dissolved Oxygen - OD and temperature). The analyzes were performed at time 0 (before exposure to the sun) and time 1 (after exposure to the sun). The results of the microbiological analyzes were compared, based on the quality criteria established by the Consolidation Ordinance n. 5, of September 28, 2017 from the Ministry of Health. For the control of total coliforms, there was no significant interaction between the levels observed, both in treatments and in times. In collection 1, the moringa after being exposed to the sun, proved to be more efficient in controlling mesophilic microorganisms. The mandacaru stood out with satisfactory performance in the two collections in the control of *E. coli*. In the physical-chemical parameters, Palma was the plant species that, in general, showed the best performance in decreasing the color and turbidity of the samples. We concluded that the polymers were efficient in the control of microbiological and physical-chemical characteristics of the water, however, the levels reached were not sufficient to meet the quality parameters established by the current legislation. Therefore, further studies are recommended to improve the technique.

Keywords: Natural coagulants. Natural polymers. Water quality. Microbiology.

INTRODUÇÃO

A ingestão de água tratada é um dos mais importantes fatores para a conservação da saúde, entretanto este recurso vem gerando preocupação em âmbito mundial, uma vez que as reservas de água em condições para consumo vêm diminuindo a cada ano. Vários fatores impulsionaram a atual situação de escassez hídrica, tais como a destruição e contaminação dos mananciais, à agricultura, à pecuária, o consumo humano e a poluição ambiental (RIBEIRO; ROLIM, 2017).

Em várias regiões do Brasil encontramos problemas relacionados ao consumo de água contaminada e vale ressaltar que algumas regiões ainda não têm acesso à água de qualidade (DE BRITO, 2018; ARRUDA, 2019). Segundo o ETENE (2017) a falta de acesso à rede de distribuição de água tem relação inversa à renda, isto é, os maiores déficits (45%) estão associados aos estratos mais baixos de renda, diminuindo conforme aumenta o rendimento.

Além dos problemas relacionados a falhas na distribuição de água tratada, o semiárido do nordeste brasileiro enfrenta as irregularidades das chuvas, com longos períodos de estiagem e elevadas temperaturas. A escassez hídrica representa um problema crônico, gerando como consequência, diversos impactos no desenvolvimento econômico, social e ambiental da região. As fontes alternativas de fornecimento de água (açudes, barragens, poços, entre outros) desempenham relevante papel na gestão dos recursos hídricos nestas localidades devido à capacidade de estocar e atender a diversos usos da água para a população. Entretanto, a qualidade da água se torna um fator crítico, uma vez que procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo, estabelecido na legislação são, muitas vezes, inviáveis e inexecutáveis (PINHEIRO, 2017; INSTITUTO TRATA BRASIL, 2019).

Para que a água seja considerada segura é necessário que ela seja tratada com algo que envolve diversos processos físico-químicos até que a água se torne potável. No processo de tratamento convencional, a água a ser tratada na Estação de Tratamento de Água (ETA) passa pelos seguintes processos: pré-cloração, pré-alkalinização, coagulação, floculação, decantação, filtração, pós-alkalinização, desinfecção, fluoretação. Porém, esse tipo de tratamento é de elevada complexidade e de alto custo (LEGNER, 2015; VIEIRA et al, 2020).

Os sistemas alternativos de tratamento da água têm sido a solução para ampliar o acesso a água potável, sobretudo em comunidades pequenas e afastadas de grandes centros urbanos. A implantação desses sistemas é mais barato e não necessita da operação de grandes instalações, são de fácil execução e podem ser realizados pelos moradores de cada região (LIMA JÚNIOR et al 2018; ALVES, 2017).

Os coagulantes ou polímeros naturais representam uma solução inovadora, sustentável e que não oferece risco à saúde humana. As fontes dos polímeros naturais são diversas e podem ser obtidos principalmente de bactérias, fungos, animais e plantas e são classificados como polissacarídeo, amino-polissacarídeo, polifenóis e substâncias baseadas em proteínas. O uso de um coagulante natural pode, em uma primeira etapa, resolver os problemas de turbidez gerados por materiais orgânicos e inorgânicos em suspensão e auxiliar no processo de desinfecção (ANDRADE, 2018; LIMA JÚNIOR et al 2018; MUSSARAT; BACHMANN, 2019).

A *Moringa oleifera* é uma das espécies mais estudada e considerada um dos potenciais substitutos dos coagulantes químicos. Paterniani et al. (2009), em trabalho realizado no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, em Campinas, SP, utilizando sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de água superficiais, obtiveram reduções médias da turbidez e da cor aparente, de 90% por sedimentação simples e 96% por filtração lenta. Amaral et al. (2006) também utilizando extratos de sementes de *Moringa oleifera* adicionados a água a ser desinfetada por radiação solar em garrafas de Polietileno Tereftalato- PET e concluíram que mesmo para valores elevados de turbidez, da ordem de 200 a 250 Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU), foi obtida total inativação de *E. coli* após 12 h de exposição ao sol.

Outras espécies vegetais que recentemente tem recebido grande atenção é o *Cereus jamacaru* e a *Opuntia cochenillifera* popularmente conhecido como mandacaru e palma, respectivamente. Trabalhos preliminares indicaram potencialidade do mandacaru e da palma como potenciais agentes coagulantes naturais (ZARA et al, 2012; GOES ET AL, 2017; ANDRADE, 2018; DAMASCENO; ARAUJO; SILVA, 2018; MONTEIRO; MEDEIROS 2018).

