

Utilização da *Moringa Oleífera Lam* e da Radiação Solar no Tratamento de Água para Consumo Humano

Use of *Moringa Oleífera Lam* and Solar Radiation in Water Treatment for Human Consumption

DOI:10.34117/bjdv6n11-144

Recebimento dos originais: 19/10/2020

Aceitação para publicação: 09/11/2020

Ana Paula de F. Siebert

Estudante de Engenharia Civil–UFRPE/UACSA

Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)/UACSA

Endereço: Rua cento e sessenta e três, 300, Garapu, Cabo de Santo Agostinho – PE, Brasil

E-mail: ap-siebert@hotmail.com

Ana Cristina Barbosa da Silva

Estudante de Engenharia Civil–UFRPE/UACSA

Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)/UACSA

Endereço: Rua cento e sessenta e três, 300, Garapu, Cabo de Santo Agostinho–PE, Brasil

E-mail: anacristinab2011@hotmail.com

Cristiane Marcelina de Moraes

Doutorado em Engenharia Química–UFPE

Departamento de Engenharia Química (DEQ), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Endereço: Av. dos Economistas, s/n, 50.740-590, Cidade Universitária, Recife–PE, Brasil

E-mail: cristiane3301@hotmail.com

Renato dos Santos Bezerra

Técnico em Química–SENAI/Paulista–PE

Departamento de Engenharia Química (DEQ), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Endereço: Av. dos Economistas, s/n, 50.740-590, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil

E-mail: reenatosantoss@hotmail.com

Laiza Carla Medeiros Silva

Estudante de Licenciatura em Química–UFPE

Departamento de Engenharia Química (DEQ), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Endereço: Av. dos Economistas, s/n, 50.740-590, Cidade Universitária, Recife–PE, Brasil

E-mail: laiza_carla@hotmail.com

Dinaldo Cavalcanti de Oliveira

Doutorado em Ciência da Saúde –UNIFESP, Pós-Doutorado em Ciência da Saúde–UFPE

Departamento de Medicina Clínica, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Endereço: Av. da Engenharia, s/n, 50.740-600, Cidade Universitária, Recife–PE, Brasil

E-mail: dinaldo@cardiol.br

Mohand Benachour

Doutorado em Génie Des Procédés–Institut National Polytechnique de Lorraine–França
Departamento de Engenharia Química (DEQ), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Endereço: Av. dos Economistas, s/n, 50.740-590, Cidade Universitária, Recife–PE, Brasil
E-mail: mbena@ufpe.br

Yana Batista Brandão

Doutorado em Engenharia Química–UFPE, Pós-Doutorado em Ciências dos Materiais–UFPE
Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)/UACSA
Endereço: Rua cento e sessenta e três, 300, Garapu, Cabo de Santo Agostinho – PE, Brasil
E-mail: yanabatista@yahoo.com.br/ yana.brandao@ufrpe.br

RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo a aplicação do pó da semente da planta denominada *Moringa Oleífera Lam*, a partir do processo de maceração dessa semente, juntamente com a radiação solar, no tratamento de água utilizada para o consumo humano. Neste trabalho foram coletadas amostras de água em diferentes poços artesianos, localizados no município do Cabo de Santo Agostinho/PE, situados nas praias de Enseada dos Corais e Gaibu, bem como, no Bairro de Ponte dos Carvalhos, sendo realizadas análises físico-químicas e microbiológicas, para determinar o poço que seria realizado esse tratamento prévio, monitorando, principalmente, a sua eficiência na remoção bacteriana. Dois tipos de planejamentos experimentais foram realizados, o primeiro usando um fatorial completo 2^3 , com 2 níveis e 3 fatores, a fim de avaliar a influência dos parâmetros: Concentração do pó da semente da *Moringa Oleífera* (C_M) em ($g.L^{-1}$), o tempo de exposição da radiação solar (t) em (h) e o potencial Hidrogeniônico (pH), no que se refere a variável resposta para DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio). Assim como, coliformes totais e coliformes termotolerantes, em especial a *Escherichia coli*. Nos demais ensaios, o planejamento fatorial completo 2^2 , com dois níveis e dois fatores, mostrou duas variáveis independentes: 1) a (C_M) em ($g.L^{-1}$) e o (pH) e 2) o (t) em (h) e o (pH). As variáveis dependentes para as análises físico-químicas também foram: DBO ($mg.L^{-1}$) e DQO ($mg.L^{-1}$). Assim como, para as análises microbiológicas foram: coliforme totais ($UFC.mL^{-1}$) e coliformes termotolerantes (*E. coli*) ($UFC.mL^{-1}$). O ensaio utilizando os fatores: $t=10$ h, $C_M=2$ $g.L^{-1}$ e $pH=6$ apresentou menor valor de DQO igual a 7,3 e DBO igual a 2,8 $mg.L^{-1}$ e mostrou ser o melhor, embora ainda precisa ser mais reduzido esses valores e analisado para o uso apenas com a radiação solar. Entretanto, o ensaio utilizando os fatores: $t=4$ h e $pH=6$, fixando $C_M=2$ $g.L^{-1}$, do planejamento 2^2 , foi o que apresentou ser o mais satisfatório para essa etapa do planejamento, com valores iguais a zero, tanto para coliformes totais quanto para *E. Coli*. Os resultados encontrados mostraram-se satisfatórios na eliminação dos coliformes termotolerantes, mas especificamente a bactéria *Escherichia coli*. Entretanto, na eliminação de bactérias Coliformes presentes nas amostras apenas a radiação solar demonstrou eficiência.

Palavras-Chave: Desinfecção de Água, Análise Microbiológica, Radiação Solar.

ABSTRACT

The objective of this research was to apply the seed powder from the plant called *Moringa Oleífera Lam*, from the maceration process of this seed, together with solar radiation, in the treatment of water used for human consumption. In this work, water samples were collected in different artesian wells, located in the municipality of Cabo de Santo Agostinho/PE, located in the beaches of Enseada dos Corais and Gaibu, as well as, in the neighborhood of Ponte dos Carvalhos, being carried out physical-chemical and microbiological analyses, to determine the well that would be carried out this previous

treatment, monitoring, mainly, its efficiency in bacterial removal. Two types of experimental planning were carried out, the first using a complete factor 23, with 2 levels and 3 factors, in order to evaluate the influence of the parameters: Moringa Oleifera (CM) seed dust concentration in (g.L^{-1}), solar radiation exposure time (t) in (h) and the Hydrogenic potential (pH), regarding the response variable for BOD (Biological Oxygen Demand) and COD (Chemical Oxygen Demand). As well, total coliforms and thermotolerant coliforms, especially *Escherichia coli*. In the other tests, the complete factorial planning 22, with two levels and two factors, showed two independent variables: 1) the (CM) in (g.L^{-1}) and the (pH) and 2) the (t) in (h) and the (pH). The dependent variables for the physical-chemical analysis were also: BOD (mg.L^{-1}) and COD (mg.L^{-1}). As well, for microbiological analyses were: total coliform (UFC. mL^{-1}) and thermotolerant coliforms (*E. coli*) (UFC. mL^{-1}). The assay using the factors: $t=10$ h, $\text{CM}= 2 \text{ g.L}^{-1}$ and $\text{pH}= 6$ showed lower COD value equal to 7.3 and BOD equal to 2.8 mg.L^{-1} and proved to be the best, although these values still need to be further reduced and analyzed for use with solar radiation only. However, the test using the factors: $t=4$ h and $\text{pH}= 6$, fixing $\text{CM}= 2 \text{ g.L}^{-1}$, from planning 22, was the most satisfactory for this planning stage, with values equal to zero, both for total coliforms and for *E. Coli*. The results found were satisfactory in the elimination of thermotolerant coliforms, but specifically the bacteria *Escherichia coli*. However, in the elimination of Coliforms bacteria present in the samples only solar radiation showed efficiency.

Keywords: Water Disinfection, Microbiological Analysis, Solar Radiation.

1 INTRODUÇÃO

Em algumas regiões e comunidades rurais, indígenas e quilombolas, onde não existe rede de água canalizada, a população consome água de diversas fontes, para a sua sobrevivência e muitas vezes sem nenhum tratamento prévio e que estão contaminadas com agentes patogênicos. Diante destes aspectos, estas pessoas captam estas águas para a sua hidratação e alimentação através dos rios, lagos, lagoas, poços e chuvas. Essa baixa qualidade de água pode ocasionar diversos malefícios à saúde humana, tais como doenças: diarreia infecciosa, cólera, leptospirose, hepatite e esquistossomose, provocando cerca de 30 mil mortes diariamente no mundo, devido á microrganismos nocivos contidos na água, tornando-se mais grave em crianças e mulheres grávidas pela sua natureza biológica (MAGALHÃES FILHO & PAULO, 2017; QUEIROZ & OLIVEIRA, 2018).

A captação de água em poços artesianos e o seu tratamento prévio é uma opção para minimizar a falta de água potável de difícil acesso às comunidades carentes, uma vez que a escassez dessa água, pode ocasionar doenças que comprometem a saúde do ser humano. A eliminação de protozoários como oocistos de *Cryptosporidium spp*, o qual é bastante resistente à cloração no tratamento de água, também tem sido um assunto de grande destaque pelos pesquisadores. A preocupação pela comunidade científica é com a qualidade da água dos poços artesianos, que abastecem diversas famílias e tem levado a busca de novas ideias para o tratamento destas águas. Sendo assim, sabendo que uma pessoa deve consumir dois litros de água por dia, para manter-se hidratado e auxiliar na manutenção do organismo,

é de suma importância o cuidado com o tipo de água que se está ingerindo (SMITH et al., 1995; SILVA et al., 1999).

