

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA  
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

KARINA MICHELY LEITE DE SOUSA

ESTUDO DOS COAGULANTES NATURAIS *CEREUS JAMACARU*,  
*OPUNTIA FICUS-INDICA* E *PILOSOCEREUS GOUNELLEI*  
COMO PRÉ-TRATAMENTO PARA DESINFECÇÃO SOLAR

SERRA TALHADA

2019

KARINA MICHELY LEITE DE SOUSA

ESTUDO DOS COAGULANTES NATURAIS *CEREUS JAMACARU*,  
*OPUNTIA FICUS-INDICA* E *PILOSOCEREUS GOUNELLEI*  
COMO PRÉ-TRATAMENTO PARA DESINFECÇÃO SOLAR

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST) como requisito parcial para à obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Batista de Lima

SERRA TALHADA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca da UAST, Serra Talhada - PE, Brasil.

S725e Sousa, Karina Michely Leite de

Estudo dos coagulantes naturais cereus jamacaru, opuntia ficus-indica e pilosocereus gounellei como pré-tratamento para desinfecção solar / Karina Michely Leite de Sousa. – Serra Talhada, 2019.

47 f.: il.

Orientador: Marcelo Batista de Lima

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Química) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, 2019.

Inclui referências. 1. Água potável. 2. Turbidez da água. 3. Águas residuais - Purificação. I. Lima, Marcelo Batista de, orient. II. Título.

CDD 540

FOLHA/TERMO DE APROVAÇÃO

KARINA MICHELY LEITE DE SOUSA

ESTUDO DOS COAGULANTES NATURAIS *CEREUS JAMACARU*,  
*OPUNTIA FICUS-INDICA* E *PILOSOCEREUS GOUNELLEI*  
COMO PRÉ-TRATAMENTO PARA DESINFECÇÃO SOLAR

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST) como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Química. Pela seguinte banca examinadora:

---

Prof. Dr. Marcelo Batista de Lima  
Orientador (UFRPE/UAST)

---

Prof. Dr. Luciano Evangelista Fraga  
Examinador (UFS/Campus de Itabaiana)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra Luciana Sandra Bastos de Souza  
Examinadora (UFRPE/UAST)

Serra Talhada \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, autor de todas as coisas, por ter com sua infinita bondade me dado sabedoria para chegar até aqui e tornar possível esta importante realização em minha vida.

Aos meus pais Nildo Pereira (em memória) e Edilma Leite por terem me dado apoio, amor e incentivo necessários para continuar, mesmo em meio a tantos desafios e incertezas enfrentados durante o percurso da graduação, pois sem eles seria muito difícil vencer todos os obstáculos. Agradeço pela compreensão e dedicação em especial da minha mãe que sempre colocou a minha educação como prioridade em nossas vidas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Batista de Lima pela paciência, incentivo, compreensão, disponibilidade e contribuição científica compartilhada durante todo o período de orientação, o meu muito obrigada!

As minhas amigas de graduação Álida Beatrice e Maria Caroline pelo carinho, companheirismo em todos os momentos vividos durante o curso, por sempre acreditarem em meu potencial, nunca me deixando desistir dos meus objetivos, será um laço levado para a vida toda.

A Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) por ter disponibilizado equipamentos necessários para a realização da minha pesquisa, em especial aos técnicos Thiago Magalhães e Rafael, colegas de trabalho e grandes amigos por todo apoio e disponibilidade para me ajudar.

A todos que de direta e indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

## RESUMO

Coagulantes naturais são empregados como alternativa a um tratamento de água viável, direcionado a populações que não possuem acesso a água tratada. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade coagulante dos cactos *Cereus jamacaru* (mandacaru), *Opuntia ficus-indica* (palma) e *Pilosocereus gounellei* (xiquexique) como pré-tratamento para desinfecção por radiação solar. Foram preparados extratos ácidos com HCl 0,10 mol L<sup>-1</sup> de cada cacto, utilizando a parcela viscosa (polpa) e outros com a matéria seca proveniente da casca, todos na proporção de 2,00 g de cacto para 3,00 mL de solução extratora. Como alcalinizante foi utilizado Ca(OH)<sub>2</sub> 0,10 mol L<sup>-1</sup>. Foram realizados nove testes de coagulação e floculação em Jar Test com as condições de operação como velocidade de mistura rápida de 150 rpm e tempo de mistura rápida de 60 s, velocidade de mistura lenta de 45 rpm, tempo de mistura lenta de 900 s e tempo de sedimentação 15 min juntamente com a realização dos parâmetros de turbidez, cor e pH. As amostras de água bruta utilizadas nos testes de coagulação e floculação apresentaram os parâmetros de turbidez e cor elevados. Os testes realizados com os extratos preparados com a matéria seca não mostraram eficiência coagulante, por outro lado os que foram empregados os extratos preparados com a polpa dos três cactos demonstraram boa ação coagulante obtendo, no melhor teste, as remoções de turbidez e cor com o extrato de mandacaru 98% e 92%, palma 98% e 96% e xiquexique 98% e 96%. Após o pré-tratamento foi realizado a desinfecção por radiação solar, onde as amostras filtradas e não filtradas foram adicionadas em garrafas PET com capacidade de 2,0 L e submetidas à exposição solar por um período de 6h. Os resultados obtidos para as amostras com pré-tratamento de coagulação e floculação foi negativo para presença de coliformes totais, sendo que nenhuma amostra foi positiva para *Escherichia coli*. Desta forma, pode-se afirmar 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.

Palavras-chave: Coagulantes naturais. Água potável. Turbidez. Desinfecção solar.

## ABSTRACT

Natural coagulants are used as an alternative to a viable water treatment, targeting populations that do not have access to treated water. The objective of this work was to evaluate the coagulant capacity of *Cereus jamacaru* (mandacaru), *Opuntia ficus-indica* (palm) and *Pilosocereus gounellei* (xiquexique) cacti as a pre-treatment for disinfection by solar radiation. Acid extracts were prepared with 0.10 mol L<sup>-1</sup> HCl of each cactus, using the viscous (pulp) and others with the dry matter coming from the bark, all in the proportion of 2.00 g of cactus to 3.00 mL of extraction solution. Ca (OH) 2 0.10 mol L<sup>-1</sup> was used as the alkalizing agent. Nine tests of coagulation and flocculation were performed in Jar Test with the operating conditions as fast mixing speed of 150 rpm and fast mixing time of 60 s, slow mixing speed of 45 rpm, slow mixing time of 900 if sedimentation time 15 min along with the turbidity, color and pH parameters. The raw water samples used in the coagulation and flocculation tests presented high turbidity and color parameters. The tests performed with the extracts prepared with the dry matter did not show coagulant efficiency, on the other hand those that were used the extracts prepared with the pulp of the three cacti demonstrated good coagulant action obtaining, in the best test, the turbidity and color removals with the 98% and 92% mandacaru extract, 98% and 96% palm and 98% and 96% xiquexique. After the pre-treatment, disinfection by solar radiation was carried out, where the filtered and unfiltered samples were added in PET bottles with a capacity of 2.0 L and subjected to sun exposure for a period of 6 hours. The results obtained for the coagulation and flocculation pretreatment samples were negative for the presence of total coliforms, and no samples were positive for *Escherichia coli*. In this way, it can be affirmed that the cacti present themselves as great potential natural coagulants to be used as occasional pretreatment of real turbid waters for subsequent solar disinfection, since after the treatment all the evaluated parameters have met the established by the Brazilian legislation for drinking water.

Key words: Natural coagulants. Potable water. Turbidity. Solar disinfection.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Parâmetros de potabilidade estabelecidos pela portaria do MS nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. ....	12
Tabela 2 - Parâmetros físicos e técnicas analíticas empregadas na caracterização das amostras de água bruta e tratadas com os extratos ácidos. ....	26
Tabela 3 - Parâmetros físicos das amostras de água bruta utilizadas (N = 3). ....	29
Tabela 4 - Medidas de massa obtidas para o preparo dos extratos ácidos dos cactos com a matéria seca proveniente da polpa. ....	30
Tabela 5 - Dosagens dos coagulantes naturais e do alcalinizante em (g L <sup>-1</sup> ) utilizadas nos testes de coagulação e floculação. ....	31
Tabela 6 - Testes de remoção de turbidez e cor das amostras de água bruta a partir do coagulante natural mandacaru. ....	32
Tabela 7 - Testes de remoção de turbidez e cor das amostras de água bruta a partir do coagulante natural palma. ....	33
Tabela 8 – Testes de remoção de turbidez e cor das amostras de água bruta a partir do coagulante natural xiquexique. ....	34
Tabela 9 – Medidas de massa obtidas para o preparo dos extratos ácidos dos cactos com a matéria seca não-polposa (casca). ....	35
Tabela 10 - Dosagens dos coagulantes naturais e do alcalinizante em (g L <sup>-1</sup> ) utilizadas nos testes de coagulação e floculação para extratos a partir da casca. ....	36
Tabela 11 - Resultados microbiológicos. ....	37



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Cereus jamacaru</i> (Mandacaru) .....	17
Figura 2 - <i>Opuntia ficus-indica</i> (Palma).....	19
Figura 3 - <i>Pilosocereus gounellei</i> (xiquexique).....	20
Figura 4 - Dimerização de bases pirimídicas.....	24
Figura 5 – Sistema de desinfecção solar com coletor parabólico.....	25
Figura 6 - Amostras de água tratada em processo de desinfecção solar.....	37

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	7
1.2 Objetivo geral.....	10
1.2.1 Objetivos Específicos .....	10
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	11
2.1 Parâmetros de controle de qualidade da água potável.....	11
2.2 Turbidez da água .....	13
2.3 Processo de coagulação e floculação.....	14
2.3.1 Limitações dos coagulantes inorgânicos comerciais .....	15
2.4 Coagulantes naturais .....	16
2.4.1 <i>Cereus jamacaru</i> (Mandacaru).....	17
2.4.2 <i>Opuntia ficus-indica</i> (Palma) .....	18
2.4.3 <i>Pilosocereus gounellei</i> (xiquexique) .....	20
2.5 Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> em água potável .....	21
2.6 Desinfecção da água por radiação solar.....	24
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	26
3.1 Coleta e caracterização das amostras de cactos e de água bruta.....	26
3.2 Preparo dos extratos ácidos dos coagulantes naturais.....	27
3.3 Testes de coagulação e floculação .....	27
3.4 Processo de desinfecção por exposição à radiação solar .....	28
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
4.1. Caracterização das amostras de água bruta .....	29
4.2. Concentração dos extratos ácidos e testes de coagulação .....	30
4.3 Extratos ácidos a partir da casca dos cactos .....	35
4.4 Análise microbiológica .....	36
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	39
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	40



## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade do tratamento de água destinada ao consumo humano já compreende ao longo de décadas uma área de exaustivo interesse, controle e preocupação dos institutos de pesquisa e de órgãos governamentais em todo o mundo (MANGRICH, 2014). Essa importância destinada à qualidade no tratamento de água potável está intrinsecamente relacionado ao desenvolvimento social e econômico das comunidades urbanas e rurais, uma vez que esse acesso deve ser de direito e com qualidade a todos os cidadãos (SILVA et al., 2016).