A utilização de sementes de *Moringa oleifera*, do *Cereus jamacaru* e da *Opuntia cochenillifera* pode ser uma alternativa viável no tratamento simplificado da água para a população. Entretanto, é importante ressaltar que tais agente são utilizados como um pré-tratamento que vai atuar na remoção e/ou redução dos sólidos suspensos e dissolvidos na água, onde é necessária uma segunda etapa para o tratamento de desinfecção.

Então, o uso da luz solar, promove a eliminação de micro-organismos patogênicos presentes na água pelo efeito sinérgico da luz solar e da temperatura a partir da utilização de garrafa PET transparente (ARRUDA, 2019). Cavallini e colaboradores (2019) em um estudo desenvolvido no município de Gurupi, obtiveram resultados satisfatório na desinfecção de 100% de *E. coli*,

em 4 horas de exposição solar, e de coliformes totais, em 6 horas de exposição solar em ensaios utilizando água de poço.

Diante do exposto, o objetivo central deste trabalho é realizar uma associação dentre os métodos alternativos- coagulante orgânicos (*Moringa oleifera*, do *Cereus jamacaru* e da *Opuntia cochenillifera*) e utilização da luz solar, avaliando a maior eficiência quanto a qualidade microbiológica e aspectos físico-químicos.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estudo foi conduzido no laboratório de parasitologia e microbiologia animal e em área experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), localizada no município de Cruz das Almas, Bahia (12°40'19"S e 39°06'22"W', altitude de 220 m acima do nível do mar). O clima é designado como tropical quente e úmido, Aw a Am, de acordo com a classificação de Köppen, tendo temperatura média anual de 24,5 °C, com umidade relativa de 80% e precipitação média de 1.250 mm anuais (AGRITEMPO, 2018).

Pré-ensaio: teste de dosagem:

Para o teste de dosagem, utilizou uma metodologia adaptada de Ostrowski (2014) para elaboração de amostras de água de turbidez sintética. Para o qual foi realizado uma coleta de amostra de solo em horizonte 20-40 cm de profundidade e identificado como Latossolo Amarelo (RODRIGUES et al., 2009). O solo coletado foi macerado em almofariz e peneirado. Em seguida foram extraídas porções de 25 g que foram pesadas em balança digital, para serem homogêneas em 24 recipientes de 500mL de água tratada. Após agitação nos sentidos horário e anti-horário, deixou em repouso por 20 minutos para decantação do solo em excesso. Em seguida foi realizada caracterização físico-químico (cor, turbidez e pH).

As diferentes dosagens das respectivas espécies vegetais (moringa, palma e mandacaru) foram homogêneas as amostras de água de turbidez sintética. Na tabela 1, segue as proporções utilizadas para cada espécie vegetal. Após estabilização da mistura, foram novamente avaliados para os parâmetros físico-químicos.

TABELA 1. Proporções de *Moringa oleifera* (Moringa), *Cereus jamacaru* (Mandacaru), *Opuntia cochenillifera* (Palma) utilizados nos ensaios: Semente (S), Gramas (g).

	Mandacaru (g)	Moringa (S)	Palma(g)
Tratamento 1	2	1	2
Tratamento 2	3	2	4
Tratamento 3	4	3	6

Coleta da água

Foram realizadas duas coletas em dias distintos com avaliação microbiológica e dos aspectos físico-químicos. As amostras foram coletadas superficialmente no açude dentro do campus universitário da UFRB conhecido como “açude do Funil”, onde o mesmo é utilizado para abastecer o setor de produção e experimentação vegetal da Fazenda Experimental do CCAAB/UFRB. Todas as amostras foram armazenadas em galões com capacidade para 25,00

L de polietileno previamente higienizados. A desinfecção se deu por meio do agente químico Hipoclorito de sódio na concentração de 1%, e pela exposição a luz solar, onde as garrafas foram imersas durante 30 minutos, e em seguidas enxaguadas com água potável de forma abundante para retirar qualquer resquício do agente químico utilizado e em seguida expostas a luz solar para desinfecção pela luz UV (FERNANDES et al. 2000). Os galões passaram ainda pelo procedimento de aclimatação (coletar uma parcela de água no ponto da coleta, agitar e descartar- Processo repetido por três vezes), procedendo a coleta (JACOB, 2018).

Em laboratório, afim de diminuir a quantidade de sólidos suspensos na água coletada, foi realizado uma filtragem prévia utilizando um tecido de 100% algodão, tamanho 40 X 62 cm. O tecido foi lavado previamente com sabão neutro e esterilizado por calor úmido em autoclave a 121,0 °C (1 atm; pressão relativa) durante 15 minutos (PENN, 1991).

Obtenção e preparo dos Cactos: *Opuntia cochenillifera*, *Cereus jamacaru*.

A metodologia utilizada foi adaptada na proposta de Zara et al. (2012). As cactáceas popularmente conhecidas como Palma (*Opuntia cochenillifera*) e Mandacaru (*Cereus Jamacaru*) foram coletadas no campus da fazenda experimental da UFRB. Logo após a coleta, foram realizados procedimentos de lavagem em água corrente, remoção de espinhos, retirada da casca e realizado cortes longitudinais e transversais, resultando em um complexo viscoso. Em seguida procedeu-se a medida das massas. A medida utilizada de Palma foi de 24 gramas e do Mandacaru foi de 48 gramas. Importante ressaltar que não foram utilizadas substâncias para extração dos componentes estruturais das espécies vegetais e também não houve nenhum processo de desidratação.

Obtenção e preparo da *Moringa oleífera*.

As sementes de moringa (*Moringa oleífera*) foram adquiridas através de doações por parte da própria Universidade e uma outra parte através de compra comercial. Para o preparo do extrato, foram retiradas as cascas das sementes e com auxílio de um almofariz foi realizado o processo de moagem, utilizando-se 10,0 mL de água destilada para 6,0 g de sementes já descascadas (equivalente a 30 sementes) (AMARAL et al. 2006).