Deste modo, visto à grande precariedade na qualidade da água consumida por esses segmentos da sociedade, e, levando-se em conta esta preocupação, o uso de um coagulante natural utilizando as sementes da planta *Moringa Oleífera Lam*, pode ser empregado como uma alternativa viável no tratamento de água para atender a demanda da população por água potável e de boa qualidade (DIOGO, 2010).

Os prováveis processos, tais como biológicos, físicos e químicos, atualmente também tem sido bastante utilizados e analisados, como uma tecnologia para o tratamento de água, devido às vantagens desses tipos de tratamentos, que se tornam eficientes na degradação de substâncias complexas e recalcitrantes, prejudiciais e tóxicas ao meio ambiente e à saúde dos seres vivos (BENALI et al., 2000; KUMAR et al. 2015; GARCIA-BECERRA & ORTIZ, 2018; KESSY et al., 2018; SILVA et al., 2018; YANG et al., 2018; AGRAWAL et al., 2019; LI et al., 2019). Brandão et al. (2017) pesquisaram o processo de oxidação avançada termoquímica, no tratamento de água contendo efluentes fenólico chamado tratamento térmico por contato direto (DiCTT), sendo este processo monitorado desde a degradação oxidativa até a mineralização do composto orgânico e a formação de ácidos.

Segundo Silva et al. (2020) foi comparado a aplicabilidade do sulfato de alumínio e das sementes de *Moringa Oleífera Lam* pulverizadas, no processo de clarificação do efluente proveniente da lavagem de automóveis. Tendo em vista que, durante a técnica utilizada na lavagem de um carro, de acordo com o tamanho do veículo, normalmente é gerado, em média, entre 150 e 600 litros de efluente por veículo. Isso possibilita a obtenção de um efluente com alto teor de carga orgânica e que são liberados no meio ambiente sem um tratamento prévio, contendo material particulado, areia, óleos, graxas, metais pesados e surfactantes, dentre outros compostos. Neste sentido, permanece a necessidade de propor uma prática de reaproveitamento dos efluentes para que as empresas usem uma técnica sustentável para obtenção de água limpa (GÖNDER et al., 2017).

O tratamento de água, pode acarretar em uma redução no desperdício de elevados volumes de água potável, gerando benefícios ao meio ambiente e corpos d'água naturais, reduzindo os impactos da propagação de algas e eutrofização, diminuições no uso de produtos químicos para tratamento de águas residuais, assim como também, reduções dos gases de efeito estufa que são emitidos diariamente ao meio ambiente (De GOIS; RIOS; COSTANZI, 2015; WAN et al., 2018; SANTANA et al., 2019).

O processo de coagulação é geralmente usado em estações de tratamento de águas, contendo elevadas cargas de matéria suspensa, visando reduzir a concentração de sólidos em suspensão,

partículas coloidais não sedimentares e patógenos em suspensão, diminuindo assim, a aparência, tais como, cor, odor e turbidez, e, com isso, possibilitar a melhoria na qualidade da água (CHEN et al., 2018; MEGERSA et al., 2019). Sendo assim, a aparência visível de uma fonte de água limpa e tratada costuma ser observada e analisada pela população que costuma consumir desses aquíferos. Logo, essas águas quando estão sem um aspecto visual límpido, possibilita muitas vezes a não utilização pela maioria dos consumidores (LIMA Jr. & ABREU, 2018). Diante destes aspectos, os sólidos em suspensão totais e a turbidez são considerados fatores relevantes, devido a interferência que podem apresentar nos métodos de desinfecção, propiciando a formação de prováveis aglomerados de contaminantes. Esses fatores podem causar diversas doenças na saúde humana, tais como, vírus, bactérias e protozoários, dificultando assim, o aproveitamento da água de reuso, além de acarretar sérios problemas com a irrigação por aspersão (REZENDE, 2016; LIMA Jr. & ABREU, 2018).

Na etapa de coagulação que é um processo físico-químico em que é realizado pela adição de uma determinada quantidade de coagulantes, ocorre a floculação, e assim, as micropartículas de características coloidais iniciam o processo de aglomeração, seguido da formação de flocos maiores, com capacidade para a sedimentação dessas partículas. Normalmente são utilizados sais inorgânicos de alumínio ou ferro, que, em solução são dissociados em íons trivalentes (Al^{3+} e Fe^{3+}), hidrolisados e que se transformam em complexos de íons positivos (RIBEIRO, 2015; SILLANPÄÄ, et al., 2018).

Os óxidos de titânio também são utilizados nas pesquisas científicas no tratamento da água, pois apresentam a capacidade de remoção da turbidez, da matéria orgânica, além do reuso do lodo produzido no processo. Assim como também, os polímeros sintéticos (orgânicos ou inorgânicos), tais como, poliacrilamida, ácido poliacrílico, poli (cloreto de dialil dimetil amônio) e poliamina (LIMA Jr & ABREU, 2018; WAN et al., 2018; MEGERSA et al., 2019).

As maiores desvantagens da utilização de coagulantes químicos são os impactos ambientais ocasionados, os elevados volumes de lodo produzidos, com concentrações de íons metálicos, inorgânicos, não biodegradáveis e tóxicos, além da destinação dos resíduos descartados na etapa final do processo, necessitando de um posterior tratamento secundário, elevando assim, o custo do processo. Outros problemas graves também devem ser considerados, e são referentes a saúde humana, devido à exposição desses metais, em especial ao alumínio, que possibilita a formação de doenças neurodegenerativas, tais como, Parkinson e Alzheimer (SILVA et al., 2020).

A partir desse contexto, é de extrema relevância a necessidade do uso de técnicas apropriadas capazes de minimizar as consequências provocadas por esses coagulantes químicos, tais como, o uso de coagulantes naturais. Diversas pesquisas científicas têm sido reportados na literatura, a fim de

analisar uma forma sustentável, econômica e capaz de reduzir os danos potenciais provocados ao meio ambiente e à saúde humana, sendo o uso desses coagulantes naturais utilizados tradicionalmente para o tratamento da água, devido a serem bastante eficazes (MEGERSA et al., 2019; VUNAIM et al., 2019). Esses produtos geram outros compostos secundários, que não demonstram apresentar riscos à saúde humana, sendo os custos do processo ainda menores. Além disso, não necessitam de um controle do pH, geram baixo volume de lodo, que posteriormente pode ser utilizado para a adubação, devido às baixas concentrações de substâncias tóxicas e metais presentes (RIBEIRO, 2015). Portanto, esses biocoagulantes apresentam um grande interesse pela comunidade científica, dentre os quais destacam-se, as sementes de *Moringa Oleífera*, que têm sido utilizadas como coagulante de impurezas presentes na água (VUNAIM et al., 2019; MOULIN et al., 2019).

A cada 100 gramas do pó das sementes, cerca de 40% são compostos de proteína catiônica de alto peso molecular, que desestabiliza as partículas contidas na água e através de um processo de neutralização e floculação estes pós tendem a se sedimentar (BRASIL, 2013). Essas sementes apresentam propriedades coagulantes e bactericidas.

A utilização de sementes da *Moringa Oleífera* demonstra ser um método eficiente e prático, principalmente quando aliado a radiação solar, pois inúmeros agentes patogênicos contidos na água são sensíveis ao calor e à radiação Ultravioleta (UV). As pesquisas recentes demonstram que os microrganismos presentes na água, quando expostos a radiação UV induzida, cuja fonte é o sol, tem o seu mecanismo de DNA (Ácido Desoxirribonucleico) e enzimas das células vivas afetados, modificando a sua estrutura molecular presente no núcleo das células causando a sua destruição (BRYANT et al., 1992; EAWAG & SANDEC, 2002).

O processo de tratamento de águas de poços com o pó da semente da *Moringa Oleífera* e a desinfecção solar é um método natural e sustentável, o qual não agride o meio ambiente e não compromete a qualidade da água, sendo considerado um tratamento natural e de fácil acesso. O coagulante à base de sementes desta planta possui significativa vantagem, quando comparado ao coagulante químico, sulfato de alumínio- $Al_2(SO_4)_3$, principalmente para pequenas comunidades que necessitam de uma água tratada. A *Moringa Oleífera*, pertencente à família Moringaceae, conhecida também como Lírio Branco ou Acácia Branca, sendo uma planta nativa da Índia, que está bem adaptada as condições climáticas do Brasil e das regiões semiáridas (VIEIRA et al., 2018; AZEVEDO et al., 2020). A sua semente pode ser utilizada no tratamento de água, uma vez que contém proteínas com baixo peso molecular e quando o seu pó é dissolvido em água adquirem cargas positivas, que atraem partículas negativamente carregadas, tais como: argilas e siltes, formando flocos densos que

sedimentam. Sendo assim, possibilita deixar a água livre de microorganismos e outros elementos contidos na mesma (THEODORO, 2012; LIMA, 2015). A forragem de *Moringa* pode também ser obtida na forma fresca, desidratada, além de ser contida a partir de técnicas de ensilagem ou fenação (OLIVEIRA et al., 2017).

O presente trabalho tem como principal objetivo a aplicação do pó da semente da planta denominada *Moringa Oleífera Lam*, juntamente com a radiação solar, no tratamento da água utilizada coletadas em diferentes poços artesianos, para análises microbiológicas e físico-químicas. Assim, foram monitorados a sua eficiência na remoção bacteriana, e avaliados a influência dos parâmetros: Concentração do pó da semente da *Moringa Oleífera* (C_M) em ($g.L^{-1}$), o tempo de exposição da radiação solar (t) em (h) e o potencial Hidrogeniônico (pH), na obtenção da variável resposta para DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio), coliformes totais e coliformes termotolerantes, em especial a *Escherichia coli*. E, a partir desse contexto, reduzir os riscos inerentes à água quando não tratada, buscando um método sustentável, natural, eficiente, prático e sem ocasionar danos à saúde humana.