No Brasil, é competência do ministério da saúde (MS) juntamente com a secretaria de vigilância em saúde (SVS) estabelecer parâmetros de controle e qualidade da água potável vigentes na portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. Segundo a qual, o padrão de potabilidade consiste no conjunto de valores permitidos como aceitáveis dentre os seguintes parâmetros: organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos e radioativos. (BRASIL, 2011). Comumente, são realizadas as seguintes medidas de qualidade: turbidez, cor, pH, alcalinidade, cloro residual livre e análises microbiológicas e radioatividade.

Ao que concerne à região nordeste do Brasil, essa compreende uma região distinta pelo seu clima semiárido, caracterizada por longos períodos de estiagem que afetam, sobretudo, o abastecimento de água potável em comunidades rurais. Destas comunidades, cerca de 70% dos domicílios utilizam água proveniente de cisternas e açudes sem tratamento adequado, utilizando muitas vezes aleatoriamente o Hipoclorito ( $\text{ClO}^-$ ) para desinfecção de águas a fim de suprir suas necessidades diárias básicas. Nesse contexto, a ingestão de água sem o devido tratamento de potabilidade é refletida no aumento da incidência de doenças de veiculação hídrica, tais como diarreia, amebíase, ascaridíase, esquistossomose, cólera, giardíase, teníase e disenterias (FUNASA, 2016).

Dentre os procedimentos alternativos para desinfecção de água em regiões desprovidas de tratamento regular, a desinfecção solar da água (do inglês, *solar water disinfection*, SODIS) consiste em uma alternativa eficiente, viável e de baixo custo para o tratamento da mesma contra microrganismos patogênicos de maior ocorrência. O SODIS é um método simples que pode ser aplicado em regiões com alta incidência de radiação solar, onde a água potável é escassa. Consiste na exposição da água contaminada por microrganismos à radiação solar em garrafas

transparentes de polietileno tereftalato (PET) por um período de 6 horas. A radiação solar, especificamente a radiação ultravioleta próxima ao visível (UVA), entre 300 e 400 nm, tem a capacidade de inativar muitas espécies de bactérias que são responsáveis pelo desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica (KEOGH et al., 2017; CAVALLINI et al., 2018).

Para uma melhor eficiência do SODIS é necessário dispor de água com baixa turbidez, e que não ultrapasse 30 NTU (unidade nefelométrica de turbidez, do inglês *nephelometric turbidity unity*). A turbidez acima desse valor diminui significativamente a capacidade de difusão da radiação solar (UVA) pela água inviabilizando a sua desinfecção. Nessa perspectiva, a concentração de sólidos suspensos em amostras reais de água contaminada apresenta-se em intervalos de turbidez elevadas, muitas vezes superiores a 200 NTU, necessitando de um pré-tratamento para remoção de turbidez antes do processo de desinfecção (JOYCE et al., 1996).

Se tratando de processos de clarificação de água as etapas de coagulação e floculação reflete diretamente na qualidade das etapas subsequentes do tratamento. O coagulante compreende um agente químico, que interage com as impurezas coloidais, diminuindo as forças de repulsão entre as partículas e proporcionando a aglomeração das mesmas, formando flocos que decantarão ao final do processo com mais facilidade (ZARA et al., 2012; MENEZES, 2017).

Os coagulantes inorgânicos comerciais mais utilizados para esta finalidade são o sulfato de alumínio hexadecahidratado ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ ) e o cloreto de ferro (III) hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Contudo, estes compostos têm demonstrado comportamentos ambientalmente indesejáveis como a elevada produção de lodo tóxico proveniente da decantação. Além disso, muitos estudos apontam a presença de alumínio (III) em água para consumo humano como um potencial fator para o aumento de doenças neurológicas graves como o Alzheimer (ANDRADE et al., 2014; TREVISAN, 2014).

O lançamento dos resíduos gerados nas estações de tratamento (ETAs) em corpos de água, quando não aprovado por órgãos ambientais é considerado como crime ambiental devido aos efeitos adversos causados ao ambiente aquático do corpo receptor, provocando danos à fauna aquática. Constitui-se crime ambiental, de acordo com art. 54 da lei 9605 (1998). Desta forma, é primordial a garantia do acesso à água potável livre de substâncias e elementos químicos que possam ser

prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, que auxilie em ações eficazes de precauções de doenças veiculadas pela água (SILVA; ARAÚJO, 2003).

Em contrapartida, a busca por agentes naturais que tenham propriedades coagulantes tem-se intensificado cada vez mais. A utilização de agentes coagulantes naturais como auxiliar ou substituto dos coagulantes inorgânicos comerciais incorporam inúmeros benefícios e destacam a importância da utilização produtos que diminuam cada vez mais os danos ao meio ambiente e a saúde humana (MENEZES, 2017). Como exemplo, as sementes de *Moringa oleifera* planta encontrada em toda a Índia, Ásia e África apresentam redução de turbidez de até 99,7% (ZARA et al., 2012 CAMACHO et al., 2017). Dentre as espécies vegetais estudadas e que é comprovado o seu potencial coagulante natural, merece destaque a família das cactáceas, devido a sua composição química estrutural apresentar proteínas catiônicas hidrossolúveis como o caso da *Opuntia* (figo da Índia), o cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*) também já aplicado como auxiliar no processo de coagulação (OSTROWSKI, 2014).

Nesse contexto, observa-se a necessidade de discussão e desenvolvimento de métodos alternativos como iniciativas de desenvolvimento sustentável, viáveis para a minimização de problemas ambientais e que afetam principalmente as comunidades rurais do semiárido brasileiro. No presente trabalho monográfico é proposto uma alternativa ao tratamento de água turva para o consumo humano. Através do estudo de três potenciais coagulantes naturais disponíveis em abundância na região nordeste, os cactos xiquexique (*Pilosocereus gounellei*), mandacaru (*Cereus jamacaru*) e palma (*Opuntia ficus-indica*) como pré-tratamento para desinfecção solar de água turva empregando amostras reais.

## 1.2 Objetivo geral

Avaliar os coagulantes naturais *Cereus jamacaru*, *Opuntia ficus-indica* e *Pilosocereus gounellei* no pré-tratamento para desinfecção solar de água turva empregando amostras reais.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

- Avaliar a capacidade de coagulação dos cactos *Cereus Jamacaru*, *Opuntia ficus-indica* e *Pilosocereus gounellei* na remoção de turbidez elevada em amostras reais de água;
- Otimizar valores de dosagem dos coagulantes que proporcione uma melhor remoção de cor e turbidez;
- Utilizar os cactos como pré-tratamento para desinfecção solar (SODIS), com intuito de minimizar a presença de partículas suspensas na água que dificultam a passagem da luz solar e desinfecção;
- Realizar SODIS a fim de eliminar as bactérias *Coliformes totais* (CT) e *Escherichia coli* (*E.Coli*).
- Observar e avaliar o potencial de redução dos parâmetros de turbidez, cor e pH (na faixa de 6,0 a 9,5) de acordo com os firmados na portaria do Ministério da Saúde nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Parâmetros de controle de qualidade da água potável

A água é um recurso finito, vulnerável e está diretamente relacionada ao bem-estar e a qualidade de vida da sociedade, sendo que a má qualidade do seu tratamento é responsável por diversos fatores desencadeadores de grande parte da mortalidade infantil. Sendo assim, é de grande importância ser atestada sua boa qualidade, sobretudo a destinada ao consumo humano, designada de água potável (HILDEBRANDO; JHOAN, 2015).

No Brasil, o ministério da saúde (MS) por meio da portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 normatiza os parâmetros de controle e vigilância da qualidade da água potável. O MS rege em sua portaria um conjunto de parâmetros norteadores da potabilidade que compreendem os físico-químicos, microbiológicos, organolépticos, cianobactérias/cianotoxinas e radioatividade. Compreende ainda a vigilância da qualidade da água potável sendo um conjunto de ações grande importância para assim atestar a população estar isenta de riscos oferecidos à saúde (BRASIL, 2011).

A elaboração destas normas que são complementos da legislação nacional é de extrema importância, pois desta forma o controle de qualidade da água para o consumo humano se torna mais efetivo. Para que isto aconteça é necessário que todos os parâmetros da legislação vigente devam estar em conformidades, garantindo melhoria na qualidade de vida dos indivíduos.

O artigo 7º da portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 acrescenta ser atribuição da secretaria de vigilância em saúde (SVS/MS) a promoção e o acompanhamento da qualidade da água potável em parceria com as secretarias de saúde dos estados, do distrito federal e dos municípios e responsáveis pelo controle da qualidade da água. Assim, é necessário que o conjunto destas ações sejam eficazes para garantir o melhor aproveitamento deste bem (BRASIL, 2011).

No tratamento convencional de água os parâmetros físicos e químicos indicadores da qualidade da água são cloreto, cor aparente, dureza, ferro, sólidos totais dissolvidos e turbidez. Os microbiológicos incluem especialmente a determinação de organismos patogênicos, como o grupo de coliformes totais e fecais como a *Escherichia coli* (*E. coli*). Segundo a organização mundial de saúde (WHO, 1993), cerca de 80% das doenças dos países em desenvolvimento ocorrem



por contaminação de águas, apesar de que a lei se refere à água potável que deve estar isenta de microrganismos deste grupo. Logo, a fim de inativar estes microrganismos é adicionado o cloro (etapa de cloração) na água, devendo ter na água potável no mínimo 0,20 mg L<sup>-1</sup> de cloro residual livre e no máximo 2,00 mg L<sup>-1</sup> de cloro residual combinado, assegurando assim a qualidade bacteriológica da água (BRASIL, 2017).

Os parâmetros organolépticos podem originar-se naturalmente ou por interferências do ser humano estes conferem estímulos que interferem na aceitação do consumidor, porém nem sempre estão relacionados com a presença de contaminação (FRAGA, 2018).

Tabela 1– Parâmetros de potabilidade estabelecidos pela portaria do MS nº 2914 de 12 de dezembro de 2011.

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>VMP <sup>(1)</sup></b>
Turbidez	uT <sup>(2)</sup>	5,0 uT
Cor	uH <sup>(3)</sup>	15,0 uH
pH	-	6,0-9,5
Coliformes totais	-	5% <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Valor máximo permitido; <sup>(2)</sup> Unidade de turbidez; <sup>(3)</sup> Unidade Hazen (mgPt-Co/L); <sup>(4)</sup> 95% das amostras ausentes.

Para que a água seja considerada potável e disponibilizada para a população deve atender os critérios básicos de potabilidades expostos na Tabela 1, a qual admite como valor máximo permitido para os parâmetros de turbidez e cor respectivamente 5,0 uT e 15,0 uH. É válido salientar também que a faixa considerada ideal do pH da água é entre 6,0 e 9,5 bem como a ausência de coliformes totais em 95% das amostras analisadas ao mês.