Ensaio de decantação e floculação:

Foram utilizados três recipientes com capacidade para 20 litros, para cada recipiente foram adicionados 12 litros da amostra de água bruta. O ensaio de decantação consistiu na mistura dos respectivos tratamentos (24,0 g de *Opuntia cochenillifera*; 48,0 g de *Cereus Jamacaru* e 6,0 g de *sementes de Moringa olifera*) com as amostras de água bruta. O processo de homogeneização foi realizado de forma manual utilizando bastão de polietileno esterilizado. Utilizou-se inicialmente duas velocidades, uma rápida e constante e outra lenta por cinco minutos (MUYIBI & OKUOFU, 1995; AMARAL et al,2006).

As amostras foram deixadas em repouso por 24h no laboratório de parasitologia e microbiologia animal a uma temperatura 21° graus, para sedimentação das partículas. Após esse período, amostras do sobrenadante foram novamente caracterizadas quanto as características microbiológicas e físico-químicas em laboratório (TEMPO 0).

Processo de desinfecção por exposição à radiação solar (SODIS):

Para minimizar os parâmetros de turbidez e coloração da água bruta, foram realizados pré-tratamento de coagulação e floculação com os extratos dos cactos mandacaru, palma e moringa.

As amostras de água tratada foram acondicionadas em garrafas de Polietileno tereftalato (PET) transparentes, com capacidade de 2.000 mL, onde as mesmas foram desinfetadas previamente com Hipoclorito de sódio à 1% e desinfecção solar. No processo do SODIS, as garrafas foram expostas ao sol por dois dias consecutivos, esse período foi o recomendado pelo Guia de aplicações do SODIS- Desinfecção Solar da Água (2002), devido às condições do tempo (75% do céu nublado). A fim de aumentar a eficiência da SODIS, as garrafas foram colocadas sobre uma superfície refletora brilhante (EAWAG / SANDEC, 2002).

Finalizando o período de exposição solar, as amostras foram avaliadas quanto a ação da radiação, com realização de análises microbiológicas e físico-química.

Análise dos parâmetros

Para determinar os parâmetros microbiológicos foi utilizado o método do substrato cromogênico (Colilert®) para quantificação de coliformes totais e *Escherichia coli*. Esse método consiste na utilização da β -galactosidase para metabolizar o ONPG e como a maioria dos não-coliformes não possui estas enzimas, eles não podem crescer e interferir na reação minimizando a incidência de falsos positivos e falsos negativos. De acordo com Fernandes (2015), esse método foi o mais indicado quando se pretende analisar água para consumo humano. Com obtenção dos resultados expressos em Números Mais Provável (NMP) em 100 mL da amostra (COELHO; PIMENTEL; BEUX, 1998; ANDRADE, 2016).

Para a contagem de micro-organismos mesófilos foi utilizada a técnica de plaqueamento em profundidade, com o meio de cultura Plate Count Agar (PCA) da Merck® (SILVA et al., 2010).

Na Tabela 1 é exibido os parâmetros físico-químicos analisados, bem como os equipamentos adotados durante os ensaios.

TABELA 2: Parâmetros físico-químicos empregados na caracterização das amostras de água bruta e seus respectivos equipamentos.

Parâmetros	Equipamentos
Potencial hidrogeniônico (pH)	pHmetro Digimed DM-2
Cor	Calorímetro visual modelo DLNH-100
Turbidez	Turbidímetro Adamo, modelo TB1000
Oxigênio dissolvido	Dissolved oxygen meter (Modelo: DO-5519)
Temperatura	Termômetro digital espeto- Tecnocert TP101

Delineamento experimental e análise estatística

Foi empregado um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4×2, sendo 4 tratamentos (Mandacaru, Moringa, Palma, Tratamento controle-ABcole) em dois tempos (Tempo 0 e Tempo 1), com três repetições.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey a 5% de probabilidade para analisar a diferença entre os tratamentos. Utilizou-se o software estatístico R version 3.6.1.

RESULTADOS

Resultados parâmetros microbiológicos na coleta 1:

Foi realizada análise de variância (ANOVA), onde os resultados obtidos no presente estudo tiveram diferença significativa entre os tratamentos, com interação significativa entre eles.

De acordo com o teste de médias o tempo 0 que proporcionou menor crescimento de micro-organismos do tipo mesófilos foi o Mandacaru com 941,19 NMP, apresentando valor superior apenas ao controle (129,5 NMP). Os tratamentos com Moringa e Palma não diferiram entre si de acordo com o teste de Tukey, com os maiores valores de mesófilos. Para o tempo 1, o melhor tratamento foi com a Moringa, seguido dos outros dois tratamentos que não tiveram diferença estatística entre si (TABELA 3).

Quando se compara os dois tempos (T0 e T1), verifica-se que o tratamento antes de expor ao sol (T0) tem melhores resultados para o Mandacaru e Palma. No entanto, para o tratamento com utilização de Moringa após ser exposta ao sol (T1), mostrou-se mais eficiente no controle de mesófilos. Independentemente do tipo de tratamento, o coeficiente de variação se mostrou satisfatório.

TABELA 3. Teste de médias e coeficiente de variação (C.V.) para análise microbiológica da água sob tratamento alternativo com MANDACARU, MORINGA, PALMA, Tratamento controle- (AB cole), água bruta, em dois tempos diferentes (T0- antes de expor ao sol e T1- após expor ao sol) para a coleta 1.