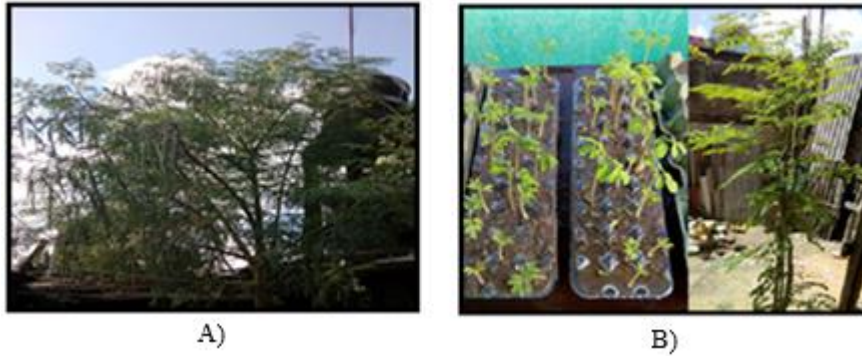
2 METODOLOGIA

2.1 MORINGA OLEÍFERA

A *Moringa Oleífera* (*M.O.*) é uma planta nativa da Ásia e, como as suas sementes apresentam propriedades coagulantes e bactericidas, esta semente tem sido utilizada nos processos de tratamento da água destinada ao consumo humano. A cada 100 gramas do pó das sementes, cerca de 40% são compostos de proteína catiônica de alto peso molecular, que desestabiliza as partículas contidas na água e através de um processo de neutralização e floculação estas tendem a se sedimentar (BRASIL, 2013).

Nesta pesquisa, todas as sementes foram coletadas em uma árvore da planta *Moringa Oleífera* adulta e de quase 5 metros de altura (Figura 1A), e também mudas da *M.O. Lam* (Figura 1B), para posteriores estudos científicos, numa região onde o clima é do tipo tropical com estação chuvosa no outono-inverno. A precipitação anual média é de 1.660 mm e a temperatura média anual fica em torno de 25°C.

Figura 1. A) Árvore de *Moringa Oleífera* adulta; B) Cultivo de mudas de *Moringa Oleífera* Lam e o seu desenvolvimento.

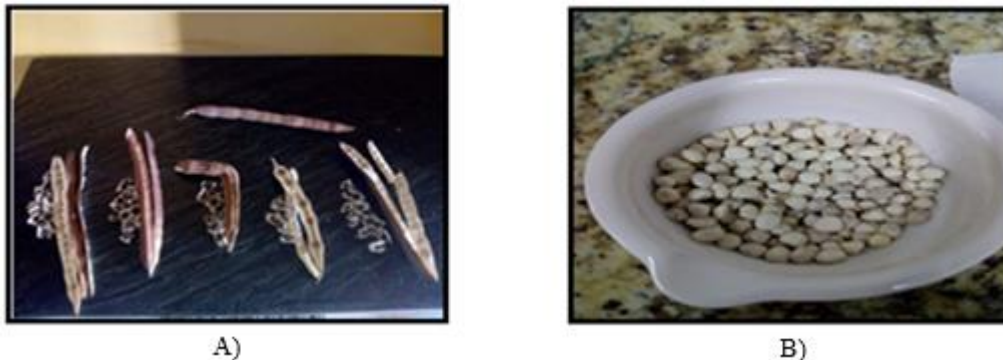


Fonte: Autor.

2.2 EXTRAÇÃO DO PÓ DAS SEMENTES DA *MORINGA OLEÍFERA*

Na realização do tratamento da água de poço com o coagulante natural a base do pó da semente da *Moringa Oleífera* Lam foi necessária o maceramento das sementes, sendo este trabalho realizado no Laboratório de Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UFRPE - UACSA). Nesta etapa da pesquisa, as vagens da *Moringa Oleífera* foram colhidas no mês de janeiro de 2019 e foi realizada uma separação das sementes, que estavam no interior das vagens (Figura 2A) e seriam utilizadas para a extração do pó. No entanto, essas sementes *in natura* ainda não puderam ter as suas amêndoas (Figura 2B) maceradas, pois possuem um certo teor de umidade, dificultando o processo de maceração.

Figura 2. A) Vagens e sementes de *Moringa Oleífera*; B) Amêndoa das sementes de *Moringa Oleífera*.



Fonte: Autor.

Assim, as amêndoas foram submetidas à secagem em estufa a 50 °C por um período de 24 horas (KATAYON et al., 2006). Logo após esta etapa na estufa, as amêndoas foram maceradas com o auxílio de um almofariz e pistilo, e em seguida, as amostras foram peneiradas (Figura 3A), em peneira 100 mesh para a obtenção de um pó, sendo submetida a uma balança analítica para a pesagem das concentrações, conforme o planejamento experimental. Nesta etapa, foram utilizados 2, 4 e 6 gramas

do pó da semente, os quais foram pesados em balança analítica de precisão e armazenados em sacos plásticos (Figura 3B), a fim de serem utilizados em um 1L de água a ser tratada, conforme definido no planejamento experimental, que tem a finalidade de determinar a condição otimizada para o tratamento da água.

Figura 3. Pó das sementes de Moringa Oleífera: A) Macerados; B) Armazenados.



Fonte: Autor.

Os experimentos foram realizados a partir de 11 ensaios em duplicada cada, totalizando 22 experimentos em cada planejamento experimental, e obtendo a sua referida média aritmética, incluindo já nestas análises 3 repetições no ponto central.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam uma descrição dos valores utilizados para os planejamentos fatoriais completos 2^3 , 2^2 e 2^2 , respectivamente.

Tabela 1. Definição do planejamento fatorial completo 2^3 a ser estudado.

Variáveis	Nível (-1)	Ponto Central (0)	Nível (+1)
Tempo (h)	4	7	10
C_M (g.L ⁻¹)	2	4	6
pH	6	6,5	7

Tabela 2. Definição da primeira etapa do planejamento fatorial 2^2 a ser estudado.

Variáveis	Nível (-1)	Ponto Central (0)	Nível (+1)
C_M (g.L ⁻¹)	2	4	6
pH	6	6,5	7

Tabela 3. Definição da segunda etapa do planejamento fatorial 2^2 a ser estudado.

Variáveis	Nível (-1)	Ponto Central (0)	Nível (+1)
Tempo (h)	4	7	10
pH	6	6,5	7

O primeiro planejamento fatorial completo 2^3 com dois níveis e três fatores, na Tabela 1, apresentou três variáveis independentes e experimentais: a concentração do pó da semente da *Moringa Oleífera* (C_M) em ($g.L^{-1}$), o tempo de exposição da radiação solar (t) em (h) e o potencial Hidrogeniônico (pH). As variáveis dependentes nesta fase das referidas análises, a fim de se obter com maior precisão e exatidão dos resultados as melhores condições operacionais otimizadas, nas faixas de variação estudadas, no que se refere as análises físico-químicas foram: DBO ($mg.L^{-1}$) e DQO ($mg.L^{-1}$). Assim como também, no que se refere as análises microbiológicas foram: coliforme totais ($UFC.mL^{-1}$) e coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*) ($UFC.mL^{-1}$).

Nos demais ensaios, o planejamento fatorial completo 2^2 com dois níveis e dois fatores mostrou duas variáveis independentes e experimentais: 1) a concentração do pó da semente da *Moringa Oleífera* (C_M) em ($g.L^{-1}$) e o potencial Hidrogeniônico (pH); 2) o tempo de exposição da radiação solar (t) em (h) e o potencial Hidrogeniônico (pH). As variáveis dependentes nesta fase do trabalho, nas faixas de variação estudadas, no que se refere as análises físico-químicas também foram: DBO ($mg.L^{-1}$) e DQO ($mg.L^{-1}$). Assim como também, no que se refere as análises microbiológicas foram: coliforme totais ($UFC.mL^{-1}$) e coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*) ($UFC.mL^{-1}$).

2.3 COLETA E ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUA DOS POÇOS ARTESIANOS

A presente pesquisa foi realizada na cidade do Cabo de Santo Agostinho, estado de Pernambuco, tendo como finalidade tratar água de poços através de processos naturais e de fácil manuseio, seguindo o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004, que dispõe sobre as Normas de Qualidade da Água para Consumo Humano. De acordo com esta normatização, a água potável deve apresentar ausência de *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes por 100 mL da amostra, possibilitando uma melhoria na qualidade de vida do consumidor, reduzindo assim, os riscos inerentes à ingestão de água contaminada, utilizando a semente da *Moringa Oleífera* e da radiação solar (BRASIL, 2005). A Tabela 4 mostra as especificações da água em referência ao padrão microbiológico de potabilidade da água destinada para o consumo humano.

Tabela 4. Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano.

Parâmetro	VMP ⁽¹⁾
Água para consumo humano ⁽²⁾	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes	Ausência em 100 mL
Água na saída do tratamento	
Coliformes Totais	Ausência em 100 mL
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede)	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes ⁽³⁾	Ausência em 100 mL
Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês: Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês. Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês: Apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100 mL.

Notas: (1) Valor Máximo Permitido; (2) água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras; (3) a detecção de *Escherichia coli* deve ser preferencialmente adotada. Fonte: Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004 (BRASIL, 2005).