Um dos aspectos físicos de potabilidade expressivo e considerado relevante na qualidade da água potável é a turbidez, que é resultado do espalhamento da luz causado por materiais em suspensão. O art. 28, § 1º da portaria de consolidação vigente admite que para uma amostra pontual de água potável filtrada a turbidez não deve ultrapassar 1,0 NTU (em apenas 5% das amostras), podendo este valor chegar até 5,0 NTU, pois alguns produtos adicionados após a filtração podem elevar a turbidez da água tratada (BRASIL, 2017).

O pH (potencial hidrogeniônico) é uma ferramenta bastante relevante na análise de água, onde por meio da concentração dos íons H<sup>+</sup> é indicado o grau de

acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. Desta maneira entende-se que a grande concentração de íons hidrogênio ( $H^+$ ) reflete em uma água com pH menor que 7,0 sendo ela considerada ácida. Quando a concentração destes íons é semelhante à dos íons  $OH^-$  a água é considerada neutra com o pH igual a 7,0. Já em presença de uma menor concentração de íons  $H^+$  o pH é deslocado para números maiores que 7,0 em uma escala que varia de 0,0 a 14,0. Este fator é considerado relevante em todas as etapas do tratamento da água (VEIGA, 2005; PARRON et al., 2011).

## 2.2 Turbidez da água

A turbidez é definida por partículas em suspensão na água tais como matéria orgânica e inorgânica finamente dissolvida, organismos microscópicos, silte, argila, plâncton e sílica. Parte destes materiais que possuem uma granulometria de partícula maior se depositam ao longo do tempo, já as partículas menores são chamadas de coloides e não depositam conferindo um aspecto turvo a água. A grande concentração destes coloides dificulta a passagem da luz solar impossibilitando que a fotossíntese de algas e fitoplâncton aconteçam, prejudicando assim a vida dos organismos que dependem da luz solar para viver. No caso da água destinada ao consumo humano, estes coloides são removidos durante o tratamento expressivamente nas etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração (PARRON et al., 2011).

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. Desta forma, a qualidade da remoção dos coloides e redução deste parâmetro no tratamento de água é imprescindivelmente e indissociável a este bem quando possuir finalidades de acesso humano (GIATTI, 2007).

No geral, o diâmetro da partícula  $l_{he}$  caracteriza como fator de turbidez e cor da água, partículas com diâmetro superior a  $1,2 \times 10^{-6}$  m ( $1,2 \mu m$ ) causam turbidez e com diâmetro inferior, que são os coloides de substâncias dissolvidas causam a designada cor verdadeira da água. A cor aparente corresponde ao resultado também dos materiais em suspensão que confere uma coloração em águas superficiais (VEIGA, 2005).

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. A unidade de turbidez (uT) mais usual é a unidade nefelométrica de turbidez (NTU), (CORREIA et al., 2008, CARNEIRO et al., 2017).

### **2.3 Processo de coagulação e floculação**

As etapas de coagulação e floculação estão diretamente relacionadas à qualidade das etapas subsequentes do tratamento, tendo como finalidade a remoção de partículas finas por precipitação, que não são removidas na sedimentação e filtração, uma vez que por meio da adição do coagulante há interações para formação de flocos que decantarão com maior facilidade (REIS, 2016).

As partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos em contato com a água apresentam-se eletricamente carregadas. Na coagulação convencional é adicionada uma substância química inorgânica, geralmente sais de ferro ou de alumínio, onde por meio de uma mistura rápida por um curto período de tempo, que tem como função promover grande dispersão do coagulante na água bruta (água sem nenhum tratamento, retirada do manancial), formam-se espécies hidrolisadas com cargas positivas. Estas espécies colidem com os coloides, que possuem carga elétrica negativa, desestabilizando-os (SORIANI, 2015).

Segundo Reis (2016), o processo de coagulação depende de vários fatores como, por exemplo, pH, alcalinidade, temperatura, turbidez, cor verdadeira, potencial zeta, condutividade elétrica, características das partículas suspensas na água bruta. A coagulação é caracterizada de acordo com o tipo de coagulante e os mecanismos físico-químicos realizados, podendo ser: i) compressão da dupla camada elétrica: ocorre a desestabilização dos coloides pela adição de compostos iônicos de cargas contrárias havendo uma compressão de dupla camada iônica e proporcionando a aglomeração dos coloides; ii) adsorção e neutralização de cargas: ao adicionar o coagulante no fluido ocorre interações coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente, onde em um pH específico ocorre a formação de espécies

hidrolisadas e adsorção das espécies químicas na superfície dos coloides promovendo a neutralização dos mesmos; iii) varredura: baseia-se na formação de hidróxidos metálicos como  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ou  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , que envolvem as partículas em suspensão com formação de flocos maiores, logo diminui o tempo de sedimentação (MAGALHÃES, 2014).

Em seguida após a desestabilização dos coloides, acontece à floculação em que o gradiente de velocidade da mistura é diminuída, conseqüentemente há uma menor energia cinética entre as partículas, ou seja, são fornecidas condições propícias para que haja a formação de flocos de maiores massas, possibilitando a sedimentação e a filtração da água (SILVA et al., 2017).

Desta forma, as reações químicas que ocorrem na etapa antecedente favorecem a agregação das partículas ao coagulante proporcionando a formação de flocos de maior densidade que por sua vez serão removidos na sedimentação (SORIANI, 2015).

### **2.3.1 Limitações dos coagulantes inorgânicos comerciais**

Os coagulantes químicos mais utilizados em ETAs compreendem o cloreto de ferro (III) hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) e o sulfato de alumínio hexadecahidratado ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ ) por apresentarem ótimos índices de remoção dos sólidos suspensos em água, sendo o último mais utilizado no Brasil (GARSIELE et al., 2012 GARCÍA et al., 2013). No entanto, a utilização destes compostos tem revelado aspectos pouco satisfatórios do ponto de vista ambiental e no que diz respeito à saúde humana. Dentre os fatores que limitam o uso destes coagulantes no tratamento de água pode-se destacar alterações significantes no pH e alcalinidade da água que demanda a utilização de outros compostos para realizar a correção, além de diminuição da eficácia com o abaixamento da temperatura. Bem como a elevada produção de resíduos como o lodo (após o processo de floculação) que é um produto tóxico que na maioria das vezes não é tratado corretamente, sendo descartado no meio ambiente, caracterizando crime ambiental (VIJAYARAGHAVAN et al., 2011).

A fim de assegurar a não exposição do alumínio, conseqüentemente a diminuição do desenvolvimento de doenças na população, a portaria define um limite de  $0,20 \text{ mg L}^{-1}$  deste metal na água tratada, pois estudos recentes mostram que

este age de forma negativa no organismo especialmente no sistema nervoso centra (BONDY, 2014; BRASIL, 2017).

Pensando nisso, já existe um número crescente de pesquisas que buscam agentes naturais, biodegradáveis que possam auxiliar na coagulação ou que sejam capazes de substituir os coagulantes inorgânicos comerciais, visando à redução dos impactos ambientais que estes coagulantes têm causado (BAPTISTA, et al., 2017).

## 2.4 Coagulantes naturais

Nos últimos anos têm se intensificado a busca por compostos naturais com capacidade coagulante, que sejam capazes de reduzir os efeitos causados pelos coagulantes químicos como a redução de lodo gerado, diminuição de custos, minimização dos impactos gerados no ambiente, formação de flocos com maior densidade. Também conhecidos como polieletrólitos os coagulantes naturais são polímeros catiônicos oriundos de proteínas e polissacarídeos. Estes polímeros favorecem a formação de pontes químicas por meio de ligações de hidrogênio ou força de Van der Waals que por sua vez conseguem superar a carga negativa dos coloides, causando a adsorção destas partículas a superfície (LIBÂNIO, 2010, SILLANPAA et al., 2018).

O estudo realizado por Ostrowski (2014) a fim de determinar a redução de turbidez de água sintética com extratos ácidos, básicos e salinos de *Cereus jamacaru* (mandacaru) como auxiliar ao sulfato de alumínio, obteve maior potencial coagulante com uso do extrato ácido ( $\text{HCl } 0,10 \text{ mol L}^{-1}$ ) com remoção de 88,2% de turbidez. Zara, Thomazini e Lenz (2012) também obtiveram bons resultados de remoção de turbidez utilizando o mandacaru como auxiliar nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água.

A *Opuntia ficus-indica* (palma) apresentando 68,9% de eficiência, e quando auxiliar ao policloreto de alumínio (PAC) apresentou 95% de remoção de turbidez (FERREIRA, 2015). A Aplicação da mucilagem do *Cereus peruvianus* como tratamento em efluentes têxteis tem capacidade de remoção de até 95% (SOUZA et al., 2016).

Wilson e Andrews (2011) utilizam sementes de *Moringa oleífera* aplicadas como auxiliares no pré-tratamento para SODIS, tendo em vista o alto potencial na redução de cor e turbidez da água auxiliando o processo de desinfecção. O estudo de Mangrich et al. (2014) com o Tanfloc que é um coagulante polimérico catiônico

obtido a partir de tanino da *Acacia mearnsii*, é empregado na substituição de sais de alumínio e ferro mostrando uma diminuição considerável de matéria orgânica e material suspenso na clarificação de água.

Além de ser uma tecnologia limpa, a utilização de compostos de fontes renováveis que podem ser cultivados nos locais onde se faz necessário o seu uso, implica na melhoria da renda da população local. Desta forma diante dos inúmeros benefícios que a utilização de produtos de origem natural incrementa na clarificação de águas para o consumo humano, percebe-se a importância de ampliação de pesquisas com outras cactáceas (FERREIRA, 2015).

#### 2.4.1 *Cereus jamacaru* (Mandacaru)

A flora da caatinga possui várias espécies que já são alvo de pesquisas, as mesmas possuem grandes adaptações em habitat desprovido de chuvas e com solos pouco férteis como o semiárido, destacando-se a família *Cactaceae* distribuída ao longo do território brasileiro com 39 gêneros e 260 espécies sendo 14 gêneros e 187 espécies endêmicas (ZAPPI et al., 2016).

Figura 1 - *Cereus jamacaru* (Mandacaru)



Fonte: Própria.

Em geral, os cactos possuem no caule ramificações de cladódios que variam de colunares ou costelados. O *Cereus jamacaru* conhecido também como mandacaru, ganha destaque por possuir grande resistência ao estresse hídrico e

sua ampla aplicabilidade na indústria, tendo grande ocorrência nos estados do Nordeste (LUCENA, 2012).

O cacto possui um porte que varia de 3,0 a 7,0 metros de altura com brotações laterais no caule coberto de numerosos espinhos rígidos e com grande quantidade de água. Possui capacidade de adaptação em solos pedregosos, geralmente são espaçadas com grandes distâncias na vegetação da caatinga (SILVA et al., 2013). Estas características podem ser observadas na **Figura 1**.

Também conhecido como jamacaru, cardeiro, urumbaba e outros é utilizado para diversos fins como auxiliar no processo de coagulação, substituto de coagulantes químicos, fonte de alimento animal, uso medicinal e ainda utilizado como peças ornamentais (ALVES et al., 2016; MELO, 2017).