TRATAMENTO	Mesófilos (NMP)		Coliformes (NMP)		<i>E. coli</i> (NMP)	
	T0	T1	T0	T1	T0	T1
MANDACARU	941,19bA	1489,67bB	2033,71aA	2419,20aA	21,36aA	8,00aA
MORINGA	1620,00cB	241,66aA	2419,20aA	2419,20aA	2419,20cA	2419,20bA
PALMA	1467,91cA	1640,33bB	1915,46aA	2419,20aA	214,50bA	2419,20bB
ABcole	129,50aA	129,50aA	2419,20aA	2419,20aA	13,76aA	13,76aA
Média	1039,65	875,29	1974,59	2419,2	667,18	1215,04
C.V.(%)	7,02		26,43		2,15	

Médias seguidas por mesma letra minúsculas nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o controle de coliformes totais não houve interação significativa entre os níveis observados, tanto nos tratamentos quanto nos tempos.

O Mandacaru se destacou entre todos os tratamentos quando submetido ao tempo 0 e Tempo 1 para *Escherichia coli*, como pode ser observado na Tabela 3. A Moringa apresentou um valor muito superior aos demais, sendo considerado de acordo com os dados, o menos indicado e com menor eficiência para o tratamento de *Escherichia coli* independentemente do tempo avaliado (com ou sem exposição ao sol). A média apresentada foi de 667,18 NMP para T0 (antes de expor ao sol). O tratamento utilizando a palma apresentou melhor resultado no tempo 0.

O coeficiente de variação (CV) que busca a menor dispersão entre os dados, indicou a homogeneidade dos resultados, onde mesófilos obteve um CV de 7,02%, *Escherichia coli*, um CV de 2,15%. Os resultados para coliformes totais apresentaram um maior grau de dispersão (26, 43%). Entretanto, um valor dentro da média.

Resultados parâmetros microbiológicos na coleta 2:

Na coleta 2, todos os tratamentos diferiram entre si, o tratamento que teve menor crescimento de mesófilos no tempo 0, sendo considerado o melhor foi o Mandacaru, seguido da Palma e Moringa. O Tratamento com moringa foi o que teve maior crescimento de mesófilos para o tempo 0, 1665 NMP. Importante ressaltar que todos os tratamentos (Mandacaru, palma e moringa) apresentaram taxa maior de crescimento de micro-organismos mesófilos que a amostra controle.

TABELA 4. Teste de média e coeficiente de variação (C.V.) para análise microbiológica da água sob tratamento alternativo com MANDACARU, MORINGA, PALMA, Tratamento controle- (ABcole), água bruta, em dois tempos diferentes (T0- antes de expor ao sol e T1- após expor ao sol) para a coleta 2.

TRATAMENTO	Mesófilos (NMP)		Coliformes (NMP)		E. coli (NMP)	
	T0	T1	T0	T1	T0	T1
MANDACARU	759,33bA	929,33bB	2419,2aB	1095,4aA	9,33aA	10,35aA
MORINGA	1665,00dB	1478,50cA	2419,2aA	2419,2bA	2419,20cA	2419,20bA
PALMA	1072,00cA	1351,66cB	2419,2aA	2419,2bA	65,43bA	2419,20bB
ABcole	131,00aA	131,00aA	2419,2aA	2419,2bA	22,70aA	22,70aA
Média	906,83	972,62	2419,2	2088,25	629,17	1217,86
C.V.(%)	7,81		18,25		0,77	

Médias seguidas por mesma letra minúsculas nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No tempo1, o tratamento Mandacaru também foi o tratamento que apresentou melhor resultado para o controle de mesófilos, com crescimento de 929,33 NMP. Os tratamentos com Moringa e Palma não tiveram diferença significativas entre si. A média geral para o tratamento 0 e tratamento 1 não foram muito discrepantes entre elas para o crescimento de mesófilos, 906,83 e 972,62 NMP, respectivamente.

Para análise de coliformes totais, os tratamentos não diferiram entre si, exceto o tratamento com Mandacaru que no tempo 1, teve o menor número de CF, 1095 NPM, diferindo de todos os outros tratamentos.

Para *E.coli*, dentro do tempo 0, o melhor tratamento foi com utilização de Mandacaru, seguido da Palma e em último lugar está a Moringa como o pior resultado esperado, como pode ser vista na Tabela 4. No tempo 1, o tratamento com Mandacaru continuou como o melhor resultado. Já os tratamentos com Moringa e Palma não diferiram entre si de acordo com o teste estatístico de Tukey, apresentando os maiores crescimentos.

Resultados parâmetros físico-químicos coleta 1:

Foram analisados também alguns atributos referentes as características físico-químico como pode ser visto na Tabela 5. Para a variável turbidez no tempo 0, o melhor tratamento foi a Palma com o menor valor de 14,16 UNT, seguido do Mandacaru com valor de 37,50 UNT. A Moringa não apresentou resultados satisfatórios, pois apresentou valores superior à média total. Para o tempo com exposição ao sol (T1), os tratamentos com Mandacaru e Palma proporcionaram menor turbidez, não diferindo estatisticamente entre si. O tratamento com moringa apresentou resultados mais satisfatórios que o tratamento controle (Tabela 5). Quando analisado todos os tratamentos, independentemente do tempo, a Palma mostrou-se mais eficiente para a variável Turbidez.

TABELA 5. Teste de média e coeficiente de variação (C.V.) para análise físico-química da água sob tratamento alternativo com MANDACARU, MORINGA, PALMA, Tratamento controle- (ABcole), água bruta, em dois tempos diferentes (T0- antes de expor ao sol T1- após expor ao sol) para a coleta 1.