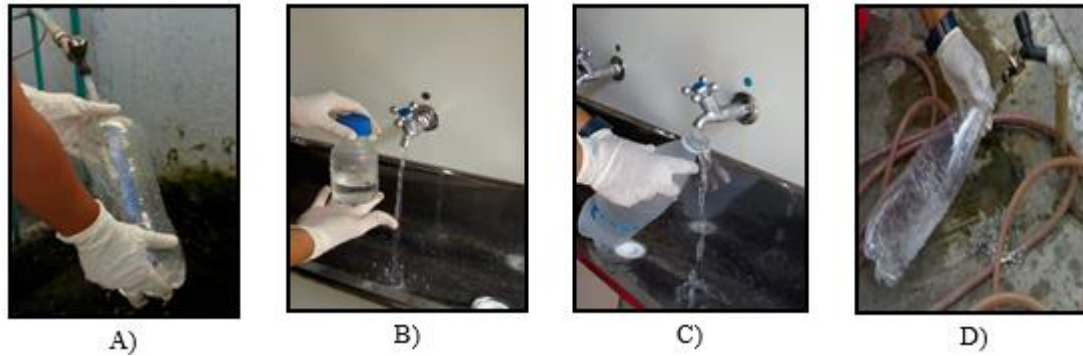
Todos os procedimentos e parâmetros utilizados para a coleta das amostras de água dos poços nesta pesquisa seguiram as normas estabelecidas pelo Ministério da Saúde, de acordo com as orientações técnicas para a coleta, acondicionamento e transporte das amostras de água para consumo humano (BRASIL, 2013).

Neste trabalho foi realizada coletas das amostras de água em poços, tendo como critério o fator de existirem pessoas que consomem a água sem realizar nenhum tipo de tratamento. As coletas foram feitas na localização do Bairro de Ponte dos Carvalhos, Cabo de Santo Agostinho-PE sendo: um poço localizado na Feira Livre de Ponte dos Carvalhos e outro poço localizado em uma vila residencial. Ambos os poços apresentam 15 metros de profundidade, tendo sido perfurado há cerca de 25 anos. As amostras foram submetidas à análise físico-química e microbiológica no Laboratório da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)/Departamento de Engenharia Química (DEQ). Em ambos os poços foram detectadas bactérias do grupo coliformes, sendo que a amostra do poço localizado na Feira Livre de Ponte dos Carvalhos, de acordo com os resultados apresentados obteve um grau de contaminação mais elevado, sendo o escolhido para ser trabalhado durante a pesquisa, tendo as coordenadas: latitude de-08.23532 W, longitude de -34.98164 W e precisão em 40.151 metros.

A Figura 4 mostra o local das coletas que foram realizadas em alguns poços para as análises de água na referida pesquisa.

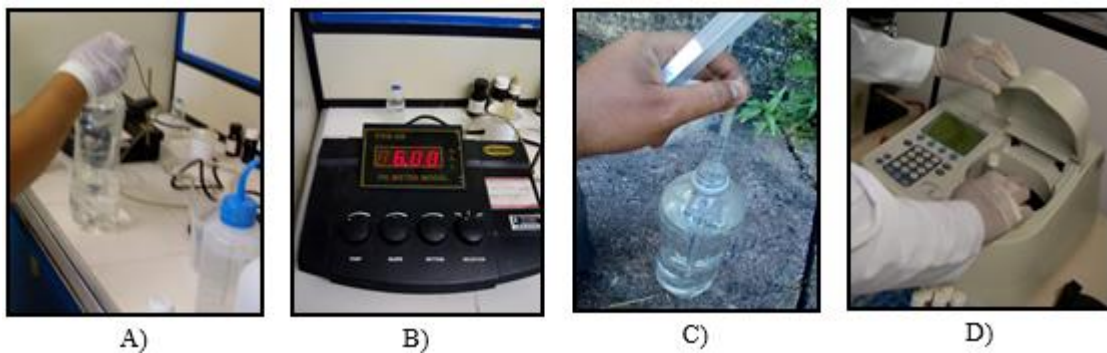
A Figura 5 mostra a realização das análises físico-química e alguns equipamentos utilizados. As amostras foram medidas no Laboratório de Processos Catalíticos (LPC)/DEQ-UFPE para as análises de água de poço da referida pesquisa.

Figura 4. Coleta dos poços localizados: A) Na Feira Livre de Ponte dos Carvalhos; B) Na Escola Estadual Fernando Soares; C) Uma pousada; D) Uma vila residencial.



Fonte: Autor.

Figura 5. Medida das análises físico-química e os equipamentos utilizados: A) medida do pH; B) aparelho pH-metro; C) medida da temperatura com termômetro; D) aparelho espectrofotômetro.



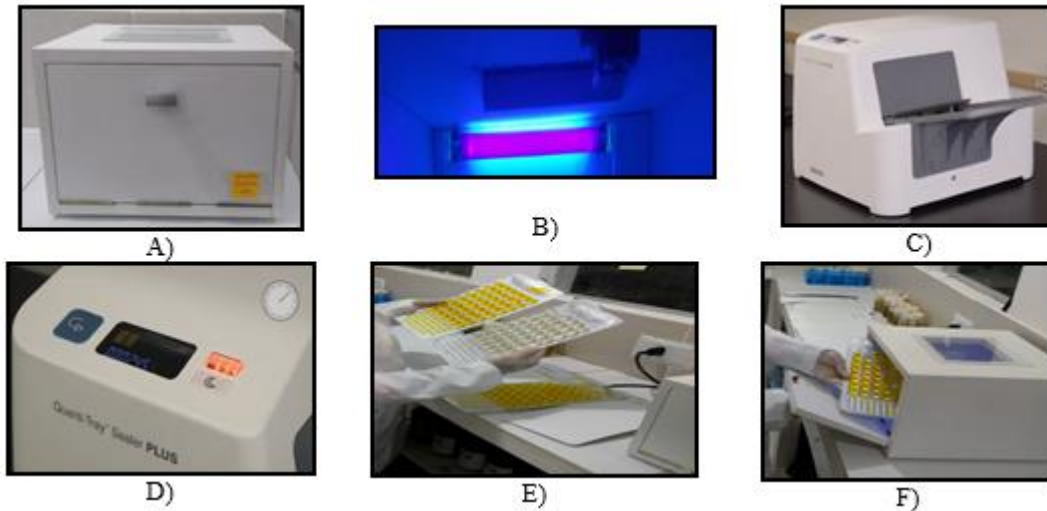
Fonte: Autor.

A Figura 6 mostra a caixa de leitura contendo internamente uma lâmpada UV-A de 365 nm e 6W para irradiação das amostras, a seladora para vedar as amostras e posterior análise microbiológica com as cartelas quanti-tray/2.000 contendo o Colilert.

O método Colilert-18 com sistema quanti-tray/2.000 determina o número de coliformes e *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes em uma amostra de água, contendo 97 cavidades, e fornece contagem até 2.419 por cada amostra de 100 mL sem diluições. A Figura 7 mostra um esquema das etapas citadas para este método Colilert-18 com sistema quanti-tray utilizado. Nesta análise tiveram várias etapas: inicialmente a mistura da amostra contendo o Colilert foi adicionada no interior da cartela quanti-tray; a amostra contida na cartela foi posicionada no interior da cartela de borracha; o

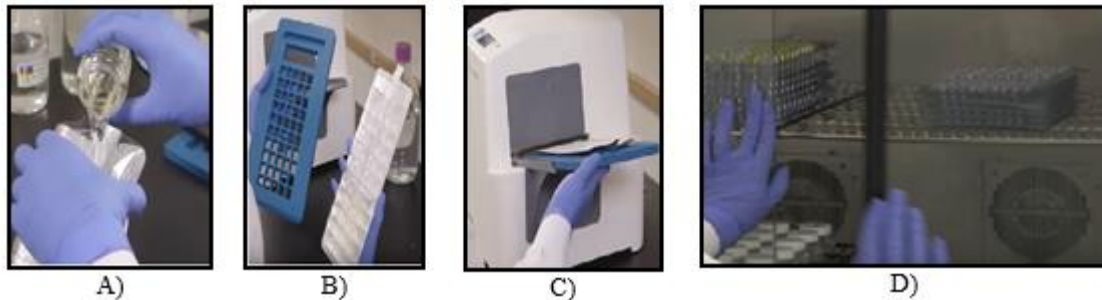
revestimento contendo a cartela foi colocado na seladora; a cartela foi injetada pela seladora com a mistura já selada; em seguida, a cartela selada foi incubada por 18 horas a $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 6. Medida das análises microbiológicas e os equipamentos utilizados: A) caixa de leitura e irradiação; B) lâmpada UV; C) e D) seladora; E) cartela contendo Colilert; F) irradiação da amostra.



Fonte: Autor.

Figura 7. Esquema das etapas para o método Colilert-18 com sistema quanti-tray/2.000.



Fonte: Autor.

2.4 DESINFECÇÃO SOLAR

Nesta etapa da pesquisa, inicialmente a amostra de água foi colocada em recipientes de plásticos de 1L contendo uma torneira. Foi adicionado o pó da semente da *Moringa Oleífera*, sendo misturada sob agitação constante e com movimentos circulares durante 5 minutos na amostra da água coletada do referido poço, a fim de iniciar o tratamento com este pó. A Figura 8A mostra o recipiente contendo a água a ser tratada inicialmente com o pó da semente da *Moringa Oleífera*. Na Figura 8B está representada a decantação de grande parte das partículas sólidas presentes na amostra de água a ser analisada, juntamente também com o pó da semente, observando que estas partículas se decantaram no fundo do recipiente. Após esta etapa, a amostra de água contida no vasilhame foi transferida lentamente

com a abertura da torneira para garrafas pets até um limite de nível de água acima de 1,5 cm do fundo do recipiente.