Em especial é bastante utilizado assim como outros cactos em períodos com baixo índice de precipitação pluviométrica (períodos de seca) na região nordeste do Brasil como fonte de alimento para bovinos, ovinos e caprinos (suportes forrageiros). Para que isso ocorra é necessário um preparo e retirada dos espinhos do cacto que é adaptado à realidade do produtor. É realizada a trituração em uma máquina forrageira que extrai a mucilagem dos cactos, este é utilizado com outros alimentos que juntos agregam uma quantidade ideal de valor calórico para a alimentação dos animais (SILVA et al., 2013).

Seus frutos apresentam uma coloração avermelhada e servem de alimento para populações rurais da Caatinga Nordestina sendo apreciados *in natura*, possuem polpa branca coberta de muitas sementes podendo chegar a uma massa de 57,67 g cada fruto (ARAÚJO, 2016).

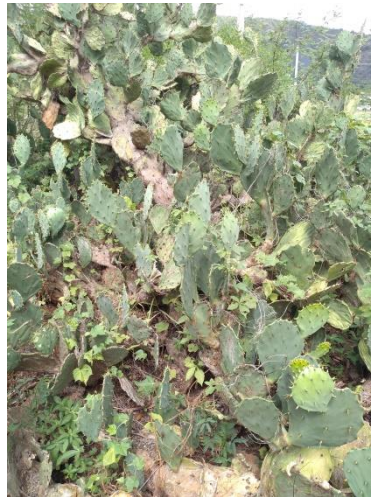
Avaliando a composição nutricional dos frutos do mandacaru no estado do Piauí Sousa (2017) constatou a presença de 9,74% de carboidratos, 1,67% de proteínas e 1,41% de lipídeos. Também fazem parte da composição os minerais potássio (K), magnésio (Mg), zinco (Zn), fósforo (P), manganês (Mn) bem como quantidades significativas de compostos bioativos como flavonoides, polifenóis, vitamina C e carotenoides. Além disso sua relevância no consumo humano é destacada por não apresentar toxicidade.

#### **2.4.2 *Opuntia ficus-indica* (Palma)**

Também pertencente à família *Cactaceae* a *Opuntia ficus-indica* conhecida no Brasil como palma forrageira ou figueira da Índia, a planta possui porte arbustivo

(Figura 2) que varia de 3,5 a 5,0 metros de altura. Seus ramos clorofilados apresentam-se com comprimento que varia entre 30,0 a 60,0 centímetros e largura de 6,0 a 15,0 centímetros. Possui raízes extensas e ramificadas a fim de captação de água em ambientes escassos de chuvas, como os áridos (TEIXEIRA, 2015).

Figura 2 - *Opuntia ficus-indica* (Palma).



Fonte: Própria.

A palma apresenta grande capacidade de adaptação em diferentes condições ambientais, por isto pode ser plantada facilmente em diversos ambientes. Possui uma ampla aplicabilidade, onde todas as partes da planta como raiz, caule, frutas e flores são utilizadas na indústria para diversos fins, como preparo de bebidas e sobremesas (SALEHI et al., 2018).

Os frutos apresentam cores variadas devido à presença e combinação de pigmentos denominados betalaínas, que possuem origem natural e são encontrados nos vacúolos de plantas da ordem *Caryophyllales*. Estes compostos possuem grande estabilidade química, sendo que vários estudos demonstram seu potencial antioxidante que está relacionado com proteção contra doenças degenerativas. Por apresentar ações farmacológicas contra aterosclerose, aterotrombose, acidente vascular cerebral, isquemia as betalaínas são indicadas na produção de pigmentos alimentícios (TEIXEIRA, 2015).

Dentre as suas aplicações a palma é amplamente utilizada como forragem na alimentação de animais. Estudos de caracterização e identificação de compostos da palma concluiu que o fruto é a parte da planta rica em compostos bioativos. Também é possível afirmar que a casca possui um teor de compostos fenólicos e flavonoides



de aproximadamente 2,5 vezes superior à polpa (FERREIRA, 2015; CAMPOS, 2016; SILVA et al., 2017).

Outros estudos demonstram o potencial da palma utilizada como coagulante, como no estudo comparativo com o sulfato de alumínio realizado por Pichler, Young e Alcantar (2012) obtiveram redução de turbidez, consideradas ótimas utilizando uma dosagem do cacto 300 vezes menor que a do coagulante químico.

### **2.4.3 *Pilosocereus gounellei* (xiquexique)**

Também pertencente à família cactácea que se destacam por possuir grande adaptação em altas temperaturas diurnas, altas radiações, baixas temperaturas noturnas, e baixo teor de água. É uma espécie com aparência de arbusto (Figura 3) coberto de espinhos de diversos tamanhos e coloração verde-opaca, possui ramificações de cladódios articulados, seu tamanho varia de 0,8 a 1,5 m. Com fruto de coloração púrpura no tamanho que varia de 3,6 a 4,6 cm com polpa mucilaginosa coberto de sementes de 2 mm de comprimento (SOUSA, 2017).

Figura 3 - *Pilosocereus gounellei* (xiquexique)



Fonte: Própria.

O xiquexique também é largamente utilizado como fonte nutritiva para rebanhos e ganha destaque juntamente com o mandacaru como as cactáceas mais utilizadas na alimentação de rebanhos e pássaros (ARAUJO et al., 2010; LUCENA et al., 2012).

Segundo Sousa (2017) a polpa presente no fruto é rica em carboidratos sendo 12,8% de sua composição e minerais como o fósforo, cobre, manganês. O consumo deste fruto traz inúmeros benefícios como ação antioxidante devido a

presença de flavonoides e polifenóis. Destaca-se também por ser a maior fonte de manganês dentre os alimentos brasileiros.

Chaves e Barros (2015) realizaram uma entrevista sobre a utilização de cactáceas como recurso alimentar no Nordeste brasileiro com 93 entrevistados, onde mais de 50% da população afirmou fazer uso dos cactos como fonte de alimento em períodos de secas. Dentre os órgãos alimentares flores, frutos e cladódio, destaca-se o último sendo mais consumido pela comunidade. Isto demonstra a importância de cultivo destas espécies para as populações locais.

Portanto devido ao alto valor nutricional apresentado pelos cactos apresentados, em especial os frutos, se faz necessário o desenvolvimento de novas pesquisas com intuito de aplicação destes produtos na indústria alimentícia como alternativa nutritiva de baixo custo.

## **2.5 Coliformes totais e *Escherichia coli* em água potável**

A presença dos microrganismos do grupo coliformes é um dos fatores mais expressivos de contaminação em águas para o consumo humano e indica o grau de contaminação da água. Existem dois tipos de coliformes os totais e os fecais. Os coliformes totais pertencentes à família a *Enterobacteriaceae* que compreendem o grupo de bactérias Gram-negativas de hastes não esporuladas podendo ser aeróbicas ou anaeróbicas dependendo do meio e da bactéria. Já os coliformes fecais como a *Escherichia coli* (*E. coli*) são microrganismos termotolerantes que suportam temperaturas superiores a 40,0 °C e reproduzem-se a 44,5 °C fermentando lactose e produzindo gás (PARVEEN et al., 2005).

O principal meio de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por microrganismos de origem fecal, como a *E. coli* são atividades agrícolas como a criação de animais. Neste sentido, os dejetos das fezes dos animais são transferidos para o solo, infiltram-se nos lençóis freáticos e contaminam a água e os alimentos agredindo a saúde humana (PARVEEN et al., 2005). Devido à crescente demanda relacionada a criação animal, conseqüentemente cresce também o quantitativo de enfermidades transmitidas por este grupo de microrganismos.

No Brasil, os índices de mortalidades causados por doenças de veiculação hídrica e associados à escassez de acesso a saneamento básico, refletem no desenvolvimento dos municípios causando danos também na economia sendo estes fatores cada vez mais alvo de pesquisas. Doenças como a cólera com ação do

microrganismo *Vibrio cholerae*, a febre tifóide por meio da bactéria *Salmonella enterica* sorotipo Typhi, a Leptospirose pelo microrganismo *Leptospira interrogans*, a Disenteria bacilar causada pelo agente patogênico *Shigella sp* são transmitidas por meio de água ou alimentos infectados com fezes ou manipulação de alimentos tem sido alerta para a vigilância e monitoramento da garantia a saúde pública no país e tema influenciador para o desenvolvimento de novas pesquisas (MENDES et al., 2000).

O quadro 1 apresenta os valores máximos permitidos para amostras com presença de coliformes totais e *E. coli* em água para o consumo humano, de acordo com o número de habitantes para abastecimento.

Quadro 1 - Padrão microbiológico da água para consumo humano.

Tipo de água		Parâmetro		VMP <sup>(1)</sup>
Água para consumo humano		E. coli <sup>(2)</sup>		Ausente
	Na saída do tratamento	Coliformes totais <sup>(3)</sup>		Ausente
		E. Coli		Ausente
			Sistema ou soluções alternativas para abastecimento de até 20 mil habitantes	Ausência em 99% das amostras mês.
			Sistema ou soluções alternativas para abastecimento de mais de 20 mil habitantes	Ausência em 95% das amostra mês.

(1) Valor máximo permitido.

(2) Indicador de contaminação fecal.

(3) Indicador de eficiência de tratamento.

(4) Indicador de integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede).

De acordo com as normas estabelecidas na portaria do MS nº 2914 de 12 de dezembro de 2011, não é aceitável que na água tratada haja presença de coliformes totais e *E. coli*. No caso de sistema de distribuição de água sendo intolerante à presença destes microrganismos, considerando permitido apenas um teste positivo para coliformes totais em uma amostra por mês em sistemas de abastecimento de menos de 20 mil habitantes, já para sistemas com capacidade de abastecimento maior considera-se permitido testes positivos em apenas 5% das amostras analisadas mensalmente (BRASIL, 2011).

Devido os malefícios trazidos por meio de contaminações de microrganismos veiculados pela água, nas estações de tratamento (ETAs) utiliza-se alguns desinfetantes como o gás cloro ( $\text{Cl}_2$ ), o hipoclorito de sódio ( $\text{NaClO}$ ), dióxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), gás ozônio ( $\text{O}_3$ ) ou radiação ultravioleta (UV). No Brasil, o desinfetante mais utilizado é o cloro nas formas líquida, gasosa e granulada devido seu alto potencial desinfetante e baixo custo de aquisição. Na etapa de desinfecção o composto desinfetante é adicionado na água tratada (após coagulação e floculação) a fim de inativar estes microrganismos (VEIGA, 2005).

Segundo Reis (2016) a escolha do produto químico a ser utilizado em estações de tratamento (ETAs) no processo de desinfecção é norteadada pela avaliação de critérios como capacidade de inativação dos microrganismos em tempo mínimo, ser não tóxico ao ser humano e a animais de estimação, possuir grande disponibilidade e baixo custo de aquisição, ser de fácil aplicação e possuir boa capacidade residual na água a fim de precaver possíveis presenças de contaminações e toda extensão da rede de distribuição de água.

É importante salientar que a escolha do produto químico utilizado para esta finalidade deve ser feita de acordo com as características da água bruta.