TRATAMENTO	TURBIDEZ (UNT)		TEMPERATURA (°C)		COR (uC)	
	T0	T1	T0	T1	T0	T1
MANDACARU	37,50bB	10,23aA	23,70aB	37,33aA	400,00bA	400,00cA
MORINGA	50,11cB	19,10bA	23,60aB	37,66aA	300,00aB	250,00aA
PALMA	14,16aA	8,80aA	23,60aB	38,50aA	400,00bB	300,00bA
ABcole	60,05dA	60,05cA	23,60aA	23,60bA	400,00bA	400,00cA
Média	40,46	24,55	23,63	34,27	375,00	337,5
C.V.(%)	4,40		2,27		0,00	

TRATAMENTO	OD (mg/L)		pH	
	T0	T1	T0	T1
MANDACARU	10,80aB	8,96aA	6,92aA	6,60bB
MORINGA	9,10aA	16,20bB	7,00aA	6,38cB
PALMA	10,90aB	8,33aA	6,65bA	6,76bA
ABcole	9,43aA	9,43aA	7,07aA	7,07aA
Média	10,05	10,73	6,91	6,70
C.V.(%)	9,25		1,01	

Médias seguidas por mesma letra minúsculas nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A variável temperatura tanto no tempo 0 quanto no tempo 1, não apresentaram diferenças significativas entre eles, diferindo apenas o controle quando exposto ao sol.

Em relação a cor no tempo 0, o tratamento que proporcionou menor cor foi a Moringa, com 300 uC, diferindo de todos os outros tratamentos, que tiveram valores de 400 uC. No tempo 1, todos os tratamentos diferiram entre si, sendo o melhor tratamento com Moringa, seguido da Palma, Mandacaru e controle, com valores de 250, 300, 400, 400 uC, respectivamente.

Os tratamentos não diferiram entre si quando avaliados quanto ao oxigênio (OD) dissolvido no tempo 0. No tempo 1, os tratamentos com Mandacaru, Palma não diferiram entre si. A moringa apresentou taxa de OD de 16,2 mg/L (Tabela 5).

Dentro do tempo 0, os melhores valores de pH foram com os tratamentos com Mandacaru e Moringa não diferiram entre si, assim como não diferiram do tratamento controle, mantendo o pH próximo a neutralidade. No tempo 1, os tratamentos que tiveram melhores valores de pH foram a Palma e Mandacaru, proporcionando os melhores valores de pH.

Analisando os tratamentos em relação ao tempo, o Mandacaru e Palma tiveram efeito semelhantes em relação a taxa de OD. O tempo 1 apresentaram melhores valores de OD em relação ao tempo 0. Para moringa a taxa de OD aumenta em relação ao tempo, onde no tempo 0 tem o valor de 9,10 mg/L e no tempo 1 tem um valor de 16, 20 mg/L. Para o pH os tratamentos se comportaram da mesma forma, sendo melhores no tempo 0, exceto o tratamento com palma que não teve diferença significativa em relação aos tempos testados.

Resultados parâmetros físico-químicos coleta 2:

Todos os tratamentos diferiram entre si em relação a turbidez, com melhor resultado para a Palma quando avaliados no tempo 0 (Tabela 6). O tratamento com Moringa não apresentou valores satisfatórios, onde o mesmo obteve valor mais que o dobro da Palma (55,63 UNT), já o Mandacaru (22,16 UNT) foi caracterizado com valores intermediários. Onde o

tratamento controle com apresentou uma turbidez de 69,04 UNT. No tempo 1, todos os tratamentos diferiram entre si, sendo o melhor tratamento a Palma, com 14,1 UNT, seguido do tratamento com Moringa e Mandacaru.

Em relação a temperatura, no tempo 0, os tratamentos não diferiram entre si. No tempo 1, a palma, moringa e mandacaru, apresentaram valores aproximados, não tendo diferenças significativas. Entretanto, quando comparados em relação aos tempos, os valores diferenciaram, com um aumento de temperatura no tempo 1 em relação ao tempo 0. Resultado esperado, uma vez que foram acondicionados nas mesmas condições de temperatura.

TABELA 6. Teste de média e coeficiente de variação (C.V.) para análise físico-química da água sob tratamento alternativo com MANDACARU, MORINGA, PALMA, Tratamento controle- (ABcole), água bruta, em dois tempos diferentes (T0- antes de expor ao sol T1- após expor ao sol) para a coleta 2.

TRATAMENTO	TURBIDEZ (UNT)		TEMPERATURA (°C)		COR (uC)	
	T0	T1	T0	T1	T0	T1
MANDACARU	42,86bB	28,00cA	21,83aB	37,50aA	400,00aA	416,66cA
MORINGA	55,63cB	18,90bA	21,66aB	39,00aA	400,00aB	366,66bA
PALMA	22,16aB	14,10aA	22,33aB	39,16aA	500,00bB	266,66aA
ABcole	69,04dA	69,04dA	22,16aA	22,16bA	600,00cA	600,00dA
Média	47,42	32,51	21,99	34,46	475,00	412,50
C.V.(%)	1,36		4,64		3,98	

TRATAMENTO	OD (mg/L)		pH	
	T0	T1	T0	T1
MANDACARU	12,86bB	6,96aA	6,73ab	6,45bB
MORINGA	12,83bA	17,66cB	6,63bA	6,44bB
PALMA	20,53cB	13,56bA	6,89ab	6,61aB
ABcole	8,66aA	8,66aA	6,34cA	6,34bA
Média	13,72	11,71	6,65	6,46
C.V.(%)	10,72		1,10	

Médias seguidas por mesma letra minúsculas nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável cor, quando os tratamentos foram testados no tempo 0, houve diferença significativa entre os tratamentos, tendo valores de 400 uC para Mandacaru e Moringa e valor de 500 uC para a Palma. No tempo 1 todos os tratamentos diferiram entre si, sendo os melhores resultados obtidos com Palma com valor de 266,66 uC, seguido de Moringa e Mandacaru com valores de 366,66 e 416,66 uC, respectivamente. Quando comparado ao tratamento controle, houve diferença significativa para diminuição da cor das amostras tanto no tempo 0 quanto no tempo 1.