Figura 8. A) Vasilhame contendo a água a ser tratada; B) Decantação das partículas sólidas presente na água.



Fonte: Autor.

As garrafas pets de plástico transparente com capacidade de 1 L foram escolhidas para serem utilizadas nesta etapa do trabalho, a fim de auxiliar na desinfecção solar, pois são bons condutores de luz UV-A e alcance visível do espectro solar. Estas garrafas são muito leves, não altera o sabor e são quimicamente estáveis, tendo mesmo assim, que ter alguns cuidados durante o seu uso, pois as garrafas pets sofrem deformações se aquecida acima de 65°C e também não podem ter arranhões, para não interferir no tratamento da água (EAWAG & SANDEC, 2002).

Na Figura 9 está representada um suporte de madeira que foi construído com uma chapa de zinco fixada na parte superior para que as garrafas fossem expostas a radiação, pois o zinco é um material que reflete a luz solar e ajuda no aumento da temperatura, ampliando a eficiência do tratamento.

Figura 9. A) expositor solar; B) expositor solar com as garrafas pets; C) expositor solar com as garrafas pets irradiados a luz solar.



Fonte: Autor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Em todos os 5 poços onde foram coletadas as amostras de água, inicialmente foram realizadas análises físico-químicas, tais como: DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Biológica de Oxigênio). Esses valores encontrados no espectrofotômetro servem de parâmetros para avaliar nestes referidos locais, onde está localizado o poço e como se encontra a qualidade da água que está sendo consumida por essas pessoas. Os valores obtidos de DQO e DBO estão representados na Tabela 5 com a referida descrição e localização dos poços, onde foram coletadas as amostras de água.

Tabela 5. Resultados físico-químicos das amostras de água dos poços.

Amostras	Descrição	Local	DQO (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)
AM01E	Escola Estadual	Praia de Gaibu	176,3	70,5
AM02C	Casa Residencial	Praia de Enseada	91,3	36,5
AM03P	Pousada	Praia de Enseada	26,3	10,5
AM04F	Feira Livre	Ponte dos Carvalhos	<20	1,2
AM05V	Vila de Casas	Ponte dos Carvalhos	<20	0,9

De acordo com os parâmetros estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na Resolução N° 357, de 17 de março de 2005, foi concluído que as amostras AM01E, AM02C e AM03P estão fora do limite máximo estabelecido, que é de 3 mg. L⁻¹ O₂ para águas doce classe 1, ou seja, destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento simples. Enquanto, as amostras AM04F e AM05V estão dentro do limite estabelecido. De acordo com os resultados encontrados nas amostras que se encontram fora dos parâmetros, estas demonstram que as mesmas precisam de acompanhamento/monitoramento, a fim de avaliar melhor o efeito destes valores encontrados, pois a DQO e a DBO são análises importantes que devem ser também analisadas para uma água ser considerada potável e de boa qualidade para ser consumida.

3.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICA COM USO DO COLILERT

A Tabela 6 mostra os resultados encontrados com a referida descrição e localização dos poços, onde foram coletados as amostras de água e os riscos que cada poço representa para a população que consome desta água.

Tabela 6. Resultados das amostras de água, após análises microbiológicas.

Amostras	Descrição	Local	Nível de Risco
AM01E	Escola Estadual	Praia de Gaibu	Nenhum
AM02C	Casa Residencial	Praia de Enseadas	Baixo
AM03P	Pousada	Praia de Enseadas	Nenhum
AM04F	Feira Livre	Ponte dos Carvalhos	Muito Elevado
AM05V	Vila de Casas	Ponte dos Carvalhos	Intermediário

De acordo com os parâmetros estabelecidos pelo Ministério da Saúde e pela Organização Mundial da Saúde (OMS) foi concluído que a amostra AM04F demonstrou um nível de contaminação mais preocupante, e por esse motivo foi à escolhida para ser trabalhada durante a pesquisa. Com esse resultado foi possível aplicar o planejamento elaborado e observar a eficiência do tratamento com os recursos naturais para a análise microbiológica, que é o foco principal deste trabalho. A Tabela 7 mostra os resultados encontrados com a referida descrição e localização dos poços, onde foram coletados as amostras de água e os riscos que cada poço representa para a população que consome desta água.

Tabela 7. Classificação de coliformes totais e fecais na água de abastecimento.

Número de coliformes em 100 mL	Nível de Risco
0	Em conformidade com as diretrizes da OMS (1993)
1 – 10	Baixo
10 – 100	Intermediário
100 – 1000	Elevado
>1000	Muito elevado

Fonte: MEIERHOFER & WEGELIN (2002).

3.2.1 Uso do colilert

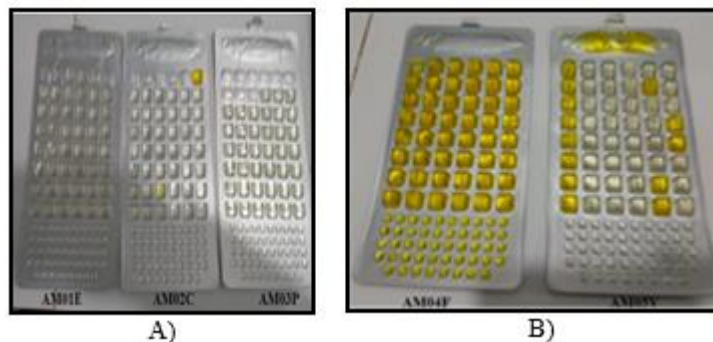
A técnica que emprega o uso do colilert tem como principal finalidade, o reconhecimento dos micro-organismos através da análise de suas enzimas típicas, sendo o tempo estimado para o ensaio de 24 horas. O meio utilizado contém dois substratos para identificar as enzimas: o cromogênico orto-nitrofenil- β -D-galactopiranosídeo (ONPG) e fluorogênico 4-metilumbeliferil- β -D-glucoronídeo (MUG), que detectam as bactérias do grupo coliforme total e *Escherichia coli* em amostras de água. O substrato cromogênico ONPG é utilizado para a detecção da enzima específica do grupo coliformes totais, a β -galactosidase, que hidroliza o ONPG a orto-nitrofenol resultando na mudança de coloração do meio para amarelo. Na detecção de *E. coli*, o substrato MUG sofre a ação da enzima β -glucuronidase, que é típica desta bactéria. Na etapa de degradação, o MUG libera a 4-metilumbeliferona que, quando exposta a luz ultravioleta, ocorre fluorescência (NDABIGENGESERE

& NARASIAH, 1998; MEIERHOFER & WEGELIN, 2002; MARQUEZI, 2010; SILVA et al., 2010; IDEXX, 2019; MMA, 2019).

Na Figura 10 está representada o sistema quanti-tray/2.000, que determina o número de coliformes e *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes nas amostras de água de poço analisadas neste trabalho. Nesta foi observado que a amostra AM04F demonstrou de fato um nível de contaminação superior à da outra amostra, principalmente através da mudança de coloração do meio para amarelo, confirmando ser de nível de risco muito elevado e que deve ser priorizada para o tratamento da água com o pó da semente da *Moringa Oleífera*.

Assim, se o meio permanecer incolor, indica ausência de bactérias do grupo coliforme e *Escherichia coli* na amostra. Se o meio apresentar a sua cor alterada para amarelo e não apresentar fluorescência sob luz UV, indica presença de bactérias do grupo coliforme e ausência de *Escherichia coli* na amostra. Se a cor do meio ficar alterada para amarela e apresentar fluorescência sob luz UV, significa que bactérias do grupo coliforme e *Escherichia coli* estão presentes na amostra analisada, conforme representado na Figura 10 (MARQUEZI, 2010; FERNANDES, 2015).

Figura 10. Cartela contendo Colilert.



Fonte: Autor.

3.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS PARA DBO E DQO A PARTIR DO PLANEJAMENTO FATORIAL 2^3 E 2^2

As análises a seguir mostram os resultados dos ensaios físico-químicos, que foram obtidos a partir do planejamento fatorial 2^3 para as variáveis: Radiação Solar (RS) mais o Pó da Semente (PS). Assim como, para o planejamento fatorial 2^2 apenas a variável: Pó da Semente (PS) e Radiação Solar (RS).

Nesta etapa da pesquisa, foram realizados todos os 11 ensaios em duplicada cada, com a sua referida média aritmética e 3 repetições no ponto central, para o planejamento fatorial completo 2^3 , com dois níveis e três fatores e para o planejamento fatorial completo 2^2 , com dois níveis e dois fatores.

As três variáveis independentes para o planejamento fatorial completo 2^3 de entrada foram: a concentração do pó da semente da *Moringa Oleífera* (C_M) em ($g.L^{-1}$), o tempo de exposição da radiação solar (t) em (h) e o potencial Hidrogeniônico (pH). Entretanto, as variáveis dependentes de saída do planejamento foram: DQO ($mg.L^{-1}$) e a DBO ($mg.L^{-1}$). A Tabela 8 a seguir mostra todos os ensaios utilizando a Radiação Solar Ultravioleta (UV) e o Pó da Semente (PS) da *Moringa Oleífera Lam* para a DQO e DBO.

Tabela 8. Ensaios com radiação solar e o pó da semente da *Moringa Oleífera Lam* para a DQO e DBO.