Para a determinação dos indicadores microbiológicos utiliza-se o substrato Colilert (patenteado pela IDEXX *Laboratories*) que detecta coliformes e *E. coli*, simultaneamente em 24 horas em águas brutas ou tratadas. O sistema Colilert é composto por açúcares e radicais orgânicos cromogênicos, nutrientes enzimáticos específicos como ONPG (o-nitrofenil- Beta -D-galactopiranosídeo) e MUG (4-metil-umbeliferil- Beta -D-glucoronídeo) que ao serem consumidos pelos microrganismos causam liberação do radical orgânico cromogênico, fazendo com que a amostra apresente uma coloração amarelada para presença de coliformes totais e fluorescência (na presença de luz ultravioleta a 365 nm) para *E. coli* (HENRIQUES, 2010).

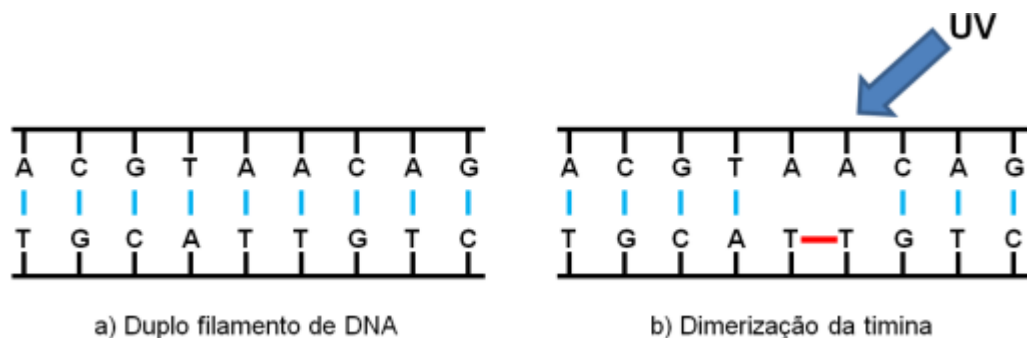
Cada amostra de água com 100,00 mL recebe o substrato, são seladas no sistema Quanti-tray®/2000 (IDEXX) e incubadas a  $35\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$  durante 24 hrs. O Quanti-tray®/2000 é composto por cartelas estéreis com 50 e 96 cavidades que determinam o número mais provável (NMP) de 1 a 2.419 coliformes por 100,00 mL por meio de tabelas específicas (GREGHI, 2005).

## 2.6 Desinfecção da água por radiação solar

A busca por métodos que minimizem os impactos causados ao meio ambiente e a saúde humana, além de reduzir custos associados ao tratamento de água é tema de diversos estudos em todo o mundo (BAPTISTA, 2017). A radiação solar aplicada ao tratamento de água já é testada em especial nos países em desenvolvimento e em áreas rurais que não são beneficiadas com o acesso a água tratada (SILVA; GOMES, 2017).

A inativação dos microrganismos ocorre pelos danos causados sob a estrutura do seu material genético (DNA e/ou RNA) que é susceptível a radiação ultravioleta próximo (UVA), entre 300 a 400 nm. Esta radiação proporciona o rompimento das ligações de hidrogênio, refletindo na dimerização (Figura 4) das bases pirimídicas citosina, uracila e timina do mesmo cromossomo, com posterior formação de um complexo estável que impede o pareamento das fitas complementares. Tendo esta modificação ocorrido, os microrganismos ficam impossibilitados de se reproduzir, apresentando perda da sua função biológica (ALVES, 2015).

Figura 4 - Dimerização de bases pirimídicas



Fonte: GONÇALVES et al., 2003, *apud* QUELUZ, 2013.

A desinfecção solar da água (do inglês, *solar water disinfection*, SODIS) é um método que consiste na exposição de água contaminada a radiação solar, a fim de obter a inativação de bactérias que causam doenças de veiculação hídrica. É considerado um método simples, de baixíssimo custo e viável a ser aplicado em regiões com alta incidência de radiação solar e que não tenham acesso à água potável. A água é armazenada em garrafas de polietileno tereftalato transparente e exposta a radiação solar por um período de 6 horas (CAVALLINI et al., 2018).

Para atestar a eficiência do SODIS é necessário dispor de água com turbidez inferior a 30 NTU, permitindo assim que a luz solar penetre a água e consiga inativar os patógenos associados aos componentes dissolvidos e suspensos na água. Em casos contrários, de águas altamente turvas o método não se apresenta tão eficiente, pois a grande quantidade de partículas dificulta a penetração da luz solar (KEOGH et al., 2017).

Nessa perspectiva, para a aplicação da desinfecção solar em águas altamente turvas é necessário à realização de um pré-tratamento como sedimentação, pré-filtração ou utilização do processo de coagulação a fim de diminuir a turbidez e cor da água (WILSON; ANDREWS, 2011).

No estudo de Silva e Gomes (2017) a fim de determinar a eficiência do SODIS para comunidades ribeirinhas, foi atestado após 6 horas de exposição solar da água contaminada 100% de eliminação de *E. coli* tanto nos experimentos realizados em condição ambiental de céu aberto como em dia nublado. Ubomba Jaswa et al. (2010) desenvolveu em seu estudo um sistema de desinfecção solar adaptado com um coletor parabólico, com capacidade de 25,0 litros como mostra a **Figura 5**.

Figura 5 – Sistema de desinfecção solar com coletor parabólico



Fonte: Ubomba-Jaswa et al. (2010).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Coleta e caracterização das amostras de cactos e de água bruta

Os cactos mandacaru (*Cereus jamacaru*), palma (*Opuntia ficus-indica*) e xiquexique (*Pilosocereus gounellei*) foram coletados em zona rural nas proximidades da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST). A partir das amostras dos cactos coletadas foram realizados procedimentos de corte e remoção de espinhos, lavagem, retirada da casca, medida de massa e preparo dos extratos ácidos para cada espécie. Outros extratos também ácidos foram preparados utilizando a matéria seca não-polposa (casca), neste caso, após a lavagem e retirada dos espinhos, o material foi submetido à secagem em estufa ventilada, a 60°C por 48h.

As amostras de água bruta utilizadas no presente estudo foram coletadas superficialmente no açude Cachoeira, zona rural do município de Serra Talhada, localizada no estado de Pernambuco e armazenadas em galões de 10,00 L de polietileno durante o uso. A água bruta foi coletada em dias distintos e a sua turbidez, cor e pH foram avaliados sempre após a coleta. Essas amostras permitiram a avaliação da dosagem dos coagulantes naturais, em forma de extratos ácidos, necessários para promover um maior grau de coagulação dos coloides presentes na água.

A fim de avaliar o desempenho da atividade coagulante dos extratos ácidos na água bruta, foi realizada a filtração da mistura, bem como a caracterização física (turbidez, cor e pH) e bacteriológica da água tratada. Todas as análises foram realizadas em triplicatas, a fim de se verificar a repetibilidade das medidas instrumentais. Os parâmetros e instrumentos utilizados são descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros físicos e técnicas analíticas empregadas na caracterização das amostras de água bruta e tratadas com os extratos ácidos.

Parâmetro	Unidade	Técnica	Equipamento
Turbidez	NTU	Nefelométrico	Turbidímetro Digimed, DM-TU
Cor	uH <sup>(1)</sup>	Colorimétrico	Colorímetro Policontrol, AP2000
pH	-	Potenciométrico	Even, PHS-3E

<sup>(1)</sup>Unidade Hazen em mg(Pt-Co) L<sup>-1</sup>.

### 3.2 Preparo dos extratos ácidos dos coagulantes naturais

Foram preparados extratos individuais dos cactos *Cereus jamacaru* (mandacaru), *Opuntia ficus-indica* (palma) e *Pilosocereus gounellei* (xiquexique) utilizando como solução extratora o ácido clorídrico (HCl) 0,10 mol L<sup>-1</sup>. Os procedimentos adotados para preparo dos extratos ácidos consistiram em: medir a massa da parcela viscosa dos cactos (polpa) em balança analítica, macerar a mesma (utilizando almofariz e pistilo) e adicionar a solução extratora. A proporção utilizada foi de 2,00 g de cacto *in natura* para 3,00 mL de solução extratora. A mistura obtida foi submetida à agitação por 30 min. Posteriormente, o sobrenadante foi filtrado e armazenado em ambiente refrigerado a 4°C.

A metodologia utilizada para o preparo dos extratos, bem como, a escolha do ácido clorídrico 0,10 mol L<sup>-1</sup> como solução extratora, ocorreu devido aos bons resultados descritos pelo trabalho de Ostrowski (2014), a respeito da formação de flocos e remoção de turbidez em águas com turbidez sintética, e evidenciada em outros estudos com extrato ácido (ZARA; THOMAZINI; LENZ, 2012; SILLANP et al., 2018).

Outros extratos foram preparados a partir da matéria seca (casca) dos cactos, a fim de verificar se o potencial coagulante também está presente nos componentes da casca ou somente na parte interna (polpa) dos cactos estudados. Após a retirada de espinhos e da polpa, as cascas foram cortadas, em lâminas e as suas massas foram medidas em balança analítica sendo levadas posteriormente a uma estufa ventilada para secagem a 60 °C por um período de 48 horas. Após, calculadas as massas, foram adicionadas (matéria seca) à 120,00 mL de HCl 0,10 mol L<sup>-1</sup> e submetidos a agitação por 30 min. Os extratos foram filtrados e armazenados em ambiente refrigerado a 4 °C.

### 3.3 Testes de coagulação e floculação

Os testes de coagulação e floculação foram realizados no laboratório da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa) no município de Serra Talhada-PE. Foram realizados ao total de nove testes (sendo sete testes com os extratos preparados com os cactos *in natura* (polpa) e dois testes utilizando os extratos preparados a partir da matéria seca proveniente da casca).



O equipamento utilizado nesses testes foi um Jar Test (Ethik, 218-3) que consistem em um reator estático composto por três jarros com capacidade de 2,0 L cada jarro. Associado a cada jarro existe uma paleta de agitação responsável pela promoção de rotação, a qual é controlada por meio de um painel digital. Neste painel é possível realizar a programação das condições de trabalho, ou seja, adequar os valores de velocidade de mistura rápida (VMR), tempo de mistura rápida (TMR), velocidade de mistura lenta (VML), tempo de mistura lenta (TML) todos em rotação por minuto (rpm) e tempo de sedimentação (TS) desejados para os testes.

As condições de operação do equipamento foram escolhidas segundo a metodologia utilizada por Valverd et al. (2015), a saber: VMR = 150 rpm, TMR = 60s, VML = 45 rpm, TML = 900s, TS = 15 min. É válido salientar que a velocidade de mistura rápida foi elevada de 100 rpm para 150 rpm a fim de propiciar uma melhor dispersão dos coagulantes na água. As condições de trabalho do Jar test aqui apresentadas foram satisfatórias em todo o estudo de coagulação e floculação.

Como agente alcalinizante para o processo de floculação foi utilizado o hidróxido de cálcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ , sabendo-se que a cada  $1,00 \text{ mg L}^{-1}$  dessa base, eleva  $1,35 \text{ mg L}^{-1}$  de alcalinidade no meio (ZARA; THOMAZINI; LENZ, 2012; OSTROWSKI, 2014).