O coeficiente de variação para a variável cor foi de 3,98 (uC), mesmo apresentando valor superior ao primeiro tratamento, ainda é considerado um resultado excelente, tendo em vista a importância de um coeficiente de variação baixo.

Analisando os tratamentos em relação ao tempo, todos os tratamentos tiveram resultados diferentes nos tempos testados para turbidez. Sendo que os tratamentos com Moringa, Mandacaru e Palma tiveram os melhores resultados no tempo 1. Levando em consideração a temperatura, todos os tratamentos diferiram entre si, mostrando melhores resultados quando

expostos ao sol (T1). Para cor, os tratamentos com utilização de Moringa e Palma se destacaram no tempo 1, já o tratamento com Mandacaru não teve diferença entre os tempos testados.

Avaliando os tratamentos em relação ao oxigênio dissolvido no tempo 0, não houve diferenças significativas entre o tratamento com utilização de Mandacaru e Moringa, apresentando estes os melhores resultados (Tabela 6). No tempo 1, o tratamento com Mandacaru se destacou com valor superior próximo a 7,0 mg/L, superando até mesmo o tratamento controle (ABcole).

Em relação ao pH, no tempo 0 o melhor tratamento foi com Mandacaru, com valor de 6,73, os outros tratamentos não diferiram entre si em relação ao tratamento controle. No entanto, no tempo 1, o melhor valor de pH foi obtido com o tratamento com Palma, seguido do tratamento com Mandacaru e os outros tratamentos não diferiram entre si.

DISCUSSÃO

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, foi possível observar que nenhum dos agentes utilizados foram eficientes no controle de micro-organismos. Todas as amostras tratadas apresentaram características de potabilidade inadequadas para consumo humano em relação à contagem de bactérias heterotróficas aeróbias mesófilas, *E. coli* e coliformes totais (BRASIL, 2017).

O mandacaru foi o polímero que apresentou melhor resultado no controle de *E. coli* quando comparado as amostras controles. Já a moringa foi eficiente com controle de crescimento de micro-organismos mesófilos aeróbios, quando comparamos o tempo 0 e o tempo 1 (tabela 3 e 4). De acordo com Davet et al (2009), o extrato bruto de córtex e lenho do *C. jamacaru*, é potencial antibacteriano e inibe o crescimento de colônias de *Streptococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli*. Desta forma o seu extrato é uma fonte promissora para obtenção de antibióticos naturais.

As cactáceas são coagulantes promissores e este efeito pode estar associado à presença de diversas pectinas, uma complexa família de polissacarídeos heterogêneos presentes na parede celular das plantas (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

Moringa oleífera vem atuando como agente clarificador devido à presença de uma proteína catiônica que desestabiliza as partículas contidas na água na forma líquida. A moringa também possui constituintes como o pterigospermina e ramnosil-oxibenzil-isotiocianato que possuem ações antimicrobianas (CARDOSO, et al., 2008; BATISTA et al., 2013; FRANCO, et al., 2017).

A palma foi o agente mais eficiente na diminuição da turbidez quando comparado ao mandacaru e a moringa. Já a moringa foi o agente com melhor desempenho para diminuição da cor aparente. As amostras coletadas de fonte origem natural apresentavam teores de turbidez e cor bastantes elevadas, onde os polímeros utilizados não foram suficientes a ponto de diminuir tais parâmetros de modo a permitir uma esterilização solar eficiente. Segundo Di Bernardo (2004) quanto menor for a turbidez resultante pós decantação, mais eficiente serão os processos posteriores como filtração e desinfecção.

Ao adicionar mais matéria orgânica (tratamentos- mandacaru, moringa e palma), houve um efeito reverso, o mesmo comportou-se como meio de crescimento e desenvolvimento para os micro-organismos ali presentes. A presença de matérias dissolvidos na água caracteriza um aumento na cor aparente, essa dificulta a penetração dos raios luminosos, consequentemente interfere na desinfecção solar (PIVELLI, 1988).

As características climáticas do tempo durante o estudo, também influenciaram o crescimento microbiano das amostras, como verificado nas tabelas 5 e 6, as médias das temperaturas máximas atingidas nas coletas foram de 34,27° e 34,46° respectivamente, não

sendo suficientes para a desinfecção das amostras. Paterniani e Silva (2005) afirmaram que o aquecimento da água e a inativação bacteriana sofrem influência das condições climáticas durante o tempo de exposição ao sol, onde a radiação infravermelha é responsável pela elevação da temperatura da água, tal elevação que após 50°C auxilia a desinfecção da água e evita o recrescimento bacteriano (RODRIGUES, 2011).

A técnica de desinfecção solar da água não possui efeito residual, o que favorece o recrescimento microbiano 24 horas após o término do processo de desinfecção quando a temperatura da água ficou abaixo de 50°C (PATERNIANI; SILVA, 2005).

Os polímeros testados tiveram pouco efeito sobre o pH das amostras, como podemos observar na Tabela 4 e 5. Ainda de acordo com a portaria vigente este parâmetro deve estar na faixa de 6,0 a 9,5. O valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de vários elementos (BRASIL, 2014). Jacob (2018) ao testar a aplicação de coagulantes orgânicos extraídos do cacto (*Opuntia cochenillifera*) e da *Moringa oleifera* no tratamento de água. Verificou que o pH das amostras não alterou no decorrer dos processos usando a *Moringa oleifera* e os coagulantes em associação, mas para o cacto *Opuntia cochenillifera*, o pH de todos os ensaios aumentou durante os processos.