VARIÁVEIS DE ENTRADA				VARIÁVEIS DE SAÍDA	
				RS+PS	
Ensaios	Tempo (h)	C_M ($g.L^{-1}$)	pH (-)	DQO ($mg.L^{-1}$)	DBO ($mg.L^{-1}$)
1	4	2	6	491	154,1
2	10	2	6	186	78,3
3	4	6	6	974	222
4	10	6	6	232,3	143,9
5	4	2	7	447,3	100,9
6	10	2	7	69,8	37
7	4	6	7	979	296,4
8	10	6	7	739	328,3
9	7	4	6,5	656	243,7
10	7	4	6,5	656	244,1
11	7	4	6,5	656	244,4

Na Tabela 8, o ensaio 6, com um maior tempo de exposição da radiação solar de 10 h, uma menor concentração do pó da semente da *Moringa* de $2 g.L^{-1}$ e um maior pH de 7, foi o que apresentou menor valor para a DQO, em torno de $69,8 (mg.L^{-1})$ e também para a DBO, valor igual a $37 (mg.L^{-1})$. Embora esses valores estejam ainda fora do limite estabelecido pela Resolução 357/2015 do CONAMA.

As duas variáveis independentes para o planejamento fatorial completo 2^2 de entrada foram: a concentração do pó da semente da *Moringa Oleífera* (C_M) em ($g.L^{-1}$) e o potencial Hidrogeniônico (pH). Entretanto, as variáveis dependentes de saída do planejamento foram: DQO ($mg.L^{-1}$) e a DBO ($mg.L^{-1}$). A Tabela 9 a seguir mostra todos os ensaios utilizando apenas o pó da semente (PS) da *Moringa Oleífera Lam* para a DQO e DBO.

Tabela 9. Ensaios com apenas o pó da semente da *Moringa Oleífera Lam* para a DQO e DBO.

VARIÁVEIS DE ENTRADA			VARIÁVEIS DE SAÍDA	
Ensaios	C _M (g.L ⁻¹)	pH (-)	PS	
			DQO (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)
1	2	6	516	132,4
2	2	6	194,8	99,6
3	6	6	1134	330,9
4	6	6	200	102,3
5	2	7	384	68,4
6	2	7	201	112,6
7	6	7	779	223,2
8	6	7	364,8	199,2
9	4	6,5	372,3	115,6
10	4	6,5	372,3	115,3
11	4	6,5	372,3	114,8

Na Tabela 9, o ensaio 5, com uma menor concentração do pó da semente da *Moringa* de 2 g.L⁻¹ e um maior pH de 7, foi o que apresentou melhor ensaio com menor valor para a DBO, valor igual a 68,4 (mg.L⁻¹), embora a DQO, apresentou valor mais elevado de 384 (mg.L⁻¹). Esses valores ainda estão fora do limite estabelecido pela Resolução 357/2005 do CONAMA.

As duas variáveis independentes para o planejamento fatorial completo 2² de entrada foram: o tempo de exposição da radiação solar (t) em (h) e o potencial Hidrogeniônico (pH). Entretanto, as variáveis dependentes de saída do planejamento foram: DQO (mg.L⁻¹) e a DBO (mg.L⁻¹). A Tabela 10 a seguir mostra todos os ensaios utilizando apenas a radiação solar (RS) da *Moringa Oleífera Lam* para a DQO e DBO.

Tabela 10. Ensaios com apenas a radiação solar UV para a DQO e DBO.

VARIÁVEIS DE ENTRADA			VARIÁVEIS DE SAÍDA	
Ensaios	Tempo (h)	pH (-)	RS	
			DQO (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)
1	4	6	49,8	10,4
2	10	6	7,3	2,8
3	4	6	49,8	10,4
4	10	6	7,3	2,8
5	4	7	18,5	4,6
6	10	7	14,8	4,3
7	4	7	18,5	4,6
8	10	7	14,8	4,3
9	7	6,5	7,3	4,4
10	7	6,5	7,3	4,4
11	7	6,5	7,3	4,3

A Tabela 10 mostra todos os ensaios utilizando apenas radiação solar UV para a DQO e DBO. Nesta, o ensaio 2, com um maior tempo de exposição da radiação solar de 10 h e um menor pH de 6, foi o que apresentou menor valor para a DQO, de 7,3 (mg.L⁻¹) e também para a DBO, valor igual a 2,8

(mg.L^{-1}). Todavia esses resultados apesar de estarem baixos ainda ultrapassam o limite estabelecido pela Resolução 357/2005 do CONAMA.

Nas Tabelas 8, 9 e 10 estão mostrados todos os ensaios com a eficiência que cada fator representa para a obtenção de resposta (DQO e DBO).

O ensaio 2, na Tabela 10, foi o que apresentou uma melhor eficiência no processo para essa etapa realizada, mesmo utilizando um tempo maior de 10 h, embora tanto a C_M de 2 g.L^{-1} , quanto o valor de pH igual a 6, foi o menor valor dentro do nível estudado. Neste ensaio 2, mesmo obtendo melhores valores referente aos outros ensaios, ainda precisa ser mais estudado, tendo em vista que os valores encontrados estão fora ainda do limite máximo estabelecido pela Resolução 357/2005 do CONAMA, que é de $3 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$ para águas doce classe 1, ou seja, destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento apenas com a radiação solar UV.

De acordo com dados reportados na literatura por Amaral et al. (2006), a adição do extrato de *M. Oleífera* na água, eleva de maneira acentuada a sua quantidade de matéria orgânica biodegradável, evidenciada pela elevação da DBO na água que pode atuar como substrato para multiplicação dos microrganismos presentes. Ainda assim, a utilização do extrato de semente de *Moringa* potencializou a decantação dos materiais em suspensão, fato esse que pode ser visualizado comparando-se a água tratada com a deposição natural da água sem extrato da semente. Nesse estudo foi observado as médias geométricas da DBO nas amostras de água com turbidez entre 30–40 UNT e 200–250 UNT, e no sedimento, antes e após a adição do extrato de *Moringa* e a decantação de 24 h, foram: 1) Água com extrato da *M. Oleífera* para uma turbidez entre 30 à 40 UNT–DBO igual a $26,6 \text{ mg.L}^{-1}$ e para sedimento da água com extrato de moringa–DBO igual a 271 mg.L^{-1} ; 2) Água com extrato da *M. Oleífera* para uma turbidez entre 200 à 250 UNT–DBO igual a 72 mg.L^{-1} e para sedimento da água com extrato de *M.O.*–DBO igual a 295 mg.L^{-1} .

Azevedo et al. (2020) avaliaram as amostras de silagens de capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum*) com níveis de adição de *Moringa oleífera Lam* no que se refere as propriedades sensoriais, o modelo fermentativo e a composição químico-bromatológica. Logo, foi representado elevações nos valores de pH dessas amostras contendo 5%, 10% e 15% de *Moringa* durante 50 horas de exposição aeróbia. As silagens contendo 15% de *Moringa* mostraram os valores altos de pH (3,39–8,12), devido a deterioração pela ação dos microrganismos aeróbios. Entretanto, as silagens sem aditivo e com adição de 20% de *Moringa*, se mantiveram dentro da faixa de pH ideal, pois apresentaram os menores valores, com média de 3,43.

3.4 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS PARA COLIFORMES TOTAIS E COLIFORMES TERMOTOLERANTES A PARTIR DO PLANEJAMENTO FATORIAL 2³ E 2²

Nesta etapa da pesquisa, foram realizados mais uma vez todos os 11 ensaios em duplicada cada, com a sua referida média aritmética e 3 repetições no ponto central, tanto para o planejamento fatorial completo 2³, com dois níveis e três fatores no primeiro ensaio da Tabela 11, quanto para o planejamento fatorial completo 2², com dois níveis e dois fatores nos demais ensaios das Tabelas 12 e 13, respectivamente. As três variáveis independentes para o planejamento fatorial completo 2³ de entrada foram: a Concentração do pó da semente da *Moringa Oleífera* (C_M) em (g.L⁻¹), o tempo de exposição da radiação solar (t) em (h) e o potencial Hidrogeniônico (pH). Entretanto, as variáveis dependentes de saída do planejamento foram: o Coliforme totais (UFC.mL⁻¹) e Coliforme termotolerantes (*Escherichia coli*) (UFC.mL⁻¹).

A Tabela 11 a seguir mostra todos os ensaios utilizando a radiação solar (RS) ultravioleta mais o pó da semente (PS) da *Moringa Oleífera Lam* para Coliforme totais e a *Escherichia coli*.

O ensaio 3 (Tabela 11), atingiu o menor tempo de exposição da radiação solar de 4 h, uma maior concentração do pó da semente da *Moringa* de 6 g.L⁻¹ e um menor pH de 6. Assim, esse ensaio 3 foi o que apresentou menor valor para Coliformes totais, em torno de 1553.1 (UFC.mL⁻¹) e também para a *E. coli*, valor igual a 0 (mg.L⁻¹). Embora todos os outros valores para *E. coli* também deram negativos e igual a zero. Esses resultados para coliformes totais estão bastante elevados de acordo com a Tabela 11, pois os valores de coliformes encontrados em 100 mL de amostra estão acima de 1000 (UFC.mL⁻¹), necessitando ser mais estudado.

Tabela 11. Ensaios com radiação solar mais o pó da semente da *Moringa Oleífera Lam* para Coliforme totais e Coliformes termotolerantes - *Escherichia coli*.