### **3.4 Processo de desinfecção por exposição à radiação solar**

A fim de reduzir os parâmetros de turbidez e cor da água bruta, foram realizados pré-tratamento de coagulação e floculação com os extratos ácidos dos cactos mandacaru, palma e xiquexique. As amostras de água tratada foram filtradas e novamente caracterizadas.

Após o processo de pré-tratamento de coagulação e floculação com os extratos ácidos dos cactos as amostras de água tratada foram inseridas em garrafas PET transparentes, previamente esterilizadas. A esterilização se deu por calor úmido na forma de vapor saturado e sobre pressão em autoclave e levadas à exposição ao sol para desinfecção solar. Foi realizado o processo de desinfecção no dia 28 de janeiro de 2019 das 9 h às 15 h com oito amostras sendo elas, água bruta sem filtração, água bruta com filtração, tratada com extrato de mandacaru com filtração e sem filtração, tratada com palma com filtração e sem filtração, tratada com xiquexique com filtração e sem filtração (KEOGH et al., 2017).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização das amostras de água bruta

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros analisados (turbidez, cor e pH) na caracterização da água bruta utilizada durante todos os testes de coagulação, floculação e desinfecção por radiação solar.

Tabela 3 - Parâmetros físicos das amostras de água bruta utilizadas (N = 3).

Data da coleta	Amostra de água	Turbidez (NTU)	Cor (uH)	pH
08/03/18	1	83,30 ± 3,52	171,60 ± 4,08	5,5 ± 0,3
11/03/18	2	79,30 ± 4,05	112,50 ± 3,45	5,0 ± 0,2
16/03/18	3	72,20 ± 2,36	66,70 ± 5,06	5,0 ± 0,5
17/03/18	4	66,50 ± 3,72	71,80 ± 4,84	5,0 ± 0,2
20/03/18	5	70,10 ± 3,06	68,10 ± 3,87	5,0 ± 0,5
30/07/18	6	81,30 ± 3,85	72,36 ± 3,09	5,0 ± 0,2
29/08/18	7	41,50 ± 2,68	218,60 ± 4,55	7,5 ± 0,3
29/08/18	8	41,50 ± 2,68	218,60 ± 4,55	7,5 ± 0,3
28/01/19	9	55,57 ± 3,02	101,03 ± 2,83	7,5 ± 0,5

Conforme observado na Tabela 3, as características físicas medidas revelam que a água bruta utilizada para os testes de coagulação e desinfecção apresentam os parâmetros de turbidez e cor acima dos padrões permitidos para que a água natural possa ser considerada potável. Segundo a portaria do MS nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, a turbidez deve ser inferior a 5,0 NTU e a cor inferior a 15 uH. Quanto ao pH, as medidas revelam a disposição de águas com caráter ácido com pH entre 5,0 e 5,5 com exceção das amostras 7, 8 e 9 que apresentaram água com pH próximo a neutralidade, uma vez que as coletas foram realizadas em dias diferentes. Ainda de acordo com a portaria vigente este parâmetro deve estar na faixa de 6,0 a 9,5. Nesse contexto, as amostras de água natural coletadas devem ser submetidas ao pré-tratamento de coagulação e floculação para a redução de turbidez e cor e, posteriormente realizar a descontaminação microbiológica antes de ser disponibilizada para o consumo humano (BRASIL, 2011).

É importante enfatizar, neste ponto, que no presente estudo foram utilizadas amostras reais de água turva para o abastecimento urbano e rural, ao contrário de muitos estudos apresentados pela literatura que fazem uso de águas como turbidez

artificiais (OSTROWSKI, 2014; KEOGH et al., 2017). A utilização de águas turvas naturais para os testes de coagulação e floculação é imprescindível, uma vez que possibilita verificar a eficiência concreta dos agentes coagulantes para o tratamento da água de abastecimento, partindo da realidade local e encontrada pela população rural que dela faz uso em seu cotidiano.

#### 4.2. Concentração dos extratos ácidos e testes de coagulação

Conforme apresentado no tópico 3.2 da metodologia, os extratos ácidos foram preparados a partir da matéria seca da polpa para cada cactácea estudada. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 4. Observa-se que mais de 90% da composição química dos cactos utilizados é de água a qual se desprende do vegetal durante o processo de secagem. A porcentagem de matéria seca obtida da polpa está condizente com o apresentado pela literatura (CAMACHO, et al., 2017). A matéria seca da polpa permitiu calcular a concentração em  $\text{g L}^{-1}$  de cada extrato ácido o que possibilita avaliar a reprodutibilidade do processo de extração. As concentrações iniciais obtidas para cada extrato foram 47,8; 59,7 e 17,2  $\text{g L}^{-1}$  para o mandacaru, palma e xiquexique, respectivamente. Estas concentrações foram utilizadas em todos os testes de coagulação, floculação e desinfecção por radiação solar apresentados nesse trabalho.

Tabela 4 - Medidas de massa obtidas para o preparo dos extratos ácidos dos cactos com a matéria seca proveniente da polpa.

	<b>Massa inicial (g)</b>	<b>Massa final <sup>(1)</sup> (g)</b>	<b>Matéria seca % (m/m)</b>
<b>Mandacaru</b>	66,34	4,79	7,20
<b>Palma</b>	66,35	5,94	9,00
<b>Xiquexique</b>	66,32	1,68	2,60

<sup>(1)</sup>Massas medidas obtidas para os cactos após secagem em estufa ventilada, 60°C por 48h.

Conforme descrito pelo trabalho de Ostrowski (2014), os estudos destinados a avaliar o potencial coagulante dos extratos ácidos dos cactos empregados são apresentados na Tabela 5. Cada teste de coagulação e floculação consistiu em adicionar um volume (em mililitros) da solução extratora e da solução alcalinizante em 2000 mL da amostra de água turva, em cada um dos jarros (cubas) do Jar test

utilizado, sendo possível realizar simultaneamente a avaliação da coagulação e floculação dos três extratos ácidos. As concentrações dos coagulantes naturais mandacaru, palma e xiquexique equivaleram a 0,24; 0,30 e 0,085 g L<sup>-1</sup>, respectivamente, nos testes com as amostras reais. Conforme exposto na Tabela 6, a concentração do alcalinizante Ca(OH)<sub>2</sub>, foi alterada com o intuito de permitir uma melhor remoção de turbidez em cada caso. Os testes foram promovidos de maneira a possibilitar que a turbidez final da água fosse inferior a 30 NTU a fim de viabilizar adequadamente os testes de desinfecção por radiação solar conforme exposto na literatura (KEOGH et al., 2017).

Tabela 5 - Dosagens dos coagulantes naturais e do alcalinizante em (g L<sup>-1</sup>) utilizadas nos testes de coagulação e floculação.

Teste	Extratos ácidos <sup>(1)</sup>			Floculante Ca(OH) <sub>2</sub> (jarro 1, 2 e 3)
	Mandacaru (jarro 1)	Palma (jarro 2)	Xiquexique (jarro 3)	
1	0,24	0,30	0,085	0,037
2	0,24	0,30	0,085	0,018
3	0,24	0,30	0,085	0,037
4	0,24	0,30	0,085	0,018
5	-	0,30	-	<sup>(2)</sup>
6	0,24	0,30	0,085	<sup>(3)</sup>
7 (9)	0,24	0,30	0,085	<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Testes realizados com os extratos ácidos da matéria seca (biomassa) dos cactos.

<sup>(2)</sup> 0,022; 0,026 e 0,029 g L<sup>-1</sup> para o extrato de palma.

<sup>(3)</sup> 0,018 g L<sup>-1</sup> para o extrato de mandacaru e xiquexique e 0,029 g L<sup>-1</sup> para o extrato de palma.

Com base nas observações realizadas na Tabela 6 o extrato ácido de mandacaru apresentou bons resultados de remoção dos parâmetros de turbidez e cor nas amostras. Os resultados dos testes realizados sem auxílio da filtração demonstraram o percentual mínimo de 56% e máximo de 89% de remoção de turbidez nas amostras. Para a cor, os percentuais foram um pouco inferiores, porém significantes com remoção mínima de 23% e máxima de 67%.

Os dados obtidos da ação coagulante para remoção de turbidez coletados a partir do tratamento com o mandacaru sem o auxílio de filtração, foram semelhantes

aos encontrados por Zara e colaboradores (2012) onde uma solução ácida do cacto foi utilizada como coagulante secundário no tratamento de água turva.

Os dados obtidos através da ação coagulante deste cacto também são comparativos com o estudo de Keogh et al. (2017) utilizando o pó de *Moringa oleifera* como pré-tratamento para SODIS obtém remoção de turbidez de até 87%, quando tratamento realizado com o mandacaru sem auxílio da filtração obtém remoção de 86% (como visto no teste 2).

A utilização da filtração como auxiliar ao tratamento proporcionou uma melhoria nos percentuais de remoção dos parâmetros analisados com remoção de turbidez de até 98% e cor de até 92%. Estes resultados de remoção são considerados significativos quando analisados quanto o padrão de potabilidade exigido pela portaria vigente.

Tabela 6 - Testes de remoção de turbidez e cor das amostras de água bruta a partir do coagulante natural mandacaru.

Teste	Amostras de água			Extrato ácido de mandacaru					
				Remoção de Turbidez (%)		Remoção de Cor (%)		pH	
				Com filtração	Sem filtração	Com filtração	Sem filtração		Com filtração
1	83	172	5,5	93	85	76	67	4,5	3,5
2	79	112	5,0	94	86	78	64	4,0	5,0
3	72	67	5,0	95	56	74	23	6,0	7,2
4	66	72	5,0	97	71	88	43	6,0	7,2
6	81	72	5,0	96	70	92	27	6,0	8,0
7	56	101	7,5	<b>98</b>	89	83	54	6,2	7,5

Com base na Tabela 7 o extrato ácido de palma apresentou desempenho como coagulante, uma vez que nos testes apresentou remoção de turbidez de até 80% e 72% de cor sem filtração. Com auxílio da filtração estes percentuais também são melhorados para 95% de remoção dos dois parâmetros avaliados. Porém quando comparado aos cactos de mandacaru e xiquexique observa-se que os percentuais de remoção de turbidez e cor são inferiores, especialmente aqueles apresentados nos testes sem o auxílio da filtração. Vale salientar que a concentração de alcalinizante que proporcionou melhor floculação foi 0,029 g L<sup>-1</sup>

(teste 6), uma vez que esta concentração foi ideal para redução de turbidez da água necessária para a realização da desinfecção solar. Sobretudo partindo desta concentração de alcalinizante e  $0,30 \text{ g L}^{-1}$  de extrato ácido conseguiu-se obter os parâmetros de turbidez e cor compatíveis com os estabelecidos pela portaria vigente.

Tabela 7 - Testes de remoção de turbidez e cor das amostras de água bruta a partir do coagulante natural palma.