Souza (2019) ao avaliar a capacidade coagulante dos cactos *Cereus jamacaru*, *Opuntia ficus-indica* e *Pilosocereus gounellei* como pré-tratamento para desinfecção por radiação solar obteve resultados satisfatórios, onde obteve inativação de coliformes totais presentes em suas amostras. O autor afirma que os cactos se apresentam como grandes potenciais coagulantes naturais a serem empregados como pré-tratamento ocasional de águas turvas reais para posterior desinfecção solar, uma vez que após o tratamento todos os parâmetros avaliados atenderam ao estabelecido pela legislação brasileira para água potável.

Segundo Manoj e Vara (2020), os coagulantes mostraram sua eficácia em comparação com a literatura disponível. No entanto, a utilização ou aceitação desses coagulantes no tratamento de águas residuais industriais é muito baixa. A utilização de coagulantes pode ser melhorada, mostrando sua eficiência em comparação às tecnologias de tratamento avançadas disponíveis no cenário atual.

CONCLUSÕES

Os polímeros utilizados nesta pesquisa foram eficientes no controle de características microbiológicas e físico-químicas da água. Entretanto, os níveis alcançados não foram suficientes para atender os parâmetros de qualidade estabelecidos pela legislação vigente.

As condições climáticas da região onde o estudo ocorreu, tiveram influência no resultado obtido no presente estudo. Infere-se ainda que a composição microbiológica das espécies vegetais utilizadas, também influenciaram no resultado final deste trabalho. Deste modo, é importante a realização de outros estudos afim de quantificar a influência de tais variáveis.

Desenvolver o uso de polímeros naturais é muito relevante uma vez que pode trazer avanços nos aspectos sociais, econômicos e ambientais para a população.

REFERÊNCIAS

- AGRITEMPO. Agritempo: sistema de monitoramento agrometeorológico. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario>>. Acesso em: 10 de dezembro, 2020.
- ALVES, E. C. Alternativas inovadoras de baixo custo no tratamento da água: estudo de caso da aplicação da semente de Moringa como coagulante. TCC, **Universidade Regional do Cariri**, Juazeiro do Norte, CE, 2017.
- AMARAL, L. A. et al. Tratamento alternativo da água utilizando extrato de semente de *Moringa oleífera* e radiação solar. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.73, n.3, p.287-293, 2006
- ANDRADE, N.A.S. **Coagulantes de palmas forrageiras e os efeitos na turbidez e potencial hidrogeniônico em tratamento de águas** / Núbia Aparecida dos Santos Andrade. - Areia: UFPB/CCA, 2018.
- ANDRADE, M. V. S. **Potabilidade da água disponível para consumo nos ambientes de ensino da cidade de Cruz das Almas – Bahia** / Marcos Vinicius Silva de Andrade. Cruz das Almas, BA, 2016.
- ARRUDA, R. S. **Avaliação do funcionamento do sistema de captação de água e da estação de tratamento de água de Coromandel-MG**/ Rayssa Socorro Arruda Coromandel, MG, 2019.
- BATISTA, R. F.; FILHO, L. C. A. L.; SILVA, J. B. A.; DUTRA, I.; SANTOS, D. B. Tecnologias limpas aplicadas ao tratamento de água superficial no semiárido brasileiro. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n.16; p. 186-198, 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação MS/GM nº 5, de 28 de setembro de 2017. **CONSOLIDAÇÃO DAS NORMAS SOBRE AS AÇÕES E OS SERVIÇOS DE SAÚDE DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE**. Diário Oficial da União, Brasília (DF), 2017 out 3. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html. Acesso em: 12 set.2019.
- CARDOSO, K. C. et al. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleífera Lam. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.
- CAVALLINI, G. S.; ARAUJO, D. L. B. DA S.; LIMA, J. G. F. Desinfecção de água de poço por radiação solar (SODIS). Desafios - **Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins**, v. 5 (Especial), p. 66-73. 2018.
- COELHO, D. L.; PIMENTEL, I. C.; BEUX, M. R.; **Uso do método do substrato cromogênico para quantificação do número mais provável de bactérias do grupo coliforme em águas minerais envasadas**. B.CEPPA, Curitiba, v. 16, n. 1, p. 45-54, jan./jun. 1998.
- DAMASCENO, J. R. ARAUJO, G. T. SILVA, M. A. **Miniestação de tratamento de água barrenta com uso de Mandacaru como coagulante natural**. Instituto Federal de Educação,

Ciências e Tecnologia do Sul de Minas Gerais/ in 15º CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, Poços de Caldas, 2018.

DAVET, A. et al. Atividade antibacteriana de *Cereus jamacaru* DC, Cactaceae. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**. 19: 561 – 564. 2009.

DE BRITO, K. P. et al. A água como fator indispensável à vida e a importância da química na estação de tratamento. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 6664, 2018.

DI BERNARDO, A. S. **Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada**/ Tese (doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo, 2004.

EAWAG (Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia da Água) / SANDEC Departamento de água e saneamento para países em desenvolvimento). **Desinfecção Solar da água: Guia de aplicações do SODIS**. 2002..

ETENE- **Infraestrutura de saneamento na Região do Nordeste; situação Atal e perspectivas**. Luciana Mota Tomé, Caderno setorial ETENE Ano 2, nº10, jul., 2017.