Ensaio	VARIÁVEIS DE ENTRADA			VARIÁVEIS DE SAÍDA	
	Tempo (h)	C _M (g.L ⁻¹)	pH (-)	Coliforme (UFC.mL ⁻¹)	<i>E. coli</i> (UFC.mL ⁻¹)
1	4	2	6	>2419,6	0
2	10	2	6	>2419,6	0
3	4	6	6	1553,1	0
4	10	6	6	>2419,6	0
5	4	2	7	>2419,6	0
6	10	2	7	>2419,6	0
7	4	6	7	>2419,6	0
8	10	6	7	>2419,6	0
9	7	4	6,5	>2419,6	0
10	7	4	6,5	>2419,6	0
11	7	4	6,5	>2419,6	0

As duas variáveis independentes para o planejamento fatorial completo 2² de entrada foram: a concentração do pó da semente da *Moringa Oleífera* (C_M) em (g.L⁻¹) e o potencial Hidrogeniônico (pH). Entretanto, as variáveis dependentes de saída do planejamento foram: Coliforme totais e a *Escherichia coli*. A Tabela 12 a seguir mostra todos os ensaios utilizando apenas o pó da semente (PS) da *Moringa Oleífera Lam* para Coliforme totais e a *Escherichia coli*.

Na Tabela 12, o ensaio 3, sem a exposição da radiação solar, uma maior concentração do pó da semente da *Moringa* de 6 g.L⁻¹ e um menor pH de 6, foi o que apresentou menor valor para Coliformes totais, em torno de 235,9 (UFC.mL⁻¹) e também para a *Escherichia coli*, valor igual a 0 (mg.L⁻¹). Embora todos os outros valores para *E. coli* também deram negativos e igual a zero. Esses resultados para coliformes totais, exceto o ensaio 3, estão bastante elevados de acordo com a OMS (1993), pois os valores de coliformes encontrados em 100 mL de amostra estão acima de 1000 (UFC.mL⁻¹), necessitando ser mais estudado.

Tabela 12. Ensaios com apenas o pó da semente da *Moringa Oleífera Lam* para Coliforme totais e Coliformes termotolerantes - *Escherichia coli*.

Ensaios	VARIÁVEIS DE ENTRADA		VARIÁVEIS DE SAÍDA	
	C _M (g.L ⁻¹)	pH (-)	PS	
			Coliforme (UFC.mL ⁻¹)	<i>E. coli</i> (UFC.mL ⁻¹)
1	2	6	>2419,6	0
2	2	6	>2419,6	0
3	6	6	235,9	0
4	6	6	>2419,6	0
5	2	7	>2419,6	0
6	2	7	>2419,6	0
7	6	7	1299,7	0
8	6	7	>2419,6	0
9	4	6,5	>2419,6	0
10	4	6,5	>2419,6	0
11	4	6,5	>2419,6	0

As duas variáveis independentes para o planejamento fatorial completo 2² de entrada foram: o tempo de exposição da radiação solar (t) em (h) e o potencial Hidrogeniônico (pH). Entretanto, as variáveis dependentes de saída do planejamento foram: Coliforme totais e a *Escherichia coli*. A Tabela 13 a seguir mostra todos os ensaios utilizando apenas radiação solar para coliformes totais e a *Escherichia coli*.

Na Tabela 13, os ensaios 1 à 4 e os ensaios 6 e 8, todos deram negativos e igual a zero, tanto coliformes quanto *E. coli*. Tendo em vista um menor e maior tempo de exposição da radiação solar de 4 h e 10h, respectivamente, assim como, um menor e maior valor de pH de 6 e 7, sendo esses resultados

bastante satisfatórios para essa etapa do planejamento. Entretanto, no ensaio 5 e 7 foi obtido um valor mais elevado para coliformes de 193,5 e 193,6, respectivamente, sendo considerado de risco elevado, de acordo com a Tabela 7. Enquanto, os ensaios 9, 10 e 11 apresentaram para coliformes, resultados bastante elevados de acordo com a Tabela 6, pois os valores de coliformes encontrado em 100 mL de amostra estão acima de 1000 (UFC.mL⁻¹), necessitando ser mais estudado.

Tabela 13. Ensaios apenas com a radiação solar para coliforme totais e coliformes termotolerantes- *Escherichia coli*.

VARIÁVEIS DE ENTRADA			VARIÁVEIS DE SAÍDA	
Ensaios	Tempo (h)	pH (-)	RS	
			Coliforme (UFC.mL ⁻¹)	<i>E. coli</i> (UFC.mL ⁻¹)
1	4	6	0	0
2	10	6	0	0
3	4	6	0	0
4	10	6	0	0
5	4	7	193,5	0
6	10	7	0	0
7	4	7	193,6	0
8	10	7	0	0
9	7	6,5	>2419,6	0
10	7	6,5	>2419,6	0
11	7	6,5	>2419,6	0

Nas Tabelas 11, 12 e 13 estão mostrados todos os ensaios com a eficiência que cada fator representa para a obtenção das respostas Coliformes e *E. coli*. O ensaio 1, na Tabela 13, foi o que apresentou tanto uma melhor eficiência no processo com valores igual a zero para essa etapa realizada, quanto foi utilizado um tempo menor de 4 h de teste e menor valor de pH igual a 6, sendo o melhor ensaio escolhido dentro do nível de planejamento estudado. Neste ensaio 1, mesmo obtendo melhores valores referente aos outros ensaios para Coliformes e *E. coli*., ainda precisa ser mais estudado, pois os valores de DQO e DBO ainda são elevados, tendo em vista que os valores encontrados estão fora ainda do limite máximo estabelecido pela Resolução 357/2005 do CONAMA, que é de 3 mg. L⁻¹ O₂ para águas doce classe 1, ou seja, destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento apenas com a radiação solar UV.

De acordo com dados reportados na literatura por Ndabigengesere e Narasiah (1998), estes autores afirmam que, sobre o aumento considerável da matéria orgânica e nutriente na água tratada com extrato de semente de *M. Oleifera*, esta semente estimula a multiplicação de *E. coli* e da microbiota saprófita. A esse respeito, estudos sobre a coagulação e redução bacteriana, utilizando o extrato de sementes de *Moringa*, nas águas turvas do Rio Nilo no Sudão, foi verificado que os microrganismos ficaram concentrados no sedimento, e nas 24h subsequentes, ocorrendo um aumento no número de

microrganismos no sobrenadante para *S. typhimurium* e *S. sonnei* e em alguns casos de *E. coli*. Esse fato reforça a necessidade da complementação do tratamento pelo extrato de semente de *Moringa* como a radiação solar.

Tavares Filho et al. (2020) avaliaram o desenvolvimento de mudas de *Moringa Oleífera* submetidas à diferentes concentrações de sais na água de irrigação e constataram que níveis de salinidade acima de $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$ interferem negativamente no desenvolvimento de mudas de *Moringa Oleífera Lam.*

Araújo, Santos & Oliveira (2020) estudaram em suas pesquisas a coagulação e a decantação no tratamento de efluente de usina de concreto, a partir do uso da *Moringa Oleífera*, onde foi avaliada a sua eficiência através do pó solúvel. Neste trabalho, foram utilizadas concentrações variando entre 1 à 5 g.L^{-1} de *M.O.*, obtendo uma redução da turbidez em 92,97% e a condutividade elétrica em 57,50%.

4 CONCLUSÃO

Na primeira etapa deste estudo foi obtida a confirmação da existência de poços artesianos com certo grau de contaminação, oferecendo riscos à saúde humana. Isto foi comprovado, através das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no início da pesquisa, onde os resultados foram alarmantes, indicando um grau de contaminação por bactérias do grupo coliformes caracterizadas por risco muito elevado, tendo sido encontrada em uma amostra com 100 mL de água, mais de 2000 bactérias do grupo coliforme.

A segunda etapa do trabalho foi à realização dos ensaios atendendo ao planejamento experimental elaborado, onde foram considerados os fatores: tempo de exposição à radiação solar, a concentração molar em grama por litro do pó da semente de *moringa* e o potencial Hidrogeniônico. Nesta fase, foram avaliadas amostras, em três situações: exposição à radiação solar mais o pó da semente (RS+PS), apenas com o pó da semente (PS) e por último, apenas com exposição à radiação solar (RS). Após esses ensaios, foram realizadas as análises microbiológicas das amostras, chegando-se à comprovar que os tratamentos da água nas três situações citadas obtiveram resultados bem satisfatórios na eliminação dos coliformes termotolerantes, mas especificamente a bactéria *Escherichia coli*. Entretanto, na eliminação de bactérias coliformes totais presentes nas amostras, apenas a radiação solar demonstrou ter mais eficiência com valores igual a zero.

REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, P.K.; SHRIVASTAVA, R.; VERMA, J. (2019) Bioremediation approaches for degradation and detoxification of polycyclic aromatic hydrocarbons. In *Emerging and eco-friendly approaches for waste management*, Springer, p. 99-119.
- AMARAL, L.A.; ROSSI JUNIOR, O.D.; SOARES & BARROS, L.S.; LORENZON, C.S.; NUNES, A.P. 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.
- AZEVEDO, M.M.R.; GUIMARAES, A. K. V.; CABRAL, I. S.; BARBOSA, C. R.; MACHADO, L. S.; PANTOJA, J. C.; AMARAL, T.E.S.; AGUIAR, A.S. Características de silagens de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) com níveis de inclusão de moringa (*Moringa oleífera* Lam.). *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.6, n.9, p.71418-71433, 2020.
- BENALI, M.; HUGRON, I.; MORIN, M.; GUY, E. C. A novel gas technology for treatment of hazardous aqueous waste streams. In: *Symposium on Energy Engineering*, Hong Kong, China, 2000.
- BRANDÃO, Y.B.; OLIVEIRA, J.G.C.; BENACHOUR, M. (2017) Phenolic Wastewaters: Definition, Sources and Treatment Processes. In: Soto-Hernández M, Palma-Tenango M, García-Mateos MR (ed) *Phenolic Compounds: Natural Sources, Importance and Applications*, 1st edn. Intech, Rijeka-Croatia, p. 323–342.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual prático de análise de água / Fundação Nacional de Saúde – 4. ed. – Brasília: Funasa, 2013.
- 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.
- BRYANT, E.A.; FULTON, G.P.; BUDD, G.C. Disinfection alternatives for safe drinking water. Van Nostrand Reinhold Ed., Nova York, EUA. 518p. 1992.
- CHEN, S.; YUAN, Z.; HANIGAN, D.; WESTERHOFF, P.; ZHAO, H.; NI, J. Coagulation behaviors of new covalently bound hybrid coagulants (CBHyC) in surface water treatment. *Separation and Purification Technology*, v. 192, p. 322–328, 2018.
- De GOIS, E.H.B.; RIOS, C.A.S.; COSTANZI, R.N. Evaluation of water conservation and reuse: a case study of a shopping mall in southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 263–271, 2015.
- DIOGO, L.A. Projeto do curso sistema de potabilização da água, n. 1, 2010.
- EAWAG & SANDEC. Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática & Departamento de Saneamento e água para países em desenvolvimento. *Desinfecção Solar Da Água - Guia De Aplicações Do Sodis*. Dübendorf, outubro, 2002.