Teste	Amostras de água			Extrato ácido de palma					
				Remoção de Turbidez (%)		Remoção de Cor (%)		pH	
				Com filtração	Sem filtração	Com filtração	Sem filtração	Com filtração	Sem filtração
1	83	172	5,5	90	27	83	22	3,0	4,5
2	79	112	5,0	92	80	85	72	4,5	5,0
3	72	67	5,0	89	64	91	31	8,0	9,0
4	66	72	5,0	85	38	89	39	5,0	5,5
5 <sup>(a)</sup>	70	68	5,0	94	65	96	59	7,0	7,5
6	81	72	5,0	<b>96</b>	66	<b>96</b>	59	5,5	6,0
7	56	101	7,5	95	48	95	57	7,2	8,5

<sup>(a)</sup> resultado para remoções empregando  $0,029 \text{ g L}^{-1}$  do alcalinizante.

De acordo com os dados descritos na Tabela 8, observa-se que o cacto xiquexique apresentou bom desempenho coagulante que é observado em todos os testes realizados, refletido significativamente na redução dos parâmetros de turbidez e cor das amostras analisadas. Esta ação coagulante do cacto é observada nas replicatas, uma vez que o mesmo apresenta remoção sem o auxílio da filtração de até 87% de turbidez e 78% de cor.

Já com a utilização da filtração como auxiliar ao tratamento os percentuais são elevados para 98% de turbidez e 96% de cor, como ilustrado no teste 6. Sendo assim é vale ressaltar a importância da utilização da etapa de filtração auxiliada a este processo, uma vez que a mesma retém a parcela de partículas finas que não foram removidas nas etapas anteriores de tratamento. Além disso, foi observado durante os testes de coagulação e floculação uma melhor formação dos flocos comparado a os cactos de mandacaru e palma.

Tabela 8 – Testes de remoção de turbidez e cor das amostras de água bruta a partir do coagulante natural xiquexique.

Teste	Amostras de água			Extrato ácido de xiquexique					
				Remoção de Turbidez (%)		Remoção de Cor (%)		pH	
				Com filtração	Sem filtração	Com filtração	Sem filtração	Com filtração	Sem filtração
1	83	172	5,5	92	76	87	70	4,5	4,5
2	79	112	5,0	94	87	89	82	5,5	5,5
3	72	67	5,0	96	74	85	49	9,0	10,0
4	66	72	5,0	95	83	83	44	6,8	7,5
6	81	72	5,0	98	87	96	78	7,0	8,0
7	56	101	7,5	96	86	91	66	7,5	9,5

Os resultados obtidos no teste 6 são superiores aos encontrados por Souza et al. (2016) com o uso do polímero extraído do cacto *Cereus peruvianus* que ao ser aplicado como adjuvante ao coagulante inorgânico  $\text{FeCl}_3$  no tratamento de efluentes têxteis apresentou remoção de turbidez de 85,4%. Os percentuais apresentados nos testes do presente estudo também superam os obtidos por Zhang et al. (2005) empregando o cacto *Opuntia* como auxiliar ao cloreto de alumínio na coagulação/floculação, obtendo uma remoção de 94% de turbidez. Uma vez que neste estudo as reduções para os três cactos de turbidez foram superiores a 97% e de cor superiores a 92%.

De modo geral os testes realizados com os extratos da polpa dos cactos apresentaram grandes potenciais de coagulação/floculação, destacando o teste 6 com os melhores percentuais de remoção dos parâmetros avaliados, uma vez que no mesmo os resultados estão em conformidade com os parâmetros estabelecidos na portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do MS para água potável.

De acordo com a execução dos testes, pode ser observado que a adição do alcalinizante,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  0,10 mol  $\text{L}^{-1}$ , deve ser realizada de forma simultânea a adição do agente coagulante. Essa informação torna-se relevante, pois foram observados que a adição sequencial, do coagulante e alcalinizante não permitiram bons valores de turbidez.

### 4.3 Extratos ácidos a partir da casca dos cactos

Foram preparados extratos ácidos dos três cactos dispondo da matéria seca, a fim de verificar o potencial coagulante dos componentes presentes na casca. As massas dos cactos *in natura* foram medidas (Tabela 9) e colocadas em estufa ventilada a 60 °C por 48 horas. Após o processo de secagem, utilizou-se a mesma metodologia para preparo dos extratos com a polpa (*in natura*) com a adição de HCl 0,10 mol L<sup>-1</sup>, dispostas em agitação por 30 minutos, com posterior filtragem e armazenamento em refrigeração a 4 °C até o momento de uso.

Tabela 9 – Medidas de massa obtidas para o preparo dos extratos ácidos dos cactos com a matéria seca não-polposa (casca).

	Massa inicial (g)	Massa final <sup>(1)</sup> (g)	Matéria seca % (m/m)
<b>Mandacaru</b>	76,44	9,37	10,00
<b>Palma</b>	100,52	7,76	8,00
<b>Xiquexique</b>	114,16	4,97	5,00

<sup>(1)</sup> Massas medidas obtidas para os cactos após secagem em estufa ventilada, 60°C por 48h.

A quantidade de massa medida para cada cacto partiu da quantidade de material que foi coletado de cada espécie. Os dados percentuais de matéria seca referentes às cactáceas empregadas estão compatíveis com os observados por outros trabalhos descritos pela literatura, como os encontrados por Cavalcante (2012) em análise bromatológica do mandacaru, onde cita que cerca de apenas 11,0 a 12,6% do material vegetal (polpa e casaca) é composto pela matéria seca, livre de água. Santos et al. (1998) em caracterização da composição da palma observa um percentual de 8,0% de matéria seca presente na cactácea. Os dados de matéria seca encontrados no xiquexique são um pouco inferiores aos encontrados por Pereira et al. (2010) apresentando 10,01% desse quantitativo. Essa diferença pode ser explicada pela ausência da matéria polposa no material analisado bem como as características físicas e regionais do próprio material, que pode conferir maior porcentagem de matéria vegetal.



Tabela 10 - Dosagens dos coagulantes naturais e do alcalinizante em ( $\text{g L}^{-1}$ ) utilizadas nos testes de coagulação e floculação para extratos a partir da casca.

Teste	Extratos ácidos <sup>(1)</sup>			Floculante $\text{Ca(OH)}_2$ (jarro 1, 2 e 3)
	Mandacaru (jarro 1)	Palma (jarro 2)	Xiquexique (jarro 3)	
8	0,24	0,30	0,08	(3)
9	0,48	0,60	0,17	(3)

<sup>(3)</sup> 0,018  $\text{g L}^{-1}$  para o extrato de mandacaru e xiquexique e 0,029  $\text{g L}^{-1}$  para o extrato de palma.

Conforme apresentados na Tabela 10 foram dosadas as mesmas concentrações de extratos ácidos sendo 0,24, 0,30 e 0,08  $\text{g L}^{-1}$  de mandacaru, palma e xiquexique respectivamente, provenientes da matéria seca presente na casca dos cactos.

Porém foi observado que não houve coagulação e floculação nas amostras dos dois testes (8 e 9) realizados com os extratos, podendo então afirmar que as proteínas catiônicas responsáveis pela coagulação não são componentes da matéria seca da casaca dos cactos em estudo.

De acordo com os dados percentuais de redução dos parâmetros de turbidez e cor dos cactos percebe-se que os tratamentos de coagulação/floculação foram eficientes, uma vez que as concentrações de extratos ácidos dos coagulantes e alcalinizante utilizadas foram ideais para empregar a desinfecção solar. É importante destacar que a utilização da filtração como auxiliar no tratamento de águas altamente turvas é de grande importância, uma vez que potencializa o processo de remoção das partículas presentes na água, que é mostrado pelo considerado pequeno desvio padrão apresentado na Tabela acima para os três cactos estudados.

#### 4.4 Análise microbiológica

Após o tratamento de desinfecção solar (Figura 6) foram realizados testes microbiológicos para determinação de coliformes totais e *Escherichia Coli* nas amostras, a fim de avaliar a eficiência da desinfecção. Os resultados são apresentados na Tabela 11.

Figura 6 - Amostras de água tratada em processo de desinfecção solar.



Fonte: Própria.

Tabela 11 - Resultados microbiológicos.

<b>Amostra</b>	<b>Coliformes totais (NMP/100,00 mL)</b>	<b><i>E. coli</i> (NMP/100,00 mL)</b>
Bruta sem desinfecção solar	> 2.419,6	Ausente
Bruta S.F. <sup>(1)</sup>	19,9	Ausente
Bruta C.F. <sup>(2)</sup>	<1	Ausente
Mandacaru S.F.	<1	Ausente
Mandacaru C.F.	<1	Ausente
Palma S.F.	<1	Ausente
Palma C.F.	<1	Ausente
Xiquexique S.F.	<1	Ausente
Xiquexique C.F.	<1	Ausente

(1) S.F. – sem filtração;

(2) C.F. – com filtração;

(3) &lt; 1 = ausente.

De acordo com os dados da Tabela acima se pode observar que a amostra bruta não foi submetida ao tratamento de desinfecção solar apresentou o número máximo de positividade para coliformes totais, o que garante a contaminação por este grupo de bactérias nas amostras que foram submetidas a desinfecção. Já a

amostra de água bruta não filtrada que foi submetida à desinfecção, mostrou uma redução do NMP/100,00 mL dos coliformes totais presentes, visto que apesar da água apresentar uma turbidez acima de 30 NTU (sem o pré-tratamento com os cactos) devido à alta radiação solar da região em que foi realizada a desinfecção conseguiu diminuir o número de microrganismos presentes. Já na amostra bruta filtrada e as demais amostras submetidas a exposição solar, foi observado a inibição total dos coliformes totais presentes inicialmente. Nenhuma das amostras apresentou presença de *E. coli*.

Desta forma entende-se que apesar da amostra de água bruta filtrada ter mostrado resultado positivo de desinfecção solar, não necessariamente assegura-se a realização apenas da desinfecção, pois além do ambiente onde ocorreu o teste ter favorecido (local com grande incidência de radiação solar) os outros parâmetros avaliados para a potabilidade da água não seriam garantidos.

Desta forma é válido destacar a comprovada eficiência da desinfecção solar em amostras contaminadas, uma vez que em conjunto com o pré-tratamento de coagulação/floculação dos extratos com os cactos estudados, conseguiu-se obter água dentro do padrão de potabilidade posto pela portaria vigente para os parâmetros avaliados.

## 5 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos neste trabalho é possível evidenciar que existe uma preocupação acerca da falta de acesso a água tratada (potável) por comunidades rurais especialmente no nordeste brasileiro, fazendo uso de águas sem tratamento que levam a considerar esta utilização como um fator de risco à saúde destas populações.

De acordo com os testes realizados de coagulação e floculação é possível afirmar que extratos ácidos dos cactos mandacaru, palma e xiquexique apresentam grande potencial para serem empregados no tratamento de águas turvas, uma vez que auxiliados a filtração estes percentuais de remoção dos parâmetros de turbidez e cor são potencializados.

Sendo assim, é relevante destacar o cacto xiquexique que apresentou ótimos potenciais de coagulação e floculação em todos os testes, tendo como resultado água tratada que atende os critérios de cor, turbidez e pH estabelecidos pela portaria de controle de qualidade de água vigente no Brasil.