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

GOES, H.H.D. et al. ESTUDO DA APLICAÇÃO DO CACTO *Opuntia cochenillifera* NO TRATAMENTO DE ÁGUA. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.14 n.25; p. 555 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL- **O Histórico de doenças por veiculação hídrica (2010 – 2017)** - 2019. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2019/05/21/internacoes-de-doencas-por-veiculacao-hidrica-no-brasil/> Acesso em: 20. out. 2019.

JACOB, A. C. **Aplicação de coagulantes orgânicos extraídos do cacto (*Opuntia cochenillifera*) e da *Moringa oleifera* no tratamento de água**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. S. **Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Flocculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades**. Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (3), 709-735. Data de publicação na Web: 28 de junho de 2018.

LEGNER, C. A questão do odor é nova ainda no Brasil: Sistemas Alternativos de Tratamento de Água e Efluentes. **Revista TAE**, Santo André -SP, edição Nº 25 – ano 5, jun./jul. 2015. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/494/sistemas-alternativos-de-tratamento-de-agua-e-efluentes>. Acesso em: 10 nov.2020.

MANOJ, K. S.; VARA, S. Natural coagulants for the treatment of water and wastewater: A futuristic option for sustainable water clarification. **Recent Innovations in Chemical Engineering**. 2020.

MONTEIRO C. C. D, MEDEIROS A. C. G. **Estudo do *Cereus jamacaru* (Mandacaru) como agente coagulante no tratamento de água para o consumo**. Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia, Departamento de Engenharia Química, 2018.

MUSSARAT, S. & BACHMANN, R.T. **A contemporary review on plant-based coagulants for applications in water treatment**. Journal of industrial and Engineering Chemistr, Vol 72. Abril 2019.

MUYIBI, A.S. & OKUOFU, C.A.. Coagulation of low turbidity surface waters with Moringa oleifera seeds. **International Journal of Environmental Studies** , v.48, n.3/4, p.263-273, 1995.

OSTROWSKI, J. **Utilização de extrato de cacto *Cereus jamacaru* como coagulantes auxiliares para a diminuição de turbidez da água de turbidez sintética**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Campus Toledo, 2014.

PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (SODIS): Avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares. **Eng. sanit. ambient.** Vol.10 - Nº 1 - jan/mar 2005, 9-13

PATERNIANI, J. E. S.; MANTOVAN, M. C.; SANT’ANNA, M. R. **Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais**. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient. vol.13 no. 6, Campina Grande Nov./Dec. 2009 DISPONIVEL EM: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/uso-de-sementes-de-moringa-oleifera-para-tratamento-de-aguas-superficiais/> . Acesso em: 20.07.2019.

PENN, C. Chapter 1. Equipment and materials; Chapter 5. Sterility and aseptic technique. In **“Handling Laboratory Microorganisms”**, Open University Press, Philadelphia: 5-25 e 41-48 pp (1991).

PIVELLI, R. P. “Apostilas da disciplina química ambiental”, Faculdade de Saúde Pública da USP. SEAGER, J.; JONES, F.; RUTT, G. (1992). “Assesment and control of farm pollution”. Journal IWEN, v.6, p. 49-55, (1998).

PINHEIRO, L. G. **Diversidade de *Enterobacteriaceae* e doenças de veiculação hídrica: Percepção ambiental e Ações de divulgação científica em região semiárida do RN-Brasil**. Dissertação, Natal, 2017.

RIBEIRO, G. G. L.; ROLIM, N. D. Planeta água de quem e para quem: uma análise da água doce como direito fundamental e sua valoração mercadológica. Revista Direito Ambiental e sociedade, v. 7, n. 1, 2017 (p. 7-33)

RODRIGUES, M. G. F. et al. Solos e suas relações com as paisagens naturais no município de Cruz das Almas – BA. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Volume 9 - Número 2 - 2º Semestre. 2009.

RODRIGUES, D.G., **Desinfecção da água por pasteurização solar (SOPAS) em comunidades rurais**. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas - SP, 2011.

SILVA, N. et al. **MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE ALIMENTOS E ÁGUA**. 4 ed. São Paulo: Ed. Varela; 2010.

SOUSA, K. M. L. **Estudo dos coagulantes naturais *cereus jamacaru*, *opuntia ficusindica* e *pilosocereus gounellei* como pré-tratamento para desinfecção solar** / Karina Michely Leite de Sousa. – Serra Talhada, 2019.

VIEIRA, I.F.B. et al. Qualidade da água em área rural sob influência antrópica na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista DAE**, São Paulo, v. 68, n 227 / pp 152-165, Ed. Esp. nov. 2020.

ZARA, R. F., Thomazini M. H., LENZ, G. F. **Estudo da eficiência de polímero natural extraído do cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru*) como auxiliar nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água**. REA – Revista de *estudos ambientais* (Online) v. 14, n. 2esp, p. 75-83, 2012.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. A efeito dos polímeros orgânicos no tratamento da água é comprovadamente apresentado em diversos estudos. Entretanto, as propriedades da água bruta coleta e condições climática do local influenciaram diretamente no desempenho dos polímeros e nos resultados do presente estudo.
2. A não utilização de uma solução extratora pode ter diminuído o desempenho das espécies estudadas.
3. Quando utilizado o mandacaru, moringa e palma no tratamento de água de turbidez sintética, os resultados foram satisfatórios em comparação ao tratamento de água de fontes naturais.
4. Faz-se necessário a realização de outras pesquisas, afim de aprimorar as técnicas e dosagem do mandacaru, moringa e palma, de modo que esses polímeros possam de fato serem utilizados por populações que não têm acesso a água tratada, que possuem limitação de equipamentos e matérias e que possam ser utilizados sem a necessidade de energia elétrica.