FERNANDES, L.L.; GOIS, ROSINEIDE V. Avaliação das Principais Metodologias Aplicadas às Análises Microbiológicas de Água para Consumo Humano Voltadas para a Detecção de Coliformes Totais e Termotolerantes. Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente Jul. 2015.

GARCIA-BECERRA, F.Y.; ORTIZ, I. Biodegradation of emerging organic micropollutants in nonconventional biological wastewater treatment: A critical review. Environmental Engineering Science, v. 35, n. 10, p. 1012-1036, 2018.

GÖNDER, Z.B.; BALCIOĞLU, G., VERGILI, I.; KAYA, Y. Electrochemical treatment of carwash wastewater using Fe and Al electrode: Techno-economic analysis and sludge characterization. Journal of Environmental Management, v.200, p. 380–390, 2017.

IDEXX LABORATORIES. Disponível em: <https://www.idexx.com/pdf/en_us/water/64063001.pdf> Acesso em 18 fev. de 2019.

KATAYON, S.; NOOR, M.J.M.M.; ASMA, M.; GHANI, L.A.A.; THAMER, A.M.; AZNI, I.; AHMAD, J.; KHOR, B.C.; SULEYMAN, A.M. Effects of storage conditions of Moringa oleifera seeds on its performance in coagulation. Bioresource Technology, v.97, 2006.

KESSY H.N.E.; WANG, K.; ZHAO, L. (2018) Enrichment and biotransformation of phenolic compounds from litchi pericarps with angiotensin i-converting enzyme (ACE) inhibition activity. LWT 87: 301-309.

KUMAR G, SIVAGURUNATHAN P, PARK J-H AND KIM S-H. Anaerobic digestion of food waste to methane at various organic loading rates (olrs) and hydraulic retention times (hrts): thermophilic vs. mesophilic regimes. Environmental Engineering Research, v. 21, n. 1, p. 69-73, 2015.

LI, Y.; LIAO, X.; HULING, S.G. The combined effects of surfactant solubilization and chemical oxidation on the removal of polycyclic aromatic hydrocarbon from soil. Science Total Environmental, v. 647, p. 1106-1112, 2019.

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. Revista Virtual de Química, v. 10, n. 3, p. 709-735, 2018.

LIMA, N.M. Aplicação da Moringa Oleífera no Tratamento de Água com Turbidez. Dissertação (Mestrado) Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. 2015.

MAGALHÃES FILHO, F.J.C.; PAULO, L.P. Abastecimento de água, esgotamento doméstico e aspectos de saúde em comunidades Quilombolas no Estado de Mato Grosso do Sul. Interações (Campo Grande), v.18, n. 2, 2017.

MARQUEZI, M.C. Comparação metodológica para a estimativa do número mais provável (NMP) de coliformes em amostras de água. 2010. 111 f. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de alimentos) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz. 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde-21102010-160234/en.php>> Acesso em: 19 fev. 2019.

MEGERSA, M.; GACH, W.; BEYENE, A.; AMBELU, A.; TRIEST, L. Effect of salt solutions on coagulation performance of *Moringa stenopetala* and *Maerua subcordata* for turbid water treatment. *Separation and Purification Technology*, v. 221, p. 319–324, 2019.

MEIERHOFER, R; WEGELIN, M. Solar water disinfection: A guide for the application of SODIS. SANDEC at EAWAG, London – England. 2002.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Água – Um recurso cada vez mais ameaçado. Brasília. DF. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/sececx_consumo/_arquivos/3%20-%20mcs_agua.pdf Acesso em 18. fev.2019.

MOULIN, M.; MOSSOU, E.; SIGNOR, L.; KIEFFER-JAQUINOD, S.; KWAAMBWA, H.M., NERMARK, F.; RENNIE, A.R. Towards a molecular understanding of the water purification properties of *Moringa* seed proteins. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 554, p. 296 – 304, 2019.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K.S. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *Water Research*, v.32, n.3, 1998.

OLIVEIRA, M.V.M.; CHIODI, M.S.; FERNANDES, H.J.; LISITA, F.O.; LUZ, D.F.; SALLA, L.E. *Moringa oleifera* na alimentação de bezerros lactentes da raça Pantaneira. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.18, n.1, p.152-160, 2017

OMS. Organización Mundial De La Salud. Guías para a calidad Del agua potable. 1. ed. Ginebra, v.3, 1998.

QUEIROZ, T.M.; OLIVEIRA, L.C.P. Qualidade da água em comunidades quilombolas do Vão Grande, município de Barra do Bugres (MT). *Engenharia Sanitária Ambiental*. v. 23, n. 1, 2018.

REZENDE, A.T. Reúso Urbano de Água Para Fins não Potáveis no Brasil. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora–MG, 2016.

RIBEIRO, I. Aplicação de Coagulantes e Floculantes Orgânicos Alternativos no Pós Tratamento de Efluente de Laticínio. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira–PR, 2015.

SANTANA, M.V.E.; CORNEJO, P.K.; COROMINAS, L.; RODRÍGUEZ-RODA, I.; BUTTIGLIERI, G. Holistic life cycle assessment of water reuse in a tourist-based community. *Journal of Cleaner Production*. v.233, p. 743-752, 2019.

SILVA, M.; COELHO, M.; ARAÚJO, O. Minimization of phenol and amoniacal nitrogen in refinery wastewater employing biological treatment. *Eng Term*, v. 1, n. 2, p. 33-37, 2018.

SILVA, C.H.S.T.; NUNES, B.R.P.; SILVA, E.S.; PIRES, J.J.B.; ALMEIDA, S.N.R.; MORAIS, M.S.N.; SILVA, V.M.A.; FREITA, C.S. Avaliação comparativa de agentes coagulantes químico e

natural no tratamento do efluente da lavagem de veículos no município de Sumé-PB. *Brasilian Journal of Development*, v. 6, n. 1, p. 1670-1687, 2020.

SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, M.C.; MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINEN, M. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. *Chemosphere*, v. 190, p. 54–71, 2018.

SILVA N. Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água. 4. ed., São Paulo: Ed. Varela; 2010.

SILVA, M.B.O.; LIMA, J.D.; VIEIRA, L.S. et al. Experimental cryptosporidiosis by *Cryptosporidium parvum* in dairy goat kids. *Revista de Medicina Veterinária*, v.150, p. 827-830, 1999.

SMITH, H.V.; ROBERTSON, L.J.; ONGERTH, J.E. Cryptosporidiosis and giardiasis: the impact of waterborne transmission. *Journal Water SRT–Aqua*, v. 44, p. 258-274, 1995.

TAVARES FILHO, G.S.; SILVA, D.S.; LINS, R.C.; ARAÚJO, C.A.S.; OLIVEIRA, F.F.; MATIAS, S.S.R.; Desenvolvimento de mudas de *Moringa oleífera* (LAM) submetida a diferentes níveis de água salina. *Brasilian Journal of Development*, v. 6, n. 7, p.48671-48683, 2020.

THEODORO, J.D.P. Estudo dos Mecanismos de Coagulação/Floculação para a Obtenção de Água de Abastecimento para o Consumo Humano. 2012. Tese de Doutorado (Departamento de Engenharia Química) –Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

VIEIRA; A.M.S. AMBROSIO-UGRI, M.C.B.; NISHI, L.; SILVA, G.F.; BERGAMASCO, R. Potencial Nutricional e Aplicações da *Moringa* na Alimentação Humana e Animal. In: *Potencialidades da Moringa oleífera Lam*. Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2018.

VUNAIN, E.; MASOAMPHAMBE, E.F.; MPEKETULA, P.M.G.; MONJEREZI, M.; ETALE, A. Evaluation of coagulating efficiency and water borne pathogens reduction capacity of *Moringa oleifera* seed powder for treatment of domestic wastewater from Zomba, Malawi. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 7, p. 103 – 118, 2019.

WAN, Y.; HUANG, X.; SHI, B.; SHI, J.; HAO, H. Reduction of organic matter and disinfection byproducts formation potential by titanium, aluminum, and ferric salts coagulation for micro-polluted source water treatment. *Chemosphere*, v. 219, p. 28–35, 2018.

YANG, L.; SI, B.; MARTINS, M.A. Improve the biodegradability of post-hydrothermal liquefaction wastewater with ozone: conversion of phenols and N-heterocyclic compounds. *Water Science Technology*, v.1, p. 248–255, 2018.