Com isso, pode-se atestar a importância ecológica da produção destes cactos, uma vez que podem ser aplicados como alternativas sustentáveis e de baixo custo de produção de água potável para as populações comprometidas com a ausência de acesso deste bem, visto como a adoção de medidas corretivas e preventivas a saúde humana.

Diante dos resultados também é importante enfatizar que a utilização da desinfecção solar no tratamento de água potável se destaca como uma tecnologia eco amigável e de grande potencial a ser empregada com o auxílio do pré-tratamento dos coagulantes naturais estudados, em comunidades que não possuem acesso a água tratada.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, H. B.; ARAÚJO, F. R. Características fitoterápicas do *Cereus jamacaru*: cacto típico da caatinga. In: I Congresso Internacional da diversidade do Semiárido, 1, 2016, Campina Grande- PB: Editora Realize, 2016. p. 1-11.
- ALVES, T. R. Eficiência de um sistema de desinfecção solar de águas residuárias domésticas com adição de diferentes doses de peróxido de hidrogênio. 2015. 71f. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2015.
- ANDRADE, C.F.; SILVA, C.M.; OLIVEIRA, F.C. Gestão ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de ETA e seus impactos na qualidade das águas. V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Belo Horizonte/MG – 24 a 27/11/2014.
- ARAÚJO, I. N. S., Biometria de frutos do mandacaru (*Cereus jamacaru*) plantados em áreas degradadas no Seridó paraibano. 2016. 38 f. Monografia (Pós-Graduação em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Picuí-PB.
- BAPTISTA, A. T. A. et al. Protein fractionation of seeds of *Moringa oleífera* lam and its application in superficial water treatment. Separation and Purification Technology v. 180, p.114–124, 2017.
- BONDY, S. C. Prolonged exposure to low levels of aluminum leads to changes associated with brain aging and neurodegeneration. Toxicology, Irvine, CA, 315, 1-7, nov. 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Brasília, 2017. p. 926.
- CAMACHO, F. P. et al. The use of *Moringa oleífera* as a natural coagulant in surface water treatment. Chemical Engineering Journal, v. 313, p. 226–237, 2017.
- CAMPOS, M. J. B. *Propriedades biológicas e aplicações do fruto da Opuntia ficus-indica (L.) Mill.* 2016. 72f. Dissertação de mestrado integrado em Ciências Farmacêuticas - Universidade do Algarve, Algarve, 2016.
- CAVALCANTI, N. B. A floração do mandacaru no Sertão. Blog Fatos e Fotos da Caatinga. 2012. Disponível em: <https://fatosefotosdacaatinga.blogspot.com/2012/08/a-importancia-do-mandacaru-na-seca.html>. Acesso em: 27 jan. 2019.
- CHAVES, E. M. F.; BARROS, R. F. M. Cactáceas: Recurso alimentar emergencial no semiárido do Nordeste do Brasil. Revista Gaia Scientia, Teresina, Piauí, v. 9(2), 129-135, setembro, 2015.

FERREIRA, T. G. *Avaliação do desempenho do cacto da espécie Opuntia ficus indica como coagulante no tratamento de água*. 2015. 50f. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

FRAGA, F. A. *Avaliação de desempenho da estação de tratamento de água Renato de Freitas em Uberlândia/MG*. 2018. 63f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Uberlândia (Faculdade Engenharia Civil), Uberlândia, 2018.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA Notícias. *Saneamento Rural: O desafio de universalizar o Saneamento Rural*. Brasília, 2011. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/blt\\_san\\_rural.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/blt_san_rural.pdf)> Acesso em: 11 nov. 2018.

GIATTI, L. L. Reflexões sobre Água de Abastecimento e Saúde Pública: um estudo de caso na Amazônia Brasileira. *Saúde e Sociedade* v.16, n.1, p.134-144, jan. –abr., 2007.

HENRIQUES, K. R. S. *Detecção de coliformes totais e Escherichia coli em água de consumo humano pelo método Colilert*. Componente C: microbiologia experimental. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2010.

IDEXX LABORATORIES. Disponível em: <<https://al.idexx.com/es-xl/water/water-products-services/colilert/>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE SAÚDE DR. RICARDO JORGE. *Figo-da-Índia (Opuntia ficus-indica (L.) Mill.): análise comparativa da atividade biológica da polpa e casca*. Lisboa: Ministério da saúde.

JOVENTINO, E.S.; SILVA, S.F.; ROGERIO, R.F.; FREITAS, G.L.; XIMENES, L.B.; MOURA, E.R.F. Comportamento da diarreia infantil antes e após consumo de água pluvial em município do semi-árido brasileiro. *Revista Redalyc*. Florianópolis, 2010 Out-Dez; 19(4): 691-9.

KEOGH, M.B; ELMUSHARAF, K.; BORDE, P.; MCGUIGAN, K.G. Evaluation of the natural coagulant *Moringa oleifera* as a pretreatment for SODIS in contaminated turbid water. *Solar Energy*, n. 158, p. 448-454, 2017.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3ª ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

MACIEL, J. K. S. *Caracterização fitoquímica do extrato de Pilosocereus gounellei A. Weber ex K. Schum. Bly. Ex Rowl. (Cactaceae) e avaliação de suas atividades antioxidante e microbiológica*. 2016. 158f. Tese de Pós-Graduação - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

MANAHAN, S. E. *Química Ambiental*. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013, p. 912.

MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de *Acacia mearnsii*. Revista Virtual de Química. vol. 6, n. 1, p. 2-15, janeiro-fevereiro 2014.

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. 2017. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (curso de engenharia ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MENEZES, N. N. F. *Impacto da extração do óleo na atividade coagulante das sementes de Moringa oleifera no tratamento de água produzida*. 2017. 42f. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

OSTROWSKI, J. *Utilização de extratos de cacto Cereus jamacaru como coagulantes auxiliares para a diminuição de turbidez da água de turbidez sintética*. 2014. 46 f. Trabalho de conclusão de curso- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2014.

PARVEEN, S.; LUKASIK, J.; SCOTT, T. M.; TAMPLIN, M. L.; PORTIER, K. M.; SHEPERD, S.; BRAUN, K.; FARRAH, S. R. 2005. Geographical variation in antibiotic resistance profiles of *Escherichia coli* isolated from swine, poultry, beef and dairy cattle farm water retention ponds in Florida. *Journal of Applied Microbiology*, v. 100, p. 50-57, 2005.

PEREIRA, E. S. et al. Determinação das frações proteicas e de carboidratos e estimativa do valor energético de forrageiras e subprodutos da agroindústria produzidos no Nordeste Brasileiro. *Rev. Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 4, p. 1079-1094, 2010.

PEREIRA JÚNIOR, L. R. et al. Diagnóstico socioeconômico e estratégias de convivência com a seca em região semiárido. *Revista Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal*, v. 12, n. 1, p. 168-184, jan./jun., 2015.

PICHLER, T.; YOUNG, K.; ALCANTAR, N. Eliminating turbidity in drinking water using the mucilage of a common cactus. *Water Science & Technology: Water Supply*, v. 12, n. 2, p. 179-186, 2012.

QUELUZ, J. G. T. Estudo da eficiência da desinfecção solar de águas residuárias domésticas em reatores de diferentes colorações. 2013. 90f. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita filho", Botucatu, 2013.

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. 2016. 43f. Trabalho de diplomação em Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química, Porto Alegre, 2016.

SALEHIA, E.; EMAM-DJOMEHA, Z. et al. *Opuntia ficus-indica* fruit gum: Extraction, characterization, antioxidant activity and functional properties. *Carbohydrate polymers*, v. 206, p. 565-572, fev. 2019.

SANTOS, M. V. F et al. Colheita da Palma Forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) cv. Gigante sobre o Desempenho de Vacas em Lactação<sup>1</sup>. *R. Bras. Zootec.*, v.27, n.1, p. 33-39, 1998.

SILLANP, M. et al. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. *Chemosphere*, v.190, p. 54-71, 2018.

SILVA, J. G. M.; LIMA, G. F. C.; RÊGO, M. M. T. Cactáceas Nativas na Alimentação de Ruminantes. *Rev. Cient. Prod. Anim.*, v.15, n.1, p.53-62, 2013.

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, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). *Ciência & Saúde Coletiva*, 8 (4), 1019-1028, 2003.

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.

SOUSA, A. C. P. *Frutos de cactáceas da caatinga Piauiense: Potencial bioativo e tecnológico*. 2017. 103f. Dissertação de Pós-Graduação - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

SOUZA, M.T.F. et al. Extraction and use of *Cereus peruvianus* cactus mucilage in the treatment of textile effluents. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. Taiwan, p. 174-183, 2016.

TEIXEIRA, J. C. S. *O valor nutricional de opuntia ficus-indica e vantagens da sua introdução na dieta mediterrânea*. 2015. 24f. Monografia realizada no âmbito da unidade de Estágio Curricular do Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas - Faculdade de Farmácia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2015.

TREVISAN, T. S. *Coagulante Tanfloc SG como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA de Cafezal*. 2014. 106f. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

VALVERDE, K. C.; COLDEBELLA, P. F.; NISHI, L. et al. Otimização dos parâmetros de operação no processo de coagulação/floculação e sedimentação no tratamento de água com associação PAC e *Moringa oleifera* Lam. *Engvista*, Maringá, v. 17, n. 4, p. 491-499, dez., 2015.



VEIGA, G. Análises físico-químicas e microbiológicas de água de poços de diferentes cidades da região sul de Santa Catarina e efluentes líquidos industriais de algumas empresas da grande Florianópolis. 2005. 55 f. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Santa Catarina (Departamento de Química), Florianópolis, 2005.

VIJAYARAGHAVAN, G.; SIVAKUMAR, T.; KUMAR, A. V. Application of plant based coagulants for waste water treatment. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, v. 1, n. 1, p. 88-92, oct. - dec, 2011.

UBOMBA-JASWA, E.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; NAVNTOFT, C.; POLO-LÓPEZ, M. I.; MCGUIGAN, K. G. Investigating the microbial inactivation efficiency of a 25 L batch solar disinfection (SODIS) reactor enhanced with a compound parabolic collector (CPC) for Household Use. *Journal of Chemical Technology And Biotechnology*, v. 85, n. 8, p. 1028-1037, 2010.

WHO-WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking-water quality. 2. ed. Geneva, 1993. Disponível em <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/2edvol1i.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol1i.pdf)>. Acesso em: 30 nov., 2018.

WILSON, S. A.; ANDREWS, S. A. Impact of a natural coagulant pretreatment for colour removal on solar water disinfection (SODIS). *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, v. 1, Toronto, 2011.

ZAPPI, D.; TAYLOR, N.; SANTOS, M.R.; LAROCCA, J. 2015 *Cactaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB70>> Acesso em: 02 de jan. 2019.

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* v. 14, n. 2esp, p. 75-83, 2012.

ZHANG, J; ZHANG, F.; LUO, Y. YANG, H. A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *Process Biochemistry*, v. 41, p. 730–733, 2